

Biofertilizante y su Correlación entre Parámetros Productivos y de Calidad en Limón Sutil (*Citrus aurantifolia* Swingle) Biofertilizer and its Correlation Between Productive and Quality Parameters in Key Lime (*Citrus aurantifolia* Swingle)

Roger Chanduví-García^{1*}, María Alejandra Sandoval-Panta¹, Ricardo Peña-Castillo¹,
Javier Javier-Alva¹, L.A Álvarez², Marcos Victoriano Quiroz-Calderón¹,
Carlos Granda-Wong¹, René Aguilar-Ancota¹, Miguel Galecio-Julca¹ y
Arturo Morales-Pizarro¹

¹ Universidad Nacional de Piura. Urb. Miraflores s/n. Centro Universitario. 20002 Castilla, Piura, Perú: (R.C.G.), (M.A.S.P.), (R.P.C.), (J.J.A.), (M.V.Q.C.), (C.G.W.), (R.A.A.), (M.G.J.), (A.M.P.).

* Autor para correspondencia: rochanduví@gmail.com

² Universidad Nacional de Cañete. Av. Mariscal Benavides, Casa de la cultura. 15701 San Vicente de Cañete, Lima, Perú. (L.A.A.).

RESUMEN

El limón sutil es un cultivo de alta demanda e importancia en el desarrollo socioeconómico en Perú, empleándose mayormente fertilizantes inorgánicos que generan incrementos constantes en los costos de producción, siendo necesario el uso de alternativas orgánicas e inocuas para su producción. El objetivo fue evaluar el efecto de diferentes dosis de biol o biofertilizante, y su correlación en los parámetros productivos y de calidad en el cultivo de limón sutil. Se evaluaron cuatro tratamientos: T0 (testigo: manejo convencional), T1 (Biol 10%), T2 (Biol 20%) y T3 (Biol 30%) aplicados cada 15 días, evaluando los siguientes parámetros: 1) productivos: diámetro del fruto (DF), grosor de cáscara (GC), peso del fruto (PF), rendimiento por ha (RHa) y 2) calidad: acidez (AD), porcentaje de sólidos solubles (PSS), pH, zumo o jugo de limón (ZL). Se realizó análisis de correlación, análisis de componentes principales-ACP, un ANOVA, y se analizó la relación Beneficio/Costo. En el ACP se obtuvo dos componentes: C1 (71.40%) y C2 (11.80%) explicando el 83.20% de la variabilidad. El C1 explica la mayor variabilidad y agrupó variables: G-I (ZL, AD), G-II (DF, GC, PSS) y G-III (PF, RHa). Los tratamientos con Biol 10%, 20%, 30% en ZL, AD (G-I) presentaron los mejores resultados ($P < 0.05$); el T2 presentó los mayores valores de PF y RHa, y fue el tratamiento más rentable ($B/C=3.84$). El Biofertilizante es una alternativa para reducir el uso de fertilizantes sintéticos y los costos de producción. El biofertilizante al 20% resultó más rentable y mejoró variables evaluadas.

Palabras clave: abono orgánico, cítrico, foliar, microorganismos.

SUMMARY

Key lime is a crop of high demand and importance in the socioeconomic development of Peru, using mostly inorganic fertilizers that generate constant increases in production costs. Therefore, it becomes necessary to use of organic and innocuous alternatives for its production. To assess the effect of different doses of biol or biofertilizer, and its correlation with productive and quality parameters in the cultivation of Key lime, four treatments were evaluated: T0 (control: conventional management), T1 (Biol 10%), T2 (Biol 20%) and T3 (Biol 30%) applied every 15 days, evaluating the following parameters: 1) productive parameters: fruit diameter (FD), peel thickness (PT), fruit weight (FW), yield per ha (YHa) and 2) quality parameters: acidity (AD), percentage of soluble solids (PSS), pH, lemon juice (LJ). Correlation analysis, principal component analysis (PCA), an ANOVA, and the Benefit/Cost ratio were performed. In the PCA,



check for
updates

Cita recomendada:

Chanduví-García, R., Sandoval-Panta, M. A., Peña-Castillo, R., Javier-Alva, J., Álvarez, L. A., Quiroz-Calderón, M. V., ... & Morales-Pizarro, A. (2023). Biofertilizante y su Correlación entre Parámetros Productivos y de Calidad en Limón Sutil (*Citrus aurantifolia* Swingle). *Terra Latinoamericana*, 41, 1-9. e1685. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1685>

Recibido: 28 de febrero de 2023.

Aceptado: 20 de junio de 2023.

Artículo. Volumen 41.

Octubre de 2023.

Editor de Sección:

Dr. Luis Alfredo Rodríguez Larramendi

Editor Técnico:

Dr. Benjamín Zamudio González



Copyright: © 2023 by the authors.

Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

two components were obtained: C1 (71.40%) and C2 (11.80%) explaining 83.20% of the variability. C1 explained the greatest variability and grouped variables: G-I (LJ, AD), G-II (FD, PT, PSS) and G-III (FW, YHa). The treatments Biol 10%, 20%, 30% presented the best results in LJ and AD (G-I) ($P < 0.05$). The variables FD, PT, PSS and pH (G-II) did not show differences among treatments, and the FW and YHa in T2 (Biol 20%) exhibited the highest values; likewise, it was the most profitable ($B/C=3.84$). Biofertilizer is an alternative to reduce the use of synthetic fertilizers and production costs. Biofertilizer at 20% was more profitable and improved the evaluated variables.

Index words: organic fertilizer, citrus, foliar, microorganisms.

INTRODUCCIÓN

Los cítricos son frutas de gran interés comercial por sus diversos usos: nutricional (vitamina C), estético, ambiental y ecológico lo cual ha permitido el desarrollo socio-económico de la población (Mohammed, Malchoul y Bousissa, 2018; Nandita, Kundu, Rani, Khatoon y Kumar, 2020). La producción mundial de cítricos (limones y limas) alcanzó 21.3 millones de toneladas (Mt) cuyos principales productores son: La India con 3.7 Mt, México 2.8 Mt, China 2.6 Mt, Argentina 1.8 Mt, Brasil 1.5 Mt (FAO, 2020).

La lima ácida (*Citrus aurantifolia* Swingle), conocida tradicionalmente en Perú como limón sutil tiene una gran importancia en las agroexportaciones, medicina tradicional y en la gastronomía peruana. Este cultivo, es un cítrico que pertenece a la familia Rutáceas y es originario de Asia desarrollándose en regiones subtropicales y tropicales (Nandita *et al.*, 2020) y se introdujo en América en el siglo XVI (Maroto-Borrego, 2014).

En Perú, el limón sutil es el cítrico de mayor interés comercial con una producción 335 mil toneladas (mt) en el año 2021, siendo Piura la principal región productora con 183 mt seguida de Tumbes con 59.3 mt, Lambayeque 44.7 mt, Ucayali 17.2 mt y Loreto con 11.3 mt (SIEA, 2022). Los principales mercados de destino de esta fruta son: Chile con un 79%, seguido de Panamá, Inglaterra, Países Bajos y Estados Unidos (SENASA, 2021). Sin embargo, el cultivo se desarrolla bajo una agricultura convencional en la región Piura, dependiente de los diferentes fertilizantes sintéticos existentes en el mercado, los cuales han experimentado en el último año un incremento exponencial de sus precios a nivel nacional e internacional (Gestión, 2021). Además, los fertilizantes convencionales han ocasionado la contaminación de los recursos naturales como: "aire, agua y suelo" (Abobatta, 2020; Aguilar-Ancota, Arévalo, Morales y Galecio, 2021; Dries, Hendgen, Schnell, Löhnertz y Vortkamp, 2021). En este sentido, el uso de abonos orgánicos elaborados a partir de insumos o desechos o residuos orgánicos son una alternativa sostenible al uso de fertilizantes químicos en la agricultura a pequeña, mediana y gran escala. Los insumos o abonos orgánicos sólidos (compost, humus, bocashi) y líquidos (biofertilizantes, té de humus) mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo donde las interacciones planta-suelo-microorganismo se ven muy favorecidas, aumentan la actividad microbiana y la predisposición constante de macro y micronutrientes dando como resultado el incremento de la producción (Abdel-Hafiz, Abdel, Amin y Ibrahim, 2016; Ruiz, 2018). Medeiros y da Silva (2006) y Galecio *et al.* (2023) indican que aplicaciones foliares de biofertilizante orgánico líquido, conocido comúnmente en nuestra región como biol, aportan macro y micronutrientes, ácidos húmicos y fúlvicos, generando efectos importantes en el desarrollo y crecimiento de las plantas. Por otro lado, aplicaciones foliares de biofertilizantes líquidos entre el 5% y 10% tienen un efecto nutricional en la planta; mientras que concentraciones entre 10 y 20% tienen un efecto "fungicida, bactericida e insecticida" (Vairo-Dos Santos, 1992).

Asimismo, aplicaciones constantes de estos productos tienen un efecto repelente sobre insectos plagas (Medeiros y da Silva, 2006). Por otro lado, Abobatta (2020) indica el efecto e importancia del uso del biofertilizante, incrementa la producción de los cítricos mediante la fijación de nitrógeno, solubilización de fósforo, potasio, mayor disponibilidad de elementos esenciales, producción de fitohormonas, la activación de los mecanismos de resistencia de la planta hacia las plagas, fertilidad y salud del suelo, y protección del medio ambiente. En huertos de cítricos, la práctica de una fertilización orgánica pone a disponibilidad nutrientes en forma ecológica mejorando la producción del cultivo, la resistencia de la planta a estrés biótico o abiótico, incrementando el margen de ganancia de los agricultores, mejoran las propiedades del suelo, incrementa y estimula la población microbiana en la rizósfera, cuida y conserva los recursos naturales (Abobatta y El-Azazy, 2020)

La presencia de microorganismos como: algas, bacterias y hongos, tienen una gran afinidad con la rizósfera de las plantas. Los microorganismos entre ellos: bacterias (*Bacillus* y *Streptomyces*) y hongos (*Trichoderma*) han sido encontrados de forma natural en la rizósfera en viñedos, los cuales tienen un efecto inhibitorio frente a patógenos en uva de mesa (Morales-Pizarro *et al.*, 2022a).

Ge, Zhu y Jiang (2018) mencionan que la fertilización convencional influye en forma directa e indirecta sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas, y por consiguiente en la producción del cultivo. Asimismo, Abobatta y El-Azazy (2020) indican que la existencia de una relación directa entre el contenido de materia orgánica y la productividad de los cítricos. El uso de fertilizantes orgánicos reduce el uso de agroquímicos y mantiene los recursos naturales en el cultivo de naranjo (*Citrus sinensis* L.) en Valencia-España, incrementado el número de frutos/árbol, el rendimiento, peso de los frutos, zumo de fruta, vitamina C (El-Badawy, 2017). Los biofertilizantes tienen un papel importante en la productividad de los cítricos, pueden reducir los costos de producción, mejorar la rentabilidad del cultivo, permite obtener frutos inocuos, recuperar la salud del suelo y el cuidado del medio ambiente (Arber *et al.*, 2016). Por esta razón, el objetivo planteado fue "evaluar el efecto de diferentes dosis de biofertilizantes y su correlación en los parámetros productivos y calidad de limón sutil".

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó durante el 2016-2017 en la localidad de Tambogrande en el "Valle de San Lorenzo"-Piura - Perú; 4° 55' 36" S, 80° 20' 40" O, a una altitud 69 m de altitud; con temperatura máxima de 30.4 °C y una temperatura media de 23.9 grados centígrados.

Análisis Fisicoquímico del Suelo

Se realizó el análisis de fisicoquímico del suelo en el "Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Piura", el cual presento una textura: arena (45%), limo (36%), arcilla (19%); pH (1:2.5) 7.51; carbonato de calcio CaCO_3 2.53%; materia orgánica 2.18%; conductividad eléctrica 0.18 dS m^{-1} ; nitrógeno 0.06%; fósforo 12 mg kg^{-1} ; potasio 210 mg kg^{-1} y C.I.C (capacidad de intercambio catiónico) 10.88 $\text{meq } 100 \text{ g}^{-1}$, determinando de esta manera las características del suelo en el campo de estudio.

Preparación de Biofertilizante

Se usó la metodología de Galecio, Arteaga, Rojas y Peña (2021) con modificaciones en este estudio empleando un cilindro de 200 L capacidad en donde se introdujo un saco de estiércol fresco de vaca de 25 kg, hojas cortadas a 2×2 cm conformado por plantas de la zona: tártago o higuera (*Ricinus communis*) 3 kg, floripondio (*Brugmansia arborea*) 3 kg, altamisa (*Ambrosia peruviana*) 5 kg, neem (*Azadirachta indica*) 4 kg; asimismo, se incorporó: cáscara de huevo 0.5 kg, ajo (*Allium sativum*) 4 kg, cebolla (*Allium cepa*) 4 kg y ají (*Capsicum annuum*) 4 kg previamente trituradas, harina de pescado 0.5 kg, chicha de jora 2 L y panela (chancaca) 2 kg. Posteriormente, se llenó con agua de pozo hasta 10 cm del borde del cilindro y se cerró herméticamente durante 30 días.

Análisis del Biofertilizante

Se realizó el análisis químico del biol en el "Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Agraria la Molina, Lima - Perú" obteniéndose: pH de 5.90; conductividad eléctrica CE (dS m^{-1}) 18.50; materia orgánica (g L^{-1}) 8.89; N total (mg L^{-1}) 665.4; P total (mg L^{-1}) 14.5; K total (mg L^{-1}) 750; Ca total (mg L^{-1}) 1628; Mg total (mg L^{-1}) 315; Na total (mg L^{-1}) 2120; ácidos húmicos % (p/v) 0.004; ácidos fúlvicos % (p/v) 0.058; huminas % (p/v) 0.22; relación C/N 7.74. El análisis microbiológico del biol se realizó en el "Laboratorio de Sanidad Vegetal de la Universidad Nacional de Piura (UNP)" dando como resultado: Bacterias (Bacillus-Gram positivas) 4.10×10^6 ufc mL^{-1} (ufc-unidades formadoras de colonia); Hongos 2.20×10^4 ufc mL^{-1} y levaduras 6.50×10^5 ufc mL^{-1} .

Proceso y Tratamientos del Estudio en Campo

Se seleccionaron plantas uniformes en producción de limón sutil injertadas sobre patrón limón rugoso (*Citrus aurantifolia* / *Citrus Jambhiri* Lushington) de cinco años de edad, sembradas a 9 m × 8 m. En las plantas seleccionadas se evaluaron los tratamientos: T0 (testigo: manejo convencional), T1 (biofertilizante 10%), T2 (biofertilizante 20%) y T3 (biofertilizante 30%). Durante la cosecha se escogieron 20 frutos al azar por planta, y se evaluaron los siguientes parámetros: 1) productivos: diámetro del fruto (DF) en cm, grosor de cáscara (GC) en cm, peso del fruto (PF) en g y rendimiento por ha (RHa) en Mg ha^{-1} y 2) calidad: acidez (AD), porcentaje de sólidos solubles (PSS), pH, zumo o jugo de limón (ZL) en mL^{-1} . Las aplicaciones foliares de los tratamientos se

realizaron cada 15 días, entre cosecha y cosecha (4 meses), realizando un total de 8 aplicaciones y 3 cosechas consecutivas a los 120, 130 y 140 días después de la primera aplicación de los tratamientos. Cabe mencionar que Piura posee un clima tropical y seco por lo que se puede apreciar diferentes estados fenológicos en un mismo tiempo, como: brotación, floración y fructificación. Se realizó un diseño en bloques completos al azar (DBCA) con cuatro tratamientos distribuidos en tres bloques y ocho plantas por unidad experimental con un total de 96 unidades experimentales.

Análisis Estadístico

Los datos obtenidos se analizaron con los softwares estadísticos "IBM SPSS Statistics (versión 25)" (IBM SPSS Statistics, 2017) y "R-studio (versión 4.2.1)" para Windows 10 (R Core Team, 2020), determinando si estos cumplían "los criterios de pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk), homogeneidad de varianzas (Levene) y correlación (Pearson)".

Posteriormente, las medias de los tratamientos fueron analizadas mediante un Análisis Multivariado de Componentes Principales (ACP) representado en el gráfico Biplot (Reyes-Pérez, Enríquez, Ramírez, Rodríguez y Rivero, 2019), para determinar la relación de las variables y los tratamientos en los diferentes parámetros evaluados. Además, se realizó un "análisis de varianza" (ANOVA), y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey (p -value < 0.05).

Análisis Económico

En el análisis económico de la investigación, se calculó la rentabilidad (Samuelson y Nordhaus, 2009) mediante la fórmula: $C_p = P \times I$, donde C_p son "los costos de producción", P es "el precio de la actividad o insumo", y I es "la actividad o insumo"; $IT = P_p \times R$, donde IT son "los ingresos totales", P_p es "el precio del producto", y R es "el rendimiento del cultivo"; $Be = IT - C_p$, donde Be es "el beneficio o utilidad". Además, se calculó "la rentabilidad con la relación Beneficio/Costo, mediante la expresión $Be/C = IT/C_p$ " (Díaz-Franco, Alvarado, Alejandro y Ortiz, 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de Correlación Cuantitativa

En los resultados obtenidos en el análisis de correlación con "Pearson" se hallaron correlaciones positivas y negativas con diferencias altamente significativas ($P \leq 0.001$) entre los ocho parámetros evaluados en el estudio realizado en el cultivo de limón en Tambogrande-Piura (Figura 1). El diámetro del fruto (DF) tuvo una correlación altamente negativa o inversa con PF ($r = -0.92$, $P \leq 0.001$), ZL ($r = -0.89$, $P \leq 0.001$) y AD ($r = -0.83$, $P \leq 0.001$) lo que indica que el DF es indirectamente proporcional a PF, ZL y AD. Por otro lado, el peso del fruto (PF) presentó una correlación moderada positiva con: ZL ($r = 0.81$, $P \leq 0.01$), AD ($r = 0.82$, $P \leq 0.01$) y RHa ($r = -0.82$, $P \leq 0.01$), los parámetros ZL, AD y RHa se ven determinados por el PF. Además, el zumo de limón (ZL) presentó una correlación altamente positiva con AD ($r = 0.86$, $P \leq 0.001$) indicando que el ZL es factor importante en la determinación de la AD. Asimismo, el Grosor de cascara (GC) presentó una correlación altamente positiva con PSS ($r = 0.88$, $P \leq 0.001$), mostrando que el GC es determinado por PSS. El pH mostró una correlación moderada con DF ($r = 0.67$, $P \leq 0.05$), GC ($r = 0.67$, $P \leq 0.05$), indicando que un incremento DF influye significativamente en un mayor GC. Resultados similares fueron obtenidos por Galecio *et al.* (2023) en el cultivo de quinua, quienes encontraron una alta correlación entre el rendimiento por hectárea y el peso de la panoja. Asimismo, presentaron una correlación positiva entre el diámetro del tallo y el peso de la panoja. Además, Abobatta (2020) indica en el cultivo de cítricos, la existencia de una correlación positiva entre los parámetros productivos y de calidad, y el uso de biofertilizantes (abono orgánico).

Análisis de Componentes Principales (PCA)

Las interacciones entre los tratamientos, y las variables evaluadas son positivas (Figura 2), en los tratamientos T1 (biol 10%), T2 (biol 20%) y T3 (biol 30%).

Mediante el análisis de componentes principales ACP, se lograron formar dos nuevas variables o componentes; componente I (71.40%) y componente II (11.80%), representando el 83.20% de la variabilidad del estudio. Por otro lado, de acuerdo a su grado de relación, se definieron tres cluster plot (grupos) de las variables y tratamientos. El primer cluster (grupo), se encuentran las variables zumo de limón (ZL), acidez (AD) y peso de fruto (PF). El segundo grupo (cluster) lo integra el diámetro del fruto (DF), grosor de cascara (GC), pH y porcentaje de sólidos solubles (PSS). El tercer cluster (grupo) está conformado por el rendimiento por hectárea (RHa). El zumo de limón (ZL) y acidez (AD) presentaron una estrecha relación comparadas con las otras variables.

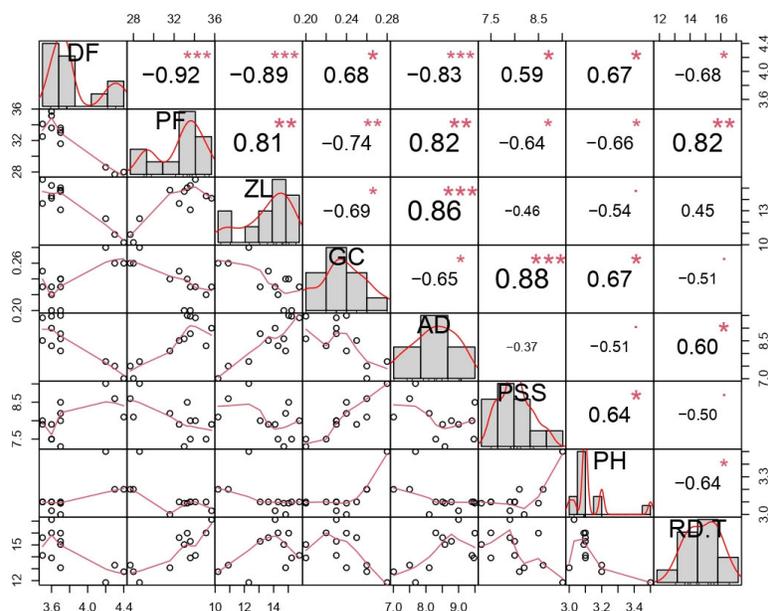


Figura 1. Análisis de correlación “Pearson” entre los parámetros evaluados en el cultivo de limón sutil en Tambogrande, Piura-Perú. Diámetro del fruto (DF), peso del fruto (PF), zumo de limón (ZL), grosor de cascara (GC), acidez (AD), porcentaje de solidos solubles (PSS), pH, rendimiento por hectárea (RHa). Débil diferencia significativa (* $P \leq 0.05$); moderada diferencia significativa (** $P \leq 0.01$); fuerte diferencia significativa (***) ($P \leq 0.001$); no significativa ns- ($P > 0.05$).

Figure 1. Pearson correlation analysis among the parameters evaluated in the Key lime crop in Tambogrande, Piura-Peru. Fruit diameter (FD), fruit weight (PW), lemon juice (LJ), peel thickness (PT), acidity (AD), percentage of soluble solids (PSS), pH, yield per hectare (YHa). Weak significant difference (* $P \leq 0.05$); moderate significant difference (** $P \leq 0.01$); strong significant difference (***) ($P \leq 0.001$); not significant ns- ($P > 0.05$).

Análisis de Varianza de los Parámetros en Estudio

Las variables del cluster I (Grupo I) fueron sometidas a un análisis de varianza y “comparación múltiple de medias de Tukey” ($P < 0.05$) en los parámetros ZL y AD los T1, T2 y T3 no presentaron diferencias significativas y fueron superiores al testigo con valores 13.84 ± 0.88 ; 14.72 ± 0.90 ; $14.98 \pm 0.26 \text{ mL}^{-1}$ para ZL y 8.46 ± 0.34 ; 8.90 ± 0.56 ; 9.18 ± 0.52 para la AD, respectivamente; siendo superiores al testigo con valor $11.13 \pm 1.06 \text{ mL}^{-1}$ para ZL y 7.39 ± 0.35 para la AD. En el peso fresco del fruto (PF) los tratamientos T2 (Biol 20%) con 34.98 ± 0.80 y T3 (Biol 30%) con 33.30 ± 0.30 no presentan diferencias significativas y superan significativamente al testigo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis de varianza para los grupos I y II.
Table 1. Analysis of Variance for Groups I and II.

Tratamientos	Grupo I			Grupo II			
	ZL m L ⁻¹	AD	PF g	DF	GC cm	PSS	pH
T0 (testigo †)	11.13±1.06 b	7.39±0.35 b	28.10±0.46 c	4.30±0.10 a	0.26±0.01 a	8.57±0.45 a	3.30±0.17 a
T1 (Biol 10%)	13.84±0.88 a	8.46±0.34 ab	32.56±1.00 b	3.63±0.12 b	0.24±0.01 ab	8.03±0.15 a	3.07±0.05 a
T2 (Biol 20%)	14.72±0.90 a	8.90±0.56 a	34.98±0.80 a	3.56±0.05 b	0.22±0.00 b	7.80±0.26 a	3.07±0.04 a
T3 (Biol 30%)	14.98±0.26 a	9.18±0.52 a	33.30±0.30 ab	3.66±0.05 b	0.21±0.02 b	7.76±0.64 a	3.09±0.00 a

† Zumo de limón (ZL), acidez (AD), peso del fruto (PF), diámetro del fruto (DF), grosor de cascara (GC), porcentaje de solidos solubles (PSS) y pH. ‡ Manejo convencional.
† Lemon juice (LJ), acidity (AD), fruit weight (FW), fruit diameter (FD), peel thickness (PT), percentage of soluble solids (PSS) and pH. ‡ Conventional management.

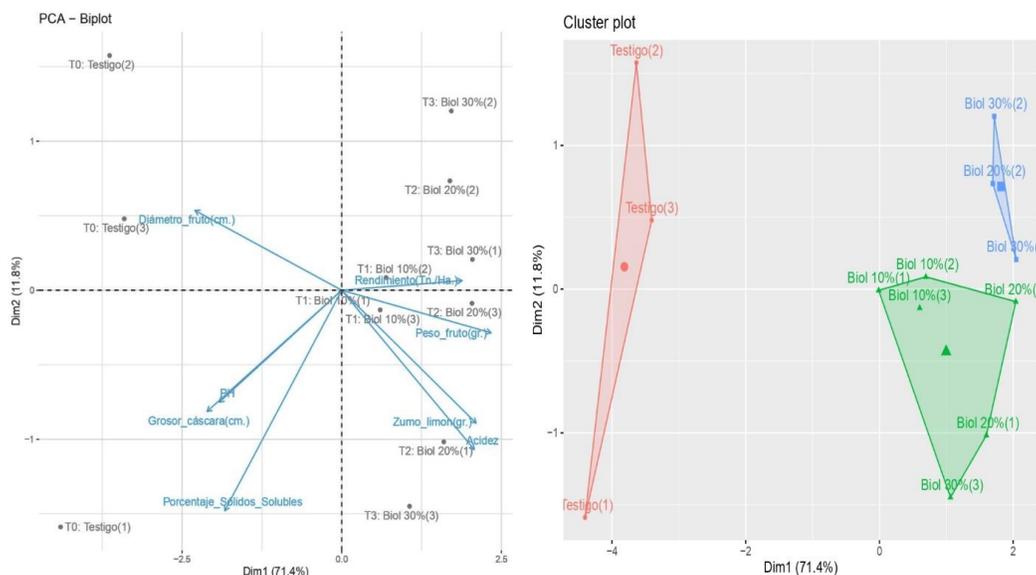


Figura 2. "Análisis de componentes principales" (ACP) y parámetros evaluados en el cultivo de limón sítul: diámetro del fruto (DF), peso del fruto (PF), zumo de limón (ZL), grosos de cascara (GC), acidez (AD), porcentaje de sólidos solubles (PSS), pH, rendimiento por hectárea (RHa), A) Biplot de ACP, B) gráficos Cluster plot.

Figure 2. "Principal component analysis" (PCA) and parameters evaluated in the cultivation of the subtle lemon: fruit diameter (FD), fruit weight (PW), lemon juice (LJ), peel thickness (PT), acidity (AD), percentage of soluble solids (PSS), pH, yield per hectare (YHa), A) PCA Biplot, B) Cluster plot graphs.

Las variables del cluster II (Grupo II) el T0 (testigo) presentan los mayores valores en el diámetro del fruto (DF) 4.30 ± 0.10 cm; grosor de cascara (GC) 0.26 ± 0.01 cm siendo significativamente superior a los diferentes tratamientos. Por otro lado, los valores obtenidos en el pH entre 3.07 a 3.3 y el porcentaje de sólidos solubles (PSS) entre 7.80 a 8.57 no presentaron diferencias significativas (Cuadro 1).

En el cluster III (Grupo III), el rendimiento por ha (RHa) los tratamientos T1, T2 y T3 son estadísticamente similares; además, el T2 (Biol 20%) con 15.75 ± 1.52 Mg ha⁻¹ fue significativamente superior al testigo con 12.63 ± 0.73 Mg ha⁻¹ (Cuadro 2).

Los parámetros pH, PSS no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos; sin embargo, los T1, T2 y T3 en el ZL, AD, GC no presentaron diferencias significativas y fueron superiores al testigo. No obstante, el T2 presentó los mayores valores en PF y RHa.

Resultados similares fueron obtenidos por Pinedo *et al.*, (2018) quienes indicaron que las aplicaciones de foliares de biofertilizante de bovino al 20% cada 15 días en el cultivo de camu mejoran: la longitud del fruto (24.96 mm), diámetro de fruto (27.28 mm), peso del fruto (11.35 g) y el rendimiento por planta (14.15 kg Planta⁻¹) respecto al testigo; no obstante, en el número de brotes florales y frutos cuajados no presentan diferencias

Cuadro 2. Análisis de varianza (ANOVA) del grupo III.

Table 2. Analysis of variance (ANOVA) of group III.

Tratamientos	RHa
	Mg ha ⁻¹
T0 (testigo)	12.63 ± 0.73 b
T1 (Biol 10%)	14.66 ± 1.38 ab
T2 (Biol 20%)	15.75 ± 1.52 a
T3 (Biol 30%)	14.97 ± 1.04 ab

[†] Rendimiento (RHa).

[†] Yield per ha (YHa).

entre los tratamientos. Asimismo, Shukr y Al Shaheen (2021) obtuvieron en plántulas de limón (*Citrus lemon* L.) tratadas con el biofertilizante comercial-Bio health con aplicaciones vía suelo y foliar a dosis de 6 g L⁻¹ y a 3 g L⁻¹ respectivamente, resultados significativos y superiores al control en los parámetros: diámetro de la púa, contenido de clorofila y área foliar; además, la aplicación foliar del biofertilizante con 2 g L⁻¹ y 3 g L⁻¹ mejoró la altura de plántula y diámetro del porta-injerto. Así también, aplicaciones foliares de biofertilizante (abono orgánico líquido) en pitahaya (*Hylocereus undatus*) a 60 L ha⁻¹ fraccionada en dos aplicaciones mejoró el número de frutos (11.40), peso de frutos (628 g), longitud de frutos (12.21 cm) y rendimiento (7.92 Mg ha⁻¹); sin embargo, no presentaron diferencias en el diámetro del fruto (10.67 cm), días a floración (19.20 días) respecto al control (Verdesoto et al., 2018). En quinua la incorporación de 15 Mg ha⁻¹ de compost (abono orgánico sólido) incrementan la altura de planta en 23%, masa seca de la planta en 25.6%, número de hojas en 27% respecto al control (El-Sheref, 2020). No obstante, Ennab (2016) menciona en el cultivo de limonero "Eureka" sembrado en suelos arenosos pobres en materia orgánica, una mejora del crecimiento, rendimiento y calidad del fruto con aplicaciones combinadas de abonos orgánicos con 55 kg de estiércol de corral + biofertilizante y convencionales con aplicaciones de 50% de NPK. Estos autores indican que los abonos orgánicos compensan el 50% de la fertilización convencional. Igualmente, Kumar, Kumar, Kumar y Muruganandam (2020), indicaron en el cultivo de lima ácida *Citrus aurantifolia* la aplicación combinada de abonos orgánicos y fertilizantes convencionales (inorgánicos) un incremento significativo en la longitud del fruto con 5.27 cm; diámetro del fruto con 4.93 cm, volumen del zumo 54.62 mL, grosor de cascara 1.94 mm respecto al testigo. Estos resultados difieren a los obtenidos por Peña y Cruz (2020) en el cultivo de maracuyá tratados con bioestimulantes a base de algas marinas a 3 y 5 L ha⁻¹ los cuales no influyen en el peso del fruto, la acidez, en porcentaje de sólidos solubles y pH del fruto. Reyes-Pérez et al., (2019) observaron en dos cultivares de tomate "Pomodoro y Floradade" tratados con el bioestimulante a base de quitosano a 1, 2 y 3 g L⁻¹ un incremento en las variables: "longitud del tallo, diámetro del tallo, peso fresco y seco de raíces, peso fresco y seco de tallo", así también, el contenido de N, P y K, estos resultados fueron significativamente superiores con la menor dosis 1 g L⁻¹. Por otro lado, se han reportado aislados nativos de microorganismos: hongos como *Trichoderma* y bacterias como *Bacillus* aumentando hasta un 40% LB (longitud del brote) en plantones de uva 30 días después de su inoculación (Morales-Pizarro et al., 2022b).

En la actualidad se ha incrementado e implementado el uso de biofertilizantes por los diversos beneficios en el manejo de los cultivos como: el aumento del sistema radicular y el área foliar por la síntesis de reguladores de crecimiento (auxinas, citoquininas y giberelinas), disponibilidad y solubilización de nutrientes por incremento de la actividad microbiana y por acción de los ácidos húmicos, incremento de CIC (capacidad de intercambio catiónico), resistencia a condiciones de estrés biótico y abiótico, activación de los genes de resistencia y supresión de patógenos (Orozco-Corral, Valverde, Martínez, Chávez y Benavides, 2016; Abobatta y El-Azazy, 2020).

Análisis Económico

El análisis económico del estudio demuestra que la mayor rentabilidad se presenta en T2 (Biol 20%) con un beneficio-costo de 3.84, seguido T1 (Biol 10%) con 3.53 (Cuadro 3). Así se aprecia que la rentabilidad en todos los tratamientos es superior al 26% respecto al testigo T0.

Cuadro 3. Análisis económico en la producción de limón Piura-Perú.
Table 3. Economic analysis of Piura-Peru lemon production.

Tratamiento	Rendimiento	Costo de producción	Ingresos totales	Utilidad	Beneficio/Costo
	Mg ha ⁻¹	----- \$† -----			
T0 (testigo)	12 630	5 158	19 071	13 912	2.70
T1 (Biol 10%)	14 660	4 882	22 136	17 254	3.53
T2 (Biol 20%)	15 750	4 911	23 782	18 870	3.84
T3 (Biol 30%)	14 970	5 129	22 604	14 475	3.41

† (\$) dólares.

† (\$) dollars.

Este estudio se evidencia la eficiencia de los biofertilizantes aplicados foliarmente, especialmente el tratamiento T2 (Biol 20%) mejoró el rendimiento, calidad y la relación beneficio/costo con 3.84 en el cultivo de limón sutil (*C. aurantifolia*), siendo estos resultados superiores al T0 (testigo: manejo convencional). Estos resultados son similares a los obtenidos por Galecio *et al.* (2023) en el cultivo de quinua tratados con drench a 5% MEN (microorganismos eficientes nativos) incrementan 50% la relación beneficio/costo respecto al testigo. Por otro lado, Nandita *et al.*, (2020) demostraron que las aplicaciones foliares de micronutrientes en cítricos y otros frutales, incrementan el rendimiento y calidad de sus frutos, mejorando la floración, cuajado y crecimiento del fruto; además se indica el biofertilizante biol influye positivamente en los parámetros evaluados y en la relación beneficio/costo presentó un incremento significativo respecto al testigo.

CONCLUSIONES

El uso de biol al 20% presenta los mayores valores en el peso del fruto, rendimiento por hectárea y una mayor relación beneficio/costo comparados con biol 10%, 30% y el testigo; siendo, una alternativa respecto al aumento de precios de los fertilizantes convencionales, cuidado del medio ambiente y manejo de una agricultura sostenible. Asimismo, el DF presento una correlación altamente negativa con PF, ZL, AD siendo indirectamente proporcional. El PF está moderadamente correlacionado a ZL, AD y RHa. Además, el ZL tiene una correlación altamente positiva con AD. Además, el GC se correlaciono positivamente con PSS.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los datos están disponibles previa solicitud formal del interesado.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no presentar intereses en competencia.

FINANCIACIÓN

No aplicable.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización e idea principal, investigación, trabajo de campo: R.C.G. y M.A.S.P. Escritura, preparación de borrador original, revisión: R.P.C., J.J.A. y L.A.B. Curación de datos, análisis de datos: M.V.Q.C., C.G.W. y R.A.A. Escritura, análisis formal y edición: M.G.J. y A.M.P.

AGRADECIMIENTOS

No aplicable.

LITERATURA CITADA

- Abdel-Hafiz, G., Abdel-Galil, H. A., Amin, K. I., & Ibrahim, R. A. (2016). Using the organic and bio-fertilizers as a partial substitute for Mineral-N in Williams banana orchards. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, 47(3), 34-46. <https://doi.org/10.21608/ajas.2016.903>
- Abobatta, W. F. (2020). Biofertilizers and citrus cultivation. *MOJ Ecology & Environmental Sciences*, 5(4), 171-176. <https://dx.doi.org/10.15406/mojes.2020.05.00190>

- Abobatta, W. F., & El-Azazy, A. M. (2020). Role of organic and biofertilizers in citrus orchards. *Aswan University Journal of Environmental Studies*, 1(1), 13-27. <https://dx.doi.org/10.21608/aujes.2020.124530>
- Aguilar-Ancota, R., Arévalo-Quinde, C. G., Morales-Pizarro, A., & Galecio-Julca, M. (2021). Hongos asociados a la necrosis de haces vasculares en el cultivo de banano orgánico: síntomas, aislamiento e identificación y alternativas de manejo integrado. *Scientia Agropecuaria*, 12(2), 249-256. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.028>
- Arber, D. A., Orazi, A., Hasserjian, R., Thiele, J., Borowitz, M. J., Le Beau, M. M., ... & Vardiman, J.W. (2016). The 2016 revision to the World Health Organization classification of myeloid neoplasms and acute leukemia. *Blood, The Journal of the American Society of Hematology*, 127(20), 2391-2405. <https://doi.org/10.1182/blood-2016-03-643544>
- 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. <https://doi.org/10.5154/r.rchsa.2017.02.003>
- Dries, L., Hendgen, M., Schnell, S., Löhnertz, O., & Vorkamp, A. (2021). Rhizosphere engineering: leading towards a sustainable viticulture. *Oeno One*, 55(2), 353-363. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2021.55.2.4534>
- El-Badawy, H. E. M. (2017). Partial substitution of Valencia orange chemical fertilization by bioorganic fertilization conjoint with algae extract foliar spray. *Middle East Journal of Applied Sciences*, 7(4), 1016-1030.
- El-Sheref, G. F. (2020). Influence of Nitrogen Sources and Levels Along with Different Levels of Compost on Quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd.) Productivity Grown in Newly Reclaimed Soils. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*. 11(7), 315-323. <https://dx.doi.org/10.21608/jssae.2020.109596>
- Ennab, H. (2016). Effect of Organic Manures, Biofertilizers and NPK on vegetative growth, yield, fruit quality and soil fertility of eureka lemon trees (*Citrus limon* (L.) Burm). *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 7(10), 767-774. <https://dx.doi.org/10.21608/jssae.2016.40472>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para Agricultura y Alimentación). (2020). Cultivos y productos ganaderos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Consultado 15 de diciembre, 2023, desde <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>
- Galecio, M., Arteaga, M., Rojas, B., & Peña, R. (2021). Biofertilización con micro organismos eficientes de montaña para producción de cafés especiales resilientes al cambio climático provincia de San Ignacio. *Revista Científica Pakamuros*, 9(2), 58-72.
- Galecio-Julca, M., Neira-Ojeda, M., Chanduvi-García, R., Peña-Castillo, R., Álvarez-Bernaola, L. A., Granda-Wong, C., ... & Morales-Pizarro, D. A. (2023). Efecto de la eficacia de los microorganismos nativos y la composta en tres pisos altitudinales en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa*) variedad INIA 415-Pasankalla. *Revista Terra Latinoamericana*, 41, 1-12. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1622>
- Ge, S., Zhu, Z., & Jiang, Y. (2018). Long-term impact of fertilization on soil pH and fertility in an apple production system. *Journal of soil science and plant nutrition*, 18(1), 282-293. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162018005001002>
- Gestión (2021). Precios de canasta básica aumentarán a inicio de 2022 por alto costo de fertilizantes. Consultado el 13 de diciembre, 2022, desde <https://gestion.pe/economia/precios-de-canasta-basica-aumentaran-a-inicio-de-2022-por-alto-costo-de-fertilizantes-noticia/>
- IBM SPSS Statistics. (2017). *Statistical Package for the Social Sciences User's Guide. version 25*. Armonk, NY, USA: IBM Corp.
- Kumar, T. R., Kumar, G. P., Kumar, R. S., & Muruganandam, C. (2020). Integrated use of organic and inorganic fertilizers with bio-inoculants on physicochemical characteristics of Acid Lime (*Citrus Aurantifolia* Swingle). *Plant Archives*, 20(1), 1769-1772.
- Maroto-Borrego, J. V. (2014). *Historia de la agronomía: una visión de la evolución histórica de la ciencia y las técnicas agrarias*. Ithaca, NY, USA: Mundi-Prensa.
- Medeiros, B. M., & da Silva-López, J. (2006). Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola. *Bahia Agrícola*, 7(3), 24-33.
- Mohammed, N., Malchoul, G., & Bousissa, A-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. <https://doi.org/10.14445/23942568/IJAES-V5I2P107>
- Morales-Pizarro, D., Javier-Alva, J., Álvarez, L., Mayta-Obos, R., Aguilar-Ancota, R., Peña-Castillo, R., ... & Lindo-Seminario, D. (2022a). Isolation, identification and in vitro evaluation of native isolates of *Bacillus*, *Trichoderma* and *Streptomyces* with potential for the biocontrol of grapevine trunk fungi. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(2), 86. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.4206>
- Morales-Pizarro, D., Javier-Alva, J., Álvarez, L., Peña-Castillo, R., Chanduvi-García, R., Granda-Wong, C., ... & Condori-Pacsi, S. (2022b). In vivo control of *Phaeoacremonium parasiticum* with native antagonists *Bacillus*, *Trichoderma* and actinomycetes and their growth promoting effect in grapevine. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(3), 1-17. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.4232>
- 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. <http://dx.doi.org/10.20546/ijcmas.2020.903.055>
- Orozco-Corral, A. L., Valverde-Flores, M. I., Martínez-Téllez, R., Chávez-Bustillos, C., & Benavides-Hernández, R. (2016). Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con biofertilización cultivado con manzano. *Terra Latinoamericana*, 34(4), 441-456.
- Peña, R. & Cruz, A. (2020). Aplicación de bioestimulantes con microelementos en el cultivo de maracuyá (*Passiflora edulis* f. flavicarpa Deg.): Rendimiento, calidad y rentabilidad económica. *Manglar*, 17(1), 39-46. <http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2020.007>
- Pinedo, M., Abanto-Rodríguez, C., Oroche, D., Paredes, E., Bardales-Lozano, R., Alves, E., López, J., & Vargas, J. (2018). Mejoramiento de las características agronómicas y rendimiento de fruto de camu-camu con el uso de biofertilizantes en Loreto, Perú. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 527-533. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.08>
- R Core Team (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Reyes-Pérez, J. J., Enríquez-Acosta, E. A., Ramírez-Arrebató, 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.
- Ruiz, E. M. (2018). Efecto de tres tipos de abono orgánico líquido (biol), en la etapa de desarrollo en vivero de bolaina blanca (*Guazuma crinita* C. Martius) en Pucallpa Perú. *Tzhoecon*, 10(3), 371-382. <https://doi.org/10.26495/rtzh1810.327529>
- Samuelson, P. A., & Nordhaus, W. D. (2009). *Economía* (19ª Ed.). Madrid, España: Mc Graw-Hill.
- SENASA (Servicio Nacional de Sanidad Agraria). (2021). Productores piuranos enviaron más de 17 mil toneladas de limón a mercados internacionales. Consultado el 13 de diciembre, 2022, desde <https://www.senasa.gob.pe/senasacontigo/productores-piuranos-enviaron-mas-de-17-mil-toneladas-de-limon-a-mercados-internacionales/>
- SIEA (Sistema Integrado de Estadística Agrarias). (2022). Perfil productivo y competitivo de los principales cultivos del sector, Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Consultado el 13 de diciembre, 2022, desde <https://app.powerbi.com/>