



Efecto de la aplicación foliar de peróxido de hidrógeno y compost en el crecimiento inicial de plántulas de maíz (*Zea mays L.*) †

[Effect of foliar application of hydrogen peroxide and compost on the initial growth of corn seedlings (*Zea mays L.*)]

Daniel Mena-Acha¹, Steven Atarama-Castillo¹, Roger Chanduvi-García¹, Marcos Quiroz-Calderón¹, Ricardo Peña-Castillo¹, Mariano Calero-Merino¹, Miguel Galecio-Julca¹, Ana Montero-Salazar¹, Sergio Copa-Vizcarra² and Arturo Morales-Pizarro^{1*}

¹ Universidad Nacional de Piura, Campus Universitario s/n. Urb. Miraflores. Piura, Perú.
Email: dmoralesp@unp.edu.pe

² Estación Experimental Agraria Moquegua, Instituto Nacional de Innovación Agraria, Carretera Panamericana sur km 4.5 sector Montalvo, Moquegua. Perú.

*Corresponding author

SUMMARY

Background: Corn is a cereal of great importance in human and animal food; which, guarantees food security and global economy. In Peru, corn is cultivated under conventional agriculture that is dependent on agrochemicals.

Objective: To evaluate the combined effect of different foliar doses of hydrogen peroxide and compost on the initial development of corn seedlings. **Methodology:** Commercial hydrogen peroxide (CHP) (H_2O_2 at a concentration of 3 g 100 mL⁻¹) and compost-C were evaluated in the treatments: T0 (control-conventional), T1 (C-2.5% CHP), T2 (C-5% CHP), T3 (C-10% CHP). The morphometric variables were: plant height (PH), root length (RL), number of leaves (NL) and stem diameter (SD) and biomass: aerial fresh weight (AFW), aerial dry weight (ADW), root fresh weight (RFW), root dry weight (RDW) at 26 and 39 DAP (days after planting), Brix grades (°B) were evaluated on the last date. **Results:** T2 and T3 treatments significantly improved RL and NL at 26 DAP; however, at 39 DAP, T2 increased PH, AFW, RFW, ADW, RDW and °B; and T3 increased RL. The highest positive correlation between variables was present at 39 DAP with respect to 36 DAP. **Implications:** The combined effect of “CHP” and “C” improves plant performance through a good distribution of organic carbon (glucids) obtained from carbon dioxide fixation and reduces fertilizer use. **Conclusion:** Treatments T2 and T3 significantly increased the variables under study at 39 DAP. Likewise, the positive correlation between the variables improved.

Key words: Organic fertilizer; Biometrics; Root development; Hydrogen Dioxide.; corn.

RESUMEN

Antecedentes: El maíz es un cereal de gran importancia en la alimentación humana y animal; el cual, garantiza la seguridad alimentaria y la economía global. En el Perú, el maíz se cultiva bajo una agricultura convencional dependiente de agroquímicos. **Objetivo:** Evaluar el efecto combinado de diferentes dosis foliares de peróxido de hidrógeno y compost en el desarrollo inicial de plántulas de maíz. **Metodología:** Se evaluó el peróxido de hidrógeno comercial-PHc (H_2O_2 a concentración 3 g 100 mL⁻¹) y compost-C en los tratamientos: T0 (testigo-convencional), T1 (C-2.5% PHc), T2 (C-5% PHc), T3 (C-10% PHc). Las variables morfométricas fueron: altura de planta (AP), longitud de raíz (LR), número de hojas (NH) y diámetro de tallo (DT) y biomasa: peso fresco aéreo (PFA), peso seco aéreo (PSA), peso fresco de raíz (PFR), peso seco de raíz (PSR) a los 26 y 39 DDS (días después de la siembra), en la última fecha se evaluó grados Brix (°B). **Resultados:** Los tratamientos T2 y T3 mejoraron significativamente la LR y NH a los 26 DDS; no obstante, a los 39 DDS el T2 incrementó la AP, PFA, PFR, PSA, PSR y °B; y el T3 la LR. La mayor correlación positiva entre las variables se presentó a los 39 DDS respecto a los 36 DDS. **Implicaciones:** El efecto combinado del “PHc” y “C” mejora el funcionamiento de las plantas mediante una buena distribución del carbono orgánico (glúcidos) obtenido a partir de la fijación del dióxido de carbono y reduce el uso de fertilizantes. **Conclusión:**

† Submitted January 18, 2025 – Accepted October 31, 2025. <http://doi.org/10.56369/tsaes.6153>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
ISSN: 1870-0462.

ORCID = D. Mena-Acha: <http://orcid.org/0009-0000-0246-1116>; S. Atarama-Castillo: <http://orcid.org/0009-0005-3872-6493>; R. Chanduvi-García: <http://orcid.org/0000-0002-6061-3007>; M. Quiroz-Calderón: <http://orcid.org/0000-0001-8543-8236>; R. Peña-Castillo: <http://orcid.org/0000-0001-9366-4962>; M. Calero-Merino: <http://orcid.org/0000-0002-7354-4813>; M. Galecio-Julca: <http://orcid.org/0000-0001-8410-6205>; A. Montero-Salazar: <http://orcid.org/0000-0002-8267-5364>; S. Copa Vizcarra: <http://orcid.org/0009-0008-7556-8334>; A. Morales-Pizarro: <http://orcid.org/0000-0003-3966-6689>

Los tratamientos T2 y T3 incrementaron significativamente las variables en estudio a los 39 DDS. Asimismo, mejoró la correlación positiva entre las variables.

Palabras clave: abono orgánico; biometría; desarrollo radicular; dióxido de hidrógeno; maíz.

INTRODUCCIÓN

El maíz *Zea mays* L. pertenece al orden poales y familia gramínea o poaceae, este cereal es originario de Mesoamérica desarrollándose entre los 0 a 3000 m.s.n.m. En la actualidad, el maíz, es de gran importancia en la alimentación humana y animal (GBIF, 2023). Al año 2022, los principales continentes productores fueron: América (49.3 %) y Asia (32.2 %), siendo los países con mayor producción según (FAO, 2024) Estados Unidos (365 millones de toneladas Mt), China (274 Mt y Brasil (98 Mt). Este cultivo es la base para el desarrollo socioeconómico de muchos países, garantizando la seguridad alimentaria (Martínez-Rengel *et al.*, 2021; Cardoza-Viera *et al.*, 2024). En el Perú, la producción de maíz amarillo en el año 2023 alcanzó 843.3 mil toneladas (mt) siendo las principales regiones productoras: San Martín (172.7 mt), Ica (96.5 mt), Lima (57.5 mt) (SIEA, 2024). Este cultivo se siembra en forma directa en campo en donde presenta diversos problemas en su etapa inicial como lo es la irregular germinación, escaso desarrollo radicular y mortandad de plántulas (Cardoza-Viera *et al.*, 2024). Asimismo, en los últimos años se ha incrementado el precio de los fertilizantes, agroquímicos y la contaminación de los recursos naturales afectando la sostenibilidad del cultivo (Chanduvi-García *et al.*, 2023; Galecio-Julca *et al.*, 2023; Morochó-Romero *et al.*, 2024). Por lo mencionado, se propone usar en esta investigación el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) en combinación con el compost y evaluar su efecto en el desarrollo morfométrico del maíz, como una alternativa amigable con el medio ambiente para mejorar el desarrollo inicial de plántulas de maíz, el cual es usado como alimento forrajero verde para la alimentación de animales, desde aves hasta rumiantes (Cardoza-Viera *et al.*, 2024).

Diversos estudios indican que el H_2O_2 participa en diferentes procesos biológicos como: “cierre de estomas, floración, senescencia de hojas, diferenciación celular y formación de raíces”. Asimismo, incrementa la actividad enzimática, aumentando el contenido de carbohidratos y nitrógeno, y reduciendo la producción de compuestos fenólicos y almidón (Deng *et al.*, 2019). Dosis adecuadas de H_2O_2 influyen en manera positiva en el desarrollo y crecimiento de plantas, sin embargo, altas concentraciones causan la lisis celular (Chen *et al.*, 2018; Htet *et al.*, 2019). El H_2O_2 regula las concentraciones endógenas de auxinas; además, su efecto combinado influye en la división celular (Li *et al.*, 2007). Asimismo, esta molécula está relacionada con la elongación y la formación de pelos radiculares (Deng *et al.*, 2019).

Los abonos orgánicos o también llamados insumos orgánicos, tanto sólidos (compost, humus, Bocashi) y líquidos (extracto o té de compost, biol, extracto de algas) mejoran las propiedades físicas y químicas del suelo, y la actividad microbiana del suelo. Asimismo, mejora la disponibilidad de nutrientes del suelo (Chanduvi-García *et al.*, 2023; Vilchez-Navarro *et al.*, 2025). El compost tiende a acidificar ligeramente la zona de la rizosfera, mejorando la interacción con los microorganismos benéficos (*Bacillus*, Actinomicetes, *Trichoderma*) (Morales-Pizarro *et al.*, 2022) y la absorción de macro y micronutrientes, ácidos húmicos, ácidos fulvicos, promoviendo el desarrollo y crecimiento de las plantas, reduciendo en gran medida la dependencia de los fertilizantes y la contaminación de los recursos naturales (Galecio-Julca *et al.*, 2023; Ramzani *et al.*, 2017). Por lo mencionado, el objetivo de esta investigación fue el efecto combinado de diferentes dosis de peróxido de hidrógeno foliar y compost en el desarrollo inicial de plántulas de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio

El estudio se realizó en el tinglado (casa realizada con malla raschel en condiciones naturales) del Departamento Académico de Morfofisiología Vegetal de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Piura (UNP), Perú ubicado a 5°10'33" Latitud sur; 80°37'17" Longitud oeste a 30 m. s. n. m con temperatura máxima de 28.37 °C y mínima de 17.21°C durante los meses de junio a agosto del 2024.

Materiales del estudio

Se usó el maíz amarillo duro híbrido “INIA 619-Mega híbrido” (Programa Nacional de Innovación Agraria en Maíz, Perú), peróxido de hidrógeno comercial 10 volúmenes 3 g 100 mL⁻¹ (Laboratorio ALKOFARMA E.I.R.L., Jirón Víctor Li Carrillo 521, Lima 15103-Perú), compost Nutri Suelo 3M, enriquecido con microorganismos nativos de montaña (MN'M) presenta un pH: 7.3; conductividad eléctrica 18.2 dS m⁻¹; materia orgánica: 48%; nitrógeno 2.48%; fósforo (P₂O₅) 3.06%; potasio 3.57%; magnesio (MgO) 3.47%, relación carbono/nitrógeno 12.7; ácidos húmicos 4.5% y ácidos fulvicos 3.9%. El análisis microbiológico presentó: Actinomicetos 7.00 x 10⁵ UFC; Bacterias 1.02 x 10⁷ UFC; Hongos 4.1 x 10⁴ UFC (Soluciones Orgánicas Loma Fertil®, Perú), y fertilizante Molimax NPK 20-20-20 (Molinos y Cía, Perú).

El análisis físico químico del suelo agrícola procedente de las parcelas de la UNP, presentó una textura: franco limoso; pH: 7.42; materia orgánica: 0.74%; nitrógeno total 330 ppm, carbonato de calcio (CaCO_3) 0.96 %; fósforo 9.0 mg kg⁻¹; potasio 160 mg kg⁻¹; conductividad eléctrica 0.66 dS m⁻¹.

Procedimiento y tratamientos

Se extrajo suelo agrícola procedente de las parcelas de la UNP, el cual fue solarizado durante 10 días mediante la técnica propuesta por Cardoza-Viera *et al.* (2024). Se llenaron bolsas negras de polietileno con dimensiones 15 cm x 30 cm con el suelo agrícola. Se procedió a sembrar 5 semillas de maíz megahíbrido por bolsa. Posterior, cuando la planta presentó entre 2 a 3 hojas verdaderas se realizó el desahije dejando 2 plántulas por bolsas y el abonamiento de fondo (Tabla 1). Asimismo, las aplicaciones foliares con el peróxido de hidrógeno comercial (PHc) cada 7 días realizando 4 aplicaciones foliares (7, 14, 21 y 28 DDS). Las bolsas se instalaron con un distanciamiento de siembra de 0.8 x 0.3 cm.

Se realizó la evaluación biométrica de las plántulas a los 26 y 39 DDS (días después de la siembra) seleccionando 4 unidades experimentales por tratamiento, evaluando esas fechas la longitud de raíz en cm (LR), altura de planta en cm (AP), número de hojas (NH), y diámetro del tallo en mm (DT). Asimismo, la biomasa de la zona área peso fresco en g (PFA) y seco en g (PSA), y de la raíz peso fresco en g (PFR) y seco en g (PSR). Además, a los 39 DDS se midió el contenido de sólidos solubles totales en Grados Brix (GB).

Análisis estadístico

La investigación se realizó bajo el diseño de Bloques Completos al Azar – BCA, con 4 tratamientos; además, la unidad experimental estuvo conformado por 2 plántulas con 8 repeticiones por tratamiento, y un total de 16 plántulas por tratamiento. Se empleó la prueba de Shapiro-Wilk para verificar la normalidad de la distribución de los datos y la prueba de Levene para evaluar la homogeneidad de la varianza. Se realizó un ANOVA (análisis de varianza) y a prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($P<0.05$). Asimismo, se hizo un análisis de correlaciones Pearson

y el análisis de componentes principales con el software estadístico R- Studio (versión 3.12) (R Core Team 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros de Biometría y Biomasa

En la altura de planta (AP), a los 26 DDS los tratamientos no presentaron diferencias significativas. Por otro lado, en a los 39 DDS los tratamientos T2 y T1 presentaron un incremento del 36 % y 26 % respecto al testigo sin diferencias significativas siendo superior a los demás tratamientos. Asimismo, presentaron la mayor diferencia de crecimiento respecto a los 26 DDS. En la longitud de la raíz (LR), en la primera evaluación, el T2 con 55.86 cm fue significativamente superior a los demás tratamientos; no obstante, a los 39 DDS el tratamiento T3 con 61.88 cm fue significativamente mayor, mostrando una mayor diferencia de crecimiento respecto a los 26 DDS. En el número de hojas (NH), a los 26 DDS el T3 presentó el mayor número de hojas con 5 hojas respecto al T0 con 4 hojas por planta. Sin embargo, a los 39 DDS los diferentes tratamientos no presentaron diferencias significativas. En el diámetro de tallo (DT), a los 26 y 39 DDS los tratamientos no presentaron diferencias significativas, observando un desarrollo progresivo del DT (Tabla 2 y Figura 1).

En el peso fresco aéreo (PFA), a los 26 DDS los tratamientos no presentaron diferencias significativas. No obstante, en la segunda evaluación los tratamientos T2 y T3 con 17.51 g y 14.9 g no tuvieron diferencias significativas presentando un incremento por encima del 70 % respecto al testigo. En el peso fresco de la raíz (PFR), a los 26 DDS los tratamientos no presentaron diferencias significativas. En la segunda evaluación el tratamiento T2 presentó el mayor valor numérico con 15.3 g. En el peso seco aéreo (PSA), los tratamientos no mostraron diferencias significativas con valores entre 0.6 a 0.7 g en la primera evaluación. A los 39 DDS, los tratamientos T1 y T2 sin diferencias significativas presentaron un incremento de un 70 % respecto al testigo. En el peso seco de la raíz (PSR), en la primera evaluación los tratamientos no presentaron diferencias significativas. Sin embargo, en la segunda evaluación los tratamientos T1 (1.83 g), T2 (1.93 g) y T3 (1.51 g) no presentaron diferencias significativas

Tabla 1. Diferentes dosis de peróxido de hidrógeno combinado con abono orgánico.

Tratamientos	Abonamiento al suelo	Foliar
T0	10.8 g (NKP-20-20-20) a los 7 y 20 DDS	Sin aplicación
T1	Compost 72 g planta ⁻¹ (3 t compost ha ⁻¹)-7 DDS	PHc 2.5%
T2	Compost 72 g planta ⁻¹ (3 t compost ha ⁻¹)-7 DDS	PHc 5%
T3	Compost 72 g planta ⁻¹ (3 t compost ha ⁻¹)-7 DDS	PHc 10%

*DDS (días después de la siembra). PHc (peróxido de hidrógeno comercial).



Figura 1. Plántulas de maíz tratadas con peróxido de hidrógeno comercial PHc a los 39 DDS (días después de la siembra). A) grupos de 8 plántulas por tratamiento, B) T0 fertilización convencional, C) T0 compost y PHc 2.5%, D) T0 compost y PHc 5%, E) T0 compost y PHc 10%.

Tabla 2. Análisis morfométrico de plántulas de maíz.

Tratamientos	AP cm		LR cm		NH		DT	
	26 DDS	39 DDS	26 DDS	39 DDS	26 DDS	39 DDS	26 DDS	39 DDS
T0	21.7±4.39 a	23.01±3.42 b	47.16±5.43 b	50.55±6.36 b	4.13±0.35 b	5.75±0.71 a	5.01±0.98 a	6.71±1.33 a
T1	20.56±3.21 a	29.08±4.18 a	47.58±5.51 b	48.31±6.25 b	4.5±0.53 ab	6±0.76 a	5.69±1.64 a	7.51±1.14 a
T2	20.36±1.13 a	31.41±4.10 a	55.86±2.03 a	58.5±6.93 ab	4.75±0.46 ab	6.34±0.92 a	5.81±1.41 a	7.61±0.89 a
T3	22.01±1.87 a	26.56±2.34 ab	52.88±9.06 ab	61.88±10.65 a	5±0.53 a	6.25±0.46 a	5.64±0.62 a	7.24±0.67 a

*DDS (días después de la siembra). Los tratamientos T0 (10.8 g NKP-20-20-20), T1 (Compost 72 g planta⁻¹ + PHC 2.5%), T2 (Compost 72 g planta⁻¹ + PHC 5%), T3 (Compost 72 g planta⁻¹ + PHC 10%). Variables morfométricas evaluadas: altura de planta (AP), longitud de raíz (LR), número de hojas (NH) y diámetro de tallo (DT).

siendo superior a T0. En el contenido de sólidos solubles totales expresado en Grados Brix evaluado a los 39 DDS, el T2 presentó el mayor valor numérico con 3.67, sin embargo, los tratamientos no presentaron diferencias significativas (Tabla 3).

El incremento de las variables morfométricas se debe al efecto H₂O₂ en los procesos biológicos como: la germinación, fotosíntesis, el desarrollo de frutos mediante la interacción sinérgica con las hormonas vegetales (auxinas, citoquininas, ácido jasmónico) lo que permite el crecimiento y la resiliencia de las plantas a los diferentes tipos de estrés (Nazir *et al.*, 2020). Asimismo, el H₂O₂ regula la concentración de auxinas durante el enraizamiento, influyendo en la elongación celular y formación de pelos absorbentes (Da Silva *et al.*, 2022). Bahin *et al.* (2011) indican que el H₂O₂ incrementa la germinación de semillas de cebada al activar la biosíntesis de ácido giberélico lo que permite un mejor desarrollo de plántulas. Potikhá *et al.* (1999) indican que el H₂O₂ mejora lo parámetros morfométricos en el cultivo de algodón como resultado de la división celular y la biosíntesis de pared celular secundaria de los vegetales.

Por otra parte, Xiong *et al.* (2015) concluyeron en el cultivo de arroz que bajas concentraciones de H₂O₂ (0–100 μM) mejora el diámetro de raíces y la división celular; no obstante, mayores concentraciones de H₂O₂ (100–500 μM) reducen la longitud de raíces. Esta molécula también mejoró el desarrollo de raíces en el trigo (Hameed *et al.*, 2004). Semillas de frijol (*Vigna radiata* L.) tratadas con H₂O₂ a 0; 0.01; 0.1 y 0.5 mM durante 2, 4 u 8 h., presentaron un incremento significativo a 0.1 mM H₂O₂ durante 4 h (45 DSS) respecto al testigo en la longitud de raíces (27 %), longitud de la planta (30 %), peso fresco de raíces (36%) y brotes (48 %), peso seco de raíces (26 %) y el área foliar (30 %) (Khan *et al.*, 2015).

La ganancia de la biomasa en plántulas de maíz se relaciona al efecto que tiene el H₂O₂ apoplástico en la formación de lignina (Kärkönen y Koutaniemi, 2010); asimismo, el H₂O₂ exógeno en el endurecimiento del coleóptilo de maíz y de la pared celular (Schopfer, 1996) lo ayudará a un mejor desarrollo de plántulas.

Además, el tratamiento exógeno de plántulas de maíz con H₂O₂ estimula la biosíntesis de prolina en tejidos meristemáticos (coleóptilos y radículas) de plántulas de maíz (Yang *et al.*, 2009) lo que permite mejorar la biomasa aérea y radicular de las plántulas. La prolina (aminoácido) se acumula bajo condiciones de estrés abióticos (sequía, salinidad, metales pesados), y actúa en diferentes procesos biológicos como, por ejemplo: estabilizador de proteínas y membranas, reduce los radicales libres, osmorregulador, inductor de los genes de resistencia y fuente de nitrógeno y carbono (crecimiento de plantas) (Giberti *et al.*, 2014; Rejeb *et al.*, 2014). En el girasol aplicaciones foliares de H₂O₂ entre a 1 a 3 % mejoraron la biomasa total y aérea (brotes) (Dolatabadian y Sanavy, 2008). Merino-Valdés *et al.* (2018) indican que semillas de chile (*C. pubescens*) sumergidas con H₂O₂ a 20% durante 15 minutos aumentaron la biomasa fresca y seca de plántulas. Manzanas tratadas con aplicaciones de H₂O₂ mejoran la materia seca de hojas, biomasa, número de frutos y rendimiento del cultivo (Khandaker *et al.*, 2012). Además, Morales-Pizarro *et al.* (2025) demostraron en semillas de algodón tratadas con 10% de H₂O₂ comercial durante 6 h de imbibición un incremento de la longitud de raíz por encima del 100 % respecto al testigo, y una disminución a mayor dosis y tiempo de imbibición. (12 h). Asimismo, en la biomasa seca y fresca de la parte área y raíz.

El efecto sinérgico de H₂O₂ en conjunto con el compost mejoran el desarrollo inicial de plantas de maíz. Pérez-Peralta *et al.* (2024) destacaron la importancia del uso de insumos orgánicos en especial los biofertilizantes, como una innovación biotecnológica sostenible, con diversos mecanismos de acción como: “fijación de N₂ (nitrógeno atmosférico), la de fosfato y la secreción de hormonas como las auxinas” estimula el crecimiento y salud de las plantas. En el maíz el crecimiento inicial del coleóptilo es estimulado por la auxina tanto endógena con exógena (Małkowski *et al.*, 2020). Asimismo, El-Sayed *et al.* (2023) demostraron que aplicación de compost mejora las características físicas del suelo (retención de humedad y porosidad del suelo), así también, la disponibilidad parcial de nutrientes, actividad microbiana mejorando el desarrollo de sistema radicular. Cardoza-Viera *et al.*

(2024) observaron un efecto significativo en los parámetros morfométricos (altura de planta, longitud de raíz, numero de hojas y área foliar) y biomasa (peso seco y fresco de la zona aérea y radicular) de plántulas de maíz. Además, Galecio-Julca *et al.* (2023) indicaron que aplicaciones combinadas de compost y biol mejoran el diámetro de tallo y altura de quinua.

El buen desarrollo y funcionamiento de las plantas, se relaciona directamente con una buena distribución del carbono orgánico (glúcidos); lo que influye en la forma y estructura de las raíces y su distribución en el suelo (Freixes *et al.*, 2002). Walter y Nagel (2006), indican que el crecimiento de las raíces se ve relacionado directamente con el contenido de carbono en raíces. Huang *et al.* (2014) indican que aplicaciones de 1 μM H_2O_2 en naranjo trifoliado o en japonés en combinación con hongos micorrízicos HM incrementa el contenido de sacarosa y glucosa en raíces, asimismo, el peso fresco de raíces y brotes; no obstante, sin los HM estos valores disminuyen.

Análisis de Correlaciones

En la Figura 2, presenta la correlación r-Pearson entre las variables de biometría y biomasa. A los 26 DDS se presentó un menor número de correlaciones positivas y negativas entre las variables en estudio (Figura 2 A). La mayor correlación positiva se observó en la AP con PFA (0.99), PFR (0.95) y PFA con PFR (0.91), mostrando que la AP se relaciona directamente con PFA y PFR. Sin embargo, se mostró una correlación negativa o inversamente proporcional entre DT con PFR (-0.70) lo que muestra una relación indirecta entre estas variables. Por otro lado, a los 39 DDS se presenta

un mayor número de correlaciones positivas entre las variables en estudio mostrando la relación directa entre estas. En la AP con el DT (0.98), PFA (0.90), PFR (0.84), PSA (0.94), PSR (0.97) y GB (0.94); lo cual indica que la AP es un factor en que influye de forma directa en el DT, PFA, PFR, PSA, PSR. La LR con NH (0.80) con una relación directa entre estas. Asimismo, el NH con PFA (0.97), PFR (0.95) y GB (0.92). En el DT con PFA (0.90), PFR (0.89), PSA (0.98), PSR (1.00) y GB (0.96). El PFA presentó una correlación positiva con PFR (0.97), PSR (0.89) y GB (0.98). En PFR con PSA (0.80), PSR (0.90) y GB (0.98). En el PSA con PSR (0.98) y GB (0.89). En el PSR con GB (0.96). Hussain *et al.* (2019) indican que la salud y el vigor del sistema radicular son factores determinantes en el crecimiento, desarrollo y en la producción del cultivo. Semillas de trigo tratadas con H_2O_2 permitieron obtener una correlación positiva entre el peso fresco del brote y la longitud de la raíz; asimismo, entre la longitud del brote con el peso fresco de brote y la longitud de la raíz (Huang *et al.*, 2014).

Análisis de Componentes Principales (ACP)

Se realizó el ACP a los 39 DDS, ya que en esta fecha se presentó un mayor número de correlaciones (Figura 2). El ACP permitió formar dos nuevos componentes o dimensiones: Dimensión 1 (83.6%) y Dimensión 2 (15.5%), que exponen el 99.1% de la variabilidad total del estudio. Según el grado de relación las variables de la dimensión 1 (AP, NH, DT, PFA, PFR, PSA, PSR y GB) mostró una gran afinidad con el T2. Además, la variable de la dimensión 2 (LR) presenta una estrecha relación con el T3. (Figura 3^a y B).

Tabla 3. Análisis de biomasa y grado brix de plántulas de maíz.

Tratamientos	PFA g		PFR g		PSA g		PSR g		GB
	26 DDS	39 DDS	26 DDS	39 DDS	26 DDS	39 DDS	26 DDS	39 DDS	39 DDS
T0	3.91±1.1 a	8.43±2.85 b	4.46±1.6 a	6.23±1.91 b	0.6±0.14 a	1.5±0.49 b	0.45±0.15 a	0.84±0.17 b	3±0.85 a
T1	3.49±0.96 a	13.39±3.84 ab	3.41±0.96 a	12.73±6.04 a	0.71±0.34 a	2.74±0.97 a	0.57±0.25 a	1.83±0.66 a	2.67±0.58 a
T2	3.3±0.68 a	17.51±4.19 a	3.59±0.62 a	15.3±4.42 a	0.63±0.26 a	2.64±0.76 a	0.49±0.09 a	1.93±0.54 a	3.67±0.58 a
T3	4.04±0.73 a	14.9±4.71 a	4.38±1.55 a	14.53±3.73 a	0.67±0.15 a	2.11±0.55 ab	0.67±0.32 a	1.51±0.37 a	2.67±1.15 a

*DDS (días después de la siembra). Los tratamientos T0 (10.8 g NKP-20-20-20), T1 (Compost 72 g planta⁻¹ + PHC 2.5%), T2 (Compost 72 g planta⁻¹ + PHC 5%), T3 (Compost 72 g planta⁻¹ + PHC 10%). Variables evaluadas biomasa: peso fresco aéreo (PFA), peso seco aéreo (PSA), peso fresco de raíz (PFR), peso seco de raíz (PSR), °Brix (GB).

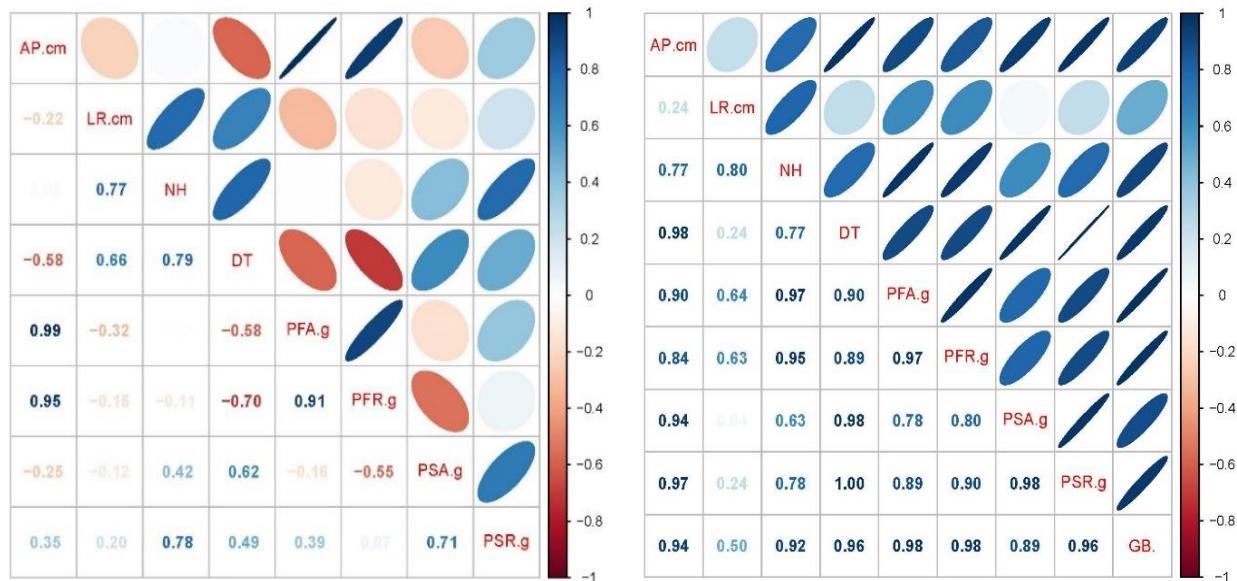


Figura 2. Análisis de correlación entre las variables de los parámetros de biometría y biomasa. A) a los 26 DDS (días después de la siembra), B) a los 39 DDS. Biometría: altura de planta (AP), longitud de raíz (LR), número de hojas (NH), diámetro de tallo (DT). Biomasa: peso fresco aéreo (PFA), peso seco aéreo (PSA), peso fresco de raíz (PFR), peso seco de raíz (PSR). Grados Brix (GB).

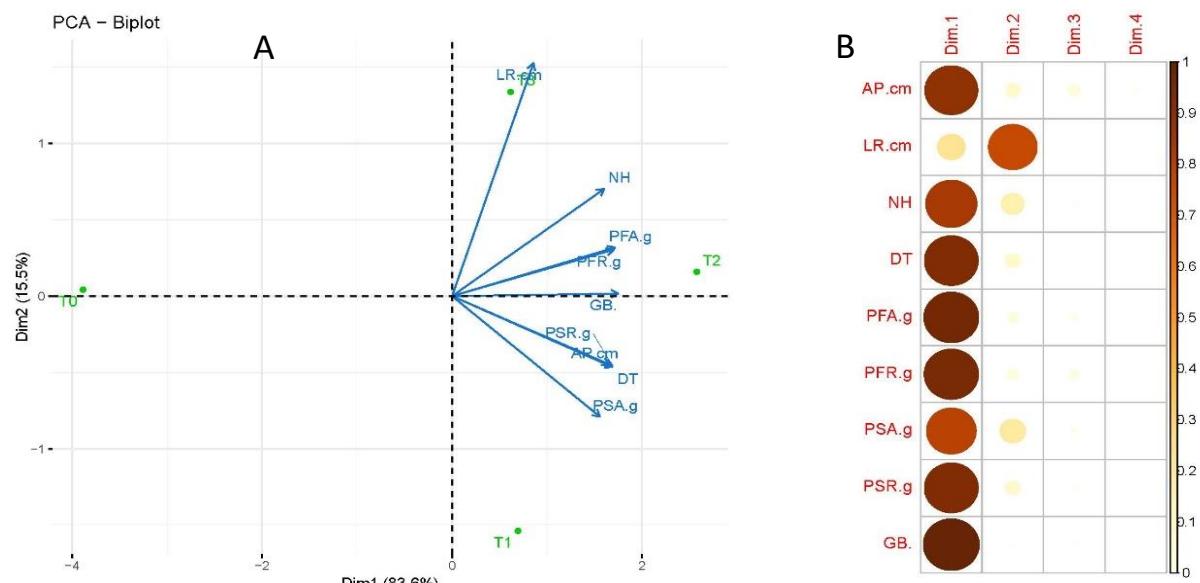


Figura 3. Análisis de componentes principales entre variables de los parámetros de biometría y biomasa a los 39 DDS. A) Biplot ACP, B) Distribución de las variables en las dimensiones. Biometría: altura de planta (AP), longitud de raíz (LR), número de hojas (NH), diámetro de tallo (DT). Biomasa: peso fresco aéreo (PFA), peso seco aéreo (PSA), peso fresco de raíz (PFR), peso seco de raíz (PSR). Grados brix (GB).

CONCLUSIONES

La aplicación combinada de peróxido de hidrógeno y compost en los tratamientos T2 y T3 permite obtener una mayor LR y NH frente a una fertilización

convencional en el primer muestreo. Sin embargo, en la segunda evaluación los mayores valores de esta interacción se observan en AP, PFA, PFR, PSA, PSR y GB con T2, y una mayor LR con T3. Asimismo, la mayor correlación de variables se observa los 39 DDS.

Siendo la aplicación combinada una alternativa a ser incluidos en los planes de fertilización inicial del cultivo.

Agradecimiento

Al técnico Feliciano Poicon jefe de laboratorio del Departamento de Morfofisiología vegetal, por su apoyo logístico.

Funding. All authors declare not having received any funding in the development of our research.

Conflict of interest. All authors declare not having any conflict of interest in this article that has affected the performance of the same.

Compliance with ethical standards. Do not apply

Data availability. Data is available with the corresponding author upon reasonable request.

Author contribution statement (CRediT). **D. Mena-Acha** – Methodology, Supervision. **S. Atarama-Castillo** – Methodology, Supervision. **R. Chanduvi-García** – Conceptualization, methodology. **M. Quiroz-Calderón** – Data Curation, Formal analysis. **R. Peña-Castillo** – Writing – review & editing, editing. **M. Calero-Merino** – Conceptualization, Writing – review & editing. **M. Galecio-Julca** – Writing – review & editing. **A. Montero-Salazar** – Supervision, Writing – review & editing. **S. Copa Vizcarra** – Writing – review & editing. **A. Morales-Pizarro** – Conceptualization, Methodology, Writing – review & editing.

REFERENCES

- Bahin, E., Bailly, C., Sotta, B., Kranner, I., Corbineau, F. and Leymarie, J., 2011. Crosstalk between reactive oxygen species and hormonal signalling pathways regulates grain dormancy in barley. *Plant, Cell & Environment*, 34(6), pp. 980-993. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2011.02298.x>
- Cardoza-Viera, A., Arévalo-Valladolid, D., Javier-Alva, J., Peña-Castillo, R., Chanduvi-García, R., Quiroz-Calderón, M. and Morales-Pizarro, A., 2024. Sustratos orgánicos alternos en la germinación y crecimiento inicial de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de vivero. *Terra Latinoamericana*, 42, pp. 1-11. e1867. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1867>
- Chanduvi-García, R., Sandoval-Panta, M.A., Peña-Castillo, R., Alva, J.J., Álvarez, L.Á., Quiroz-Calderón, M.V. and Morales-Pizarro, D.A., 2023. Biofertilizante y su Correlación entre Parámetros Productivos y de Calidad en Limón Sutil (*Citrus aurantifolia* Swingle). *Terra Latinoamericana*, 41. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1685>
- Chen, Z., Gu, Q., Yu, X., Huang, L., Xu, S., Wang, R. and Shen, W., 2018. Hydrogen peroxide acts downstream of melatonin to induce lateral root formation. *Annals of botany*, 121(6), pp. 1127-1136. <https://doi.org/10.1093/aob/mcx207>
- Da Silva, M.K.F., Siqueira, D.P., de Carvalho, G.C.M.W., de Deus Silva, R., da Rocha Silva, R.M. and Barroso, D.G., 2022. Hydrogen peroxide enhanced indole-3-butyric acid effects on *Cordia trichotoma* adventitious rooting. *Rhizosphere*, 22, p. 100533. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2022.100533>
- Deng, Y., Wang, C., Wang, N., Wei, L., Li, W., Yao, Y. and Liao, W., 2019. Roles of small-molecule compounds in plant adventitious root development. *Biomolecules*, 9(9), p. 420. <https://doi.org/10.3390/biom9090420>
- Dolatabadian, A. and Sanavy, S., 2008. Effect of the ascorbic acid, pyridoxine and hydrogen peroxide treatments on germination, catalase activity, protein and malondialdehyde content of three oil seeds *Notulae Botanicae. Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 36(2), pp. 61-66. <http://dx.doi.org/10.15835/nbha36270>
- El-Sayed, A., Mustafa, H.H., Bakr, B.M.M., Abdelraouf, R.E., Ragab, R. and Mansour, N.E., 2023. Improving mango production using partial root drying technique and organic fertilisation: Field and modeling study. *Water Science*, 37(1), pp. 371-388. <https://doi.org/10.1080/23570008.2023.2278999>
- Galecio-Julca, M., Neira-Ojeda, M., Chanduvi-García, R., Peña-Castillo, R., Álvarez-Bernaola, L.A., Granda-Wong, C. and Morales-Pizarro, A., 2023. Efecto de los microorganismos eficientes nativos y compost en tres pisos altitudinales en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa*) variedad INIA 415-Pasankalla. *Terra Latinoamericana*, 41, pp. 1-12. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.162>
- GBIF (Global Biodiversity Information Facility), 2023. *Zea mays* L. Available at: <https://www.gbif.org/es/species/5290052>
- Giberti, S., Funck, D. and Forlani, G., 2014. Δ1-pyrrolidine-5-carboxylate reductase from

- Arabidopsis thaliana: stimulation or inhibition by chloride ions and feedback regulation by proline depend on whether NADPH or NADH acts as co-substrate. *New Phytologist*, 202(3), pp. 911-919. <https://doi.org/10.1111/nph.12701>
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2024. Crops and livestock products. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/vizualize> (Consultado 27 de octubre 2024).
- Freixes, S., Thibaud, M. C., Tardieu, F. and Muller, B., 2002. Root elongation and branching is related to local hexose concentration in *Arabidopsis thaliana* seedlings. *Plant, Cell & Environment*, 25(10), pp. 1357-1366. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2002.00912.x>
- Hameed, A., Farooq, S., Iqbal, N. and Arshad, R., 2004. Influence of exogenous application of hydrogen peroxide on root and seedling growth on wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Agriculture and Biology*, 6(2), pp. 366-369.
- Htet, Y., Lu, Z., Trauger, S.A. and Tennyson, A.G., 2019. Hydrogen peroxide as a hydride donor and reductant under biologically relevant conditions. *Chemical Science*, 10, pp. 2025-2033. <https://doi.org/10.1039/C8SC05418E>
- Huang, Y.M., Chen, Y.Y., Zou, Y.N. and Wu, Q.S., 2014. Integrated effect of arbuscular mycorrhizal fungi and hydrogen peroxide on the root system of trifoliolate orange seedlings. *Science Asia*, 40, pp. 106-112. <http://dx.doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2014.40.106>
- Hussain, A., Zahir, Z.A., Ditta, A., Tahir, M.U., Ahmad, M., Mumtaz, M.Z. and Hussain, S., 2019. Production and Implication of Bio-Activated Organic Fertilizer Enriched with Zinc-Solubilizing Bacteria to Boost up Maize (*Zea mays* L.) Production and Biofortification under Two Cropping Seasons. *Agronomy*, 10 (1), p. 39. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010039>
- Khan, T.A., Yusuf, M. and Fariduddin, Q., 2015. Seed treatment with H₂O₂ modifies net photosynthetic rate and antioxidant system in mung bean (*Vigna radiata* L. Wilczek) plants. *Israel Journal of Plant Sciences*, 62(3), 167-175. <https://doi.org/10.1080/07929978.2015.1060806>
- Khandaker, M. M., Boyce, A. N. and Osman, N., 2012. The influence of hydrogen peroxide on the growth, development and quality of wax apple (*Syzygium samarangense*, [Blume] Merrill & LM Perry var. jambu madu) fruits. *Plant Physiology and Biochemistry*, 53, pp. 101-110. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.01.016>
- Kärkönen, A. and Koutaniemi, S., 2010. Lignin biosynthesis studies in plant tissue cultures. *Journal of integrative plant biology*, 52(2), pp.176-185. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2010.00913.x>
- Li, S., Xue, L., Xu, S., Feng, H. and An, L., 2007. Hydrogen peroxide involvement in formation and development of adventitious roots in cucumber. *Plant Growth Regulation*, 52, pp. 173-180. <https://doi.org/10.1007/s10725-007-9188-9>
- Małkowski, E., Sitko, K., Szopiński, M., Gieroń, Ź., Pogrzeba, M., Kalaji, H. M. and Zieleźnik-Rusinowska, P., 2020. Hormesis in plants: The role of oxidative stress, auxins and photosynthesis in corn treated with Cd or Pb. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(6), p. 2099. <https://doi.org/10.3390/ijms21062099>
- Martínez-Rengel, A., Torres-Cedeño, M., Álvarez-Morejón, C. and Rentería-Valencia, N., 2021. Valoración de experto sobre la germinación de la semilla de maíz. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 5(15), pp. 34-44. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i15.127>
- Merino-Valdés, M., Andrés-Meza, P., Leyva-Ovalle, O. R., López-Sánchez, H., Murguía-González, J., Núñez-Pastrana, R. and Luis, J., 2018. Influencia de tratamientos pregerminativos en semillas de chile manzano (*Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.). *Acta Agronómica*, 67(4), pp. 531-537. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n4.73426>
- Morales-Pizarro, A., Javier-Alva, J., Álvarez, L.A., Mayta-Obos, R., Aguilar-Anccota, R., Peña-Castillo, R. and Lindo-Seminario, D., 2022. 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, p. 086.
<http://www.doi.org/10.56369/taes.4206>
- Morales Pizarro, A., Rondoy-Castro, D., Escobedo-Huancas, P., Durante-Montejo, E., Veramatus-Mendoza, A., Juárez-Vélchez, J., Morocho-Romero, H., Chanduvi-García, R., Quiroz-Calderón, M., Calero-Merino, M. and Peña-Castillo, R., 2025. Dose and imbibition times of hydrogen peroxide in germination and initial growth of cotton (*Gossypium barbadense* L.). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 28(1), p. 013. <http://dx.doi.org/10.56369/taes.5660>
- Morocho-Romero, H., Peña-Castillo, R., Chanduvi-García, R., Vilchez-Navarro, S., Quiroz-Calderón, M., Calero-Merino, M. and Pizarro, D.A.M., 2024. Influence of organic fertilization on the fruit morphology and production of mango (*Mangifera indica* L.) var. kent. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27(3), p. 137. <http://www.doi.org/10.56369/TSAES.5606>
- Nazir, F., Fariduddin, Q. and Khan, T.A., 2020. Hydrogen peroxide as a signalling molecule in plants and its crosstalk with other plant growth regulators under heavy metal stress. *Chemosphere*, 252, p. 126486. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126486>
- Pérez-Peralta, P.J., Ferrera-Cerrato, R., Alarcón, A., Delgadillo-Martínez, J., Hernández-Melchor, D.J. and Cortés-Pérez, S., 2024. Potencial de bacterias asociadas a meliponinos en la promoción del crecimiento de lechuga (*Lactuca Sativa* L.). *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 40(2), pp. 283-300. <https://doi.org/10.29393/CHJAAS40-24LSPC60024>
- Potikha, T.S., Collins, C.C., Johnson, D.I., Delmer, D.P. and Levine, A., 1999. The involvement of hydrogen peroxide in the differentiation of secondary walls in cotton fibers. *Plant Physiology*, 119(3), pp. 849-858. <https://doi.org/10.1104/pp.119.3.849>
- Ramzani, P.M., Shan, L., Anjum, S., Khan, W.D., Ronggui, H., Iqbal, M. and Kausar, S., 2017. Improved quinoa growth. physiological response. and seed nutritional quality in three soils having different stresses by the application of acidified biochar and compost. *Plant Physiology and Biochemistry*, 116, pp. 127-138. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.05.003>
- Rejeb, K.B., Abdelly, C., and Savouré, A., 2014. How reactive oxygen species and proline face stress together. *Plant Physiology and Biochemistry*, 80, pp. 278-284. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.04.007>
- SIAE (Sistema Integrado de Estadística Agraria)., 2024. Valor de la producción (VBP) agropecuaria- a nivel de productos. Consultada el 27 de octubre, 2024. Available at: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiY2NlOTFkOTMtMjgxYy00NThjLWE0MjUtNGQwMDA0YTY1Nzc1IiwidCI6IjdmMDg0NjI3LTdmNDAtNDg3OS04OTE3LTk0Yjg2ZmQzNWYzZiJ9&pageName=ReportSection&ncdcb240117bc1370448b>
- Schopfer, P., 1996. Hydrogen peroxide-mediated cell-wall stiffening in vitro in maize coleoptiles. *Plants*, 199(1), pp. 43-49. <https://doi.org/10.1007/BF00196879>
- Vilchez-Navarro, S., Morales-Pizarro, A., Morocho-Romero, H., Casas-Niño, S., Cárdenas-Huamán, G., Velarde-Apaza, L.D. and Lozano-Isla, F., 2025. Biostimulant-induced enhancement of germination and early seedling growth in creole and hybrid purple maize (*Zea mays* L.). *Research on Crops*, 26(3), pp. 444-457. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2025.ROC-1223>
- Walter, A. and Nagel, K.A., 2006. Root growth reacts rapidly and more pronounced than shoot growth towards increasing light intensity in tobacco seedlings. *Plant signaling & behavior*, 1(5), pp. 225-226. <https://doi.org/10.4161/psb.1.5.3447>
- Yang, S. L., Lan, S. S. and Gong, M., 2009. Hydrogen peroxide-induced proline and metabolic pathway of its accumulation in maize seedlings. *Journal of plant physiology*, 166(15), pp. 1694-1699. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2009.04.006>
- Xiong, J., Yang, Y., Fu, G. and Tao, L., 2015. Novel roles of hydrogen peroxide (H_2O_2) in regulating pectin synthesis and demethylesterification in the cell wall of rice (*Oryza sativa*) root tips. *New Phytologist*, 206(1), pp. 118-126. <https://doi.org/10.1111/nph.13285>