










Dosis de suero de leche y compost como alternativas sostenibles en el desarrollo inicial de plántulas de maíz forrajero (*Zea mays* L.)

Whey and compost doses as sustainable alternatives in the initial development of forage maize (*Zea mays* L.) seedlings

Nelson Arevalo Arevalo ^{1,2}, Roger Gonzalo Chanduví-García ^{1,3}, Mariano Calero Merino ^{1,4}, Marcos Quiroz Calderón ^{1,5}, Miguel Galecio Julca ^{1,6}, Henry Morocho Romero ^{1,7}, Carlos San Martín Zapata ^{1,8}, Michael García Zapata ^{1,9}, Arturo Morales Pizarro ^{1,10}.

¹Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú. ²✉ nelsonarevaloarevalo14@gmail.com; ³✉ rchanduvig@unp.edu.pe; ⁴✉ mcalerom@unp.edu.pe; ⁵✉ mquirozcc@unp.edu.pe; ⁶✉ mgalecioj@unp.edu.pe; ⁷✉ morochoromerohenryhoseph@gmail.com; ⁸✉ csanmartinz@unp.edu.pe; ⁹✉ ing.agro@gmail.com.pe; ¹⁰✉ dmoralesp@unp.edu.pe



<https://doi.org/10.15446/acag.v73n3.119643>

2024 | 73-3 p 339-346 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 2025-04-02 Acep.: 2025-09-28

Resumen

La producción de alimentos se da mediante agricultura convencional y el empleo de agroquímicos; asimismo, la industria láctea genera como subproducto residual el suero de leche, el cual causa contaminación de recursos naturales. En este estudio se determinó el impacto sinérgico del suero de leche y del compost en el desarrollo inicial de maíz forrajero, como una herramienta alterna de la agricultura sostenible y de la economía circular. Igualmente, se evaluó el control con fertilización NPK y los tratamientos con compost 3 t ha⁻¹. Los tratamientos fueron aplicados al follaje: T0 (control), T1 (SR 2.5 %), T2 (SR 5 %) y T3 (SR 10 %). Se midió: longitud de raíz (LR), altura de planta (AP), número de hojas (NH), diámetro del tallo (DT), biomasa fresca aérea (BFA) y raíz (BFR), biomasa seca aérea (BSA) y raíz (BSR) a los 23 y 37 días después de la siembra (DDS); en este último se midieron los grados brix (GB). Adicionalmente, se realizó un diseño completamente al azar (DCA) con 4 tratamientos y 8 repeticiones (1 repetición = 2 plántulas). Los datos se analizaron mediante un ANOVA y la prueba de Tukey ($p < 0.05$), además de un análisis multivariado. Los tratamientos presentaron un efecto positivo en las variables evaluadas. A los 23 DDS, el T3 incrementó la LR (51.44 cm) y T2 el NH (4). A los 37 DDS, el T3 incrementó la LR (60.23 cm), el T1 la BSR (2 g) y los GB (7.5). El análisis de correlaciones fue positivo a los 23 DDS; sin embargo, a los 37 DDS las correlaciones fueron negativas, dado el desarrollo vegetativo de la planta.

Palabras clave: abono orgánico, economía circular, grados brix, lactosuero, longitud de raíz.

Abstract

Food production relies heavily on conventional agriculture, which depends on agrochemicals. Similarly, the dairy industry produces whey as a residual byproduct. Both practices contribute significantly to the pollution of natural resources. This study evaluated the synergistic impact of whey and compost on the early development of forage corn, assessing their potential as an alternative input for sustainable agriculture and the circular economy. A control treatment with NPK fertilization and treatments with 3 t ha⁻¹ of compost were evaluated. Foliar applications were as follows: T0 (control), T1 (2.5 % whey), T2 (5 % whey), and T3 (10 % whey). Several variables were measured at 23 and 37 days after sowing (DAS), including root length (RL), plant height (PH), number of leaves (NL), stem diameter (SD), fresh and dry shoot biomass (FSB, DSB), and fresh and dry root biomass (FRB, DRB). At 37 DAS, Brix degrees (Brix) were also measured. The experiment followed a completely randomized design (CRD) with four treatments and eight replicates (1 repetition = 2 seedlings). Data were analyzed using a one-way ANOVA followed by Tukey's post-hoc test ($p < 0.05$). A multivariate analysis was also performed. The treatments had positive effects on all evaluated variables. At 23 DAS, T3 significantly increased RL (51.44 cm), whereas T2 increased NL (4). At 37 DAS, T3 again showed the highest RL (60.23 cm), whereas T1 increased DRB (2 g) and Brix (7.5). Correlation analysis revealed positive associations among variables at 23 DAS; however, at 37 DAS, correlations became negative, likely due to a shift in the plant's vegetative development.

Keywords: circular economy, degrees Brix, organic fertilizer, root length, whey.

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cereales con mayor producción en el mundo. Es usado principalmente para la elaboración de harinas, aceites y alimento forrajero para ganado bovino, ovino, porcino, aves y equinos. Su origen se encuentra en México (Mesoamérica) y se distribuye desde los 0 hasta los 3000 m s. n. m. (GBIF, 2023). Este cultivo es muy importante en la seguridad alimentaria, tanto humana como animal, así como en el desarrollo industrial (Martínez-Rengel *et al.*, 2021; Cardoza-Viera *et al.*, 2024). El maíz presenta un alto contenido de proteínas (10 %), fibra dietética (72 %), calorías (365 kcal 100g⁻¹) y una baja concentración de grasas (4 %) (Shete *et al.*, 2023).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2024), indica que la producción mundial de maíz en el año 2022 fue de 1 162 118 007.9 de toneladas, y que los principales países productores fueron: Estados Unidos 346 739 460 t, China 277 203 000 t, Brasil 109 738 941 t y Argentina 59 037 179 t. En el Perú, las principales regiones productoras de maíz amarillo duro son: San Martín 232 377.50 t, Ica 154 989.56 t, Lima 130 614.72 t y Piura 33 894.00 t (SIEA, 2024). Asimismo, este cultivo se siembra directamente en campo abierto, donde tiene una germinación desuniforme y es susceptible, en sus primeras etapas de desarrollo vegetativo, a la pudrición y a la muerte de plántulas, lo cual afecta de forma directa la producción del cultivo, su sostenibilidad y la economía familiar (Cardoza-Viera *et al.*, 2024). Por otra parte, el maíz se cultiva bajo una agricultura convencional que depende del uso excesivo de fertilizantes sintéticos, los cuales contribuyen a la contaminación de los recursos naturales (agua, suelo y aire), y de la salud de los humanos y de los animales. Asimismo, este uso reduce la fertilidad y la actividad microbiana del suelo e incrementa los costos de producción, lo que afecta la sostenibilidad del cultivo (Chanduví-García *et al.*, 2023; Morocho-Romero *et al.*, 2024).

Por otro lado, en la industria del queso se producen entre 180 a 190 Mt de lactosuero, también llamado suero de leche, el cual genera 1.6 billones de litros de suero ácido (Mieles-Cedeño *et al.*, 2018). Cuando este subproducto es vertido en forma directa al suelo o a fuentes de agua, causa la contaminación de estos recursos y la alteración de sus características físicas y químicas (Benítez de la Torre *et al.*, 2023). Además, Da Silva *et al.* (2024) indican que este subproducto causa efectos negativos, como el deterioro de la fertilidad del suelo, además acelera la emisión de gases de invernadero, incrementa la acumulación de nutrientes en el agua (eutrofización) y causa la disminución del oxígeno disuelto.

Los bioestimulantes, tanto de origen sintético, como las hormonas vegetales sintéticas (auxinas, citoquinina y giberelinas), y de origen natural (algas

marinas, bioestimulantes microbianos, sustancias húmicas e hidrolizados de proteínas) (Khalid *et al.*, 2024; Ruesta-López *et al.*, 2024), surgen como una alternativa ecológica e innovadora que mejora e incrementa el desarrollo y productividad de los cultivos frente a diferentes tipos de estrés biótico o abiótico (Khalid *et al.*, 2024). Estos son aplicados directamente en el tratamiento de semillas (Ruesta-López *et al.*, 2024), follaje (Peña-Castillo *et al.*, 2023), suelo (Galecio-Julca *et al.*, 2023) y en aplicaciones dirigidas al fruto (Drobek *et al.* 2019).

El suero de leche obtenido como residuo de la elaboración de queso es una alternativa prometedora para ser usado en la agricultura como un bioestimulante. Poveda (2013) señala que el 90 % del calcio de la leche se encuentra en el lactosuero y es más biodisponible que otras fuentes comerciales de calcio, como los suplementos minerales. Esto se debe a la presencia de nutrientes como proteínas y lactosa en el lactosuero. Del Carpio *et al.* (2021) mencionan que el lactosuero presenta macro y micronutrientes dentro de su composición, así como varias biomoléculas que estimulan el crecimiento de plantas como el maíz. Čechmánková *et al.* (2023) evaluaron, en un experimento con mostaza blanca y cebada de primavera, el efecto de un hidrogel a base de lactosuero. Los resultados mostraron que el hidrogel aumentó las concentraciones de nutrientes biodisponibles y mejoró significativamente el rendimiento de los cultivos, efectos que persistieron incluso después de la cosecha.

Los insumos orgánicos, también definidos como abonos orgánicos, se encontrados tanto en forma sólida (vermicompost, compost, entre otros), y líquida (biol, biofertilizantes, ácidos fúlvicos y húmicos), los cuales son empleados para mejorar la producción y calidad de los cultivos, además de mejorar las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo (Chanduví-García *et al.*, 2023). Asimismo, mejora la predisposición de macro y microelementos en el suelo, reduciendo las emisiones de dióxido de carbono mediante el incremento de materia seca (Galecio-Julca *et al.*, 2023; Ramzani *et al.*, 2017) e incrementa la actividad y población de microorganismos benéficos tales como *Trichoderma*, *Bacillus* y actinomicetos (Morales-Pizarro *et al.*, 2022) y la absorción de macro y micronutrientes, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, lo que promueve el desarrollo y el crecimiento de las plantas, y reduce en gran medida la dependencia de los fertilizantes y la contaminación de los recursos naturales (Ramzani *et al.*, 2017; Galecio-Julca *et al.*, 2023). Por ello se planteó determinar el impacto sinérgico del suero de leche y del compost en el desarrollo inicial de maíz forrajero (*Zea mays* L.). Se espera que la aplicación combinada de suero de leche y compost tenga un efecto positivo y significativo en el desarrollo inicial de plántulas de maíz forrajero, en especial en el desarrollo de la longitud y el peso de raíz.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el área experimental (tinglado) del Departamento Académico de Morfofisiología Vegetal de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Piura (UNP), Perú, con coordenadas a 5°10'33" S y 80°37'17" O; a 30 m s. n. m. (Figura 1); con temperatura máxima de 28.37 °C y mínima de 17.21 °C durante los meses de julio a septiembre del 2024.

Suministro del estudio

Se utilizó el fertilizante comercial Molimax NPK 20-20-20 (Molinos y CIA, Perú). El suero de leche (SR) se realizó mediante la metodología propuesta por Ruesta López *et al.* (2024), el cual presentó pH (4.30), conductividad eléctrica ($3 \mu\text{S cm}^{-1}$), proteínas totales ($1.10 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$), carbohidratos totales ($12.5 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$), calcio ($36.0 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$), potasio ($400 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$) y vitamina A ($13.5 \mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$). Se trabajó con el compost comercial Nutri Suelo 3M (Soluciones Orgánicas Loma Fertil®, Las Monicas-CP7, Piura, Perú) (Morochó-Romero *et al.*, 2024). Y se adquirió el maíz amarillo duro híbrido-INIA 619 - Megahíbrido (Programa Nacional de Innovación Agraria en Maíz, Perú).

Procedimiento y variables de evaluación

El suelo, procedente del campo agrícola de la UNP, fue tratado con la técnica de solarización propuesto por Cardoza-Viera *et al.* (2024) durante 10 días. Bolsas negras de polietileno 25 cm x 30 cm fueron llenadas con sustrato tratado. Posteriormente, se sembraron 5 semillas del maíz híbrido-INIA 619 - Megahíbrido hasta la emergencia y formación de 2 a 3 hojas verdaderas. En ese momento se procedió a desahijar, dejando 2 plántulas por bolsa, las cuales fueron predispuestas en el área de estudio a 0.8 x 0.3 cm. Los tratamientos fueron: T0 (10.8 g NPK-20-20-20), T1 (72 g compost punto de siembra⁻¹ - SR 2.5 %), T2 (72 g compost punto de siembra⁻¹ - SR 5 %) y T3 (72 g compost punto de siembra⁻¹ - SR 10 %). La fertilización a base de NPK se realizó durante dos momentos (10 y 20 DDS), la de compost (a los 10 DDS) fue dirigida al suelo, mientras que la aplicación del suero de leche (SR) fue dirigida al follaje a los 10, 17 y 24 DDS.

La biometría de las plantas se evaluó a los 23 y 37 DDS, en 8 plantas para cada evaluación: longitud de raíz (LR) en cm, altura de planta (AP) en cm, número de hojas (NH), diámetro del tallo (DT) en mm y biomasa (B) en g: la biomasa fresca aérea (BFA) y raíz (BFR) y la biomasa seca aérea (BSA) y raíz (BSR).

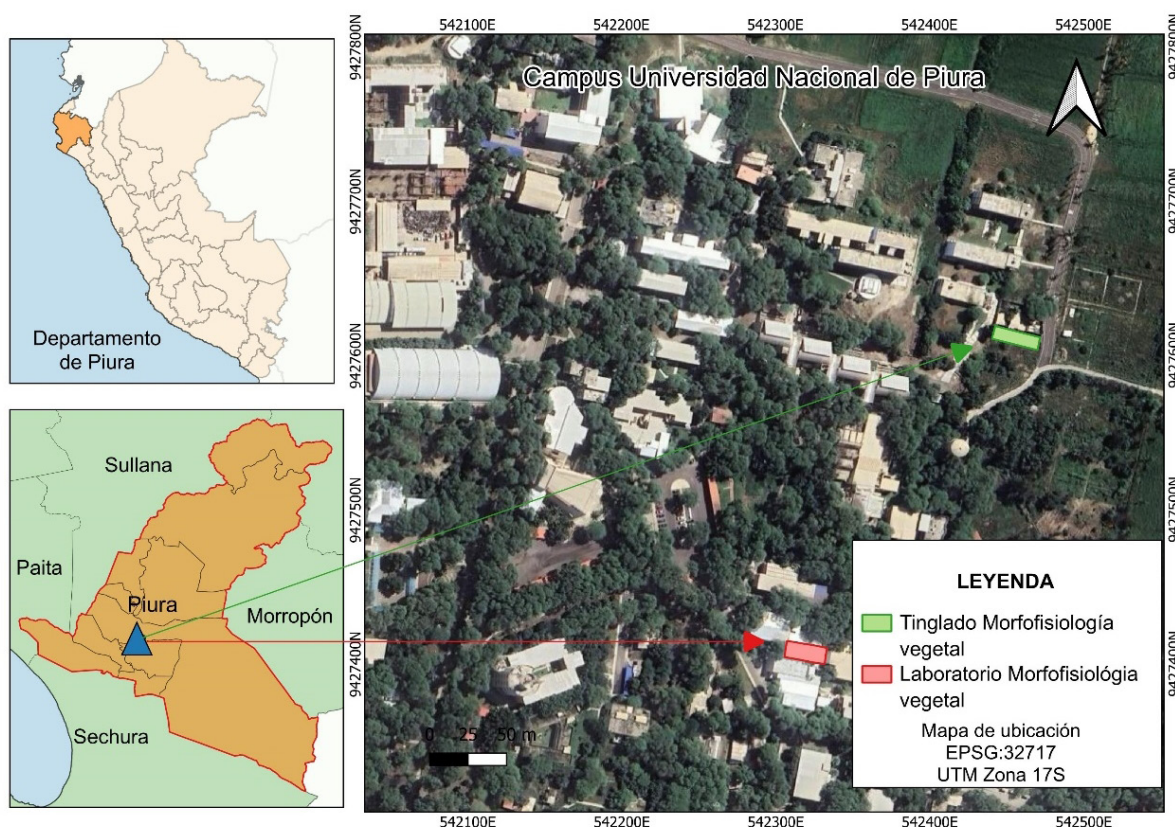


Figura 1. Mapa de ubicación del tinglado y laboratorio de morfofisiología vegetal de la Universidad Nacional de Piura, Perú.

Además, a los 37 DDS se midió la concentración de sólidos solubles totales en grados brix (GBR) de la raíz, para lo cual se usó una prensa manual para extraer el jugo de la raíz de la planta evaluada, y posteriormente mediar el GBR con el refractómetro digital PAL-BX|ACID3 (ATAGO).

Análisis estadístico

Se realizó un diseño completamente al azar con 4 tratamientos y 8 repeticiones por tratamiento; cada bolsa (unidad experimental) presentó 2 plántulas. Se trabajó con un análisis de varianza ANOVA y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($p < 0.05$). Además, se realizó un análisis de componentes principales ACP y análisis de correlaciones Pearson con el software estadístico R.

Resultados

Variables morfológicas del cultivo de maíz

En la altura de planta (AP), a los 23 DDS los tratamientos no mostraron diferencias, ya que presentaron valores entre 14.01 a 17.21 cm. Sin embargo, los 37 DDS los tratamientos T0 (27.48 cm) y T2 (23.28 cm), sin diferencias significativas, obtuvieron los mayores valores. En la Longitud de la raíz el T3 presentó una superioridad significativa a los 23 y 37 DDS con valores entre 51.44 cm y 60.23 cm, respectivamente. En el NH, a los 23 DDS el T2 fue superior a los demás tratamientos, pues desarrolló 4 hojas por planta. No obstante, a los 37 DDS los tratamientos no presentaron diferencias, puesto que tuvieron valores entre 5.88 a 6.13 hojas por planta. En el DT, a los 23 DDS los tratamientos sino tuvieron diferencias significativas, con valores que oscilan entre 5.48 a 5.65 mm. A los 37 DDS, los tratamientos T0 (10.69 mm) y T2 (9.23 mm) no mostraron diferencias significativas, sin embargo, fueron numéricamente superiores a los demás tratamientos (Tabla 1).

En la Tabla 2, la BFA a los 23 DDS no mostró diferencias significativas, con valores entre 4.19 a 5.2 g. Sin embargo, a los 37 DDS el T0 fue significativamente superior a los demás tratamientos, con 11.51 g. En el BFR los tratamientos no presentaron diferencias significativas a los 23 DDS, pues tuvieron valores entre 3.75 a 5.24 g; a los 37 DDS tuvieron de 6.75 a 8.43 g. En la BSA, a los 23 DDS los tratamientos no presentaron diferencias significativas, ya que arrojaron valores que oscilaron entre 0.70 y 0.84 g; no obstante, a los 37 DDS, el T0 con 2.39 g fue significativamente superior a los demás tratamientos. En la BSR, a los 23 DDS, los tratamientos no presentaron diferencias significativas y mostraron valores que oscilaron entre 0.76 y 1 g. En los GB, el tratamiento T1 (7.5) fue significativamente superior a los demás tratamientos, superando en más de 40 % al testigo.

Correlación de variables morfológicas

En la Figura 2 se muestra la correlación r-Pearson entre las variables en estudio a los 23 DDS (Figura 2a) y 37 DDS (Figura 2b); allí se puede observar un cambio de correlación positiva (23 DDS) a negativa (37 DDS). A los 23 DDS, la AP mostró una correlación negativa alta con NH (-0.94), BFA (-0.72) y BSR (-0.89), lo que indica una relación indirecta entre estas variables. La LR presenta una correlación positiva fuerte con BSA (0.93). El NH presenta correlación positiva con BFA (0.78), BFR (0.89), BSA (0.80) y BSR (0.88), lo cual muestra una relación directa entre estas variables y el NH. El DT presentó una correlación positiva fuerte con BFA (0.72) y BFR (0.83), lo que indica que el DT en esta etapa es determinado por BFA y BFR. La BFA presentó una correlación alta con BFR (0.98), BSA (0.95) y BSR (0.90), lo cual señala una relación dependiente entre el BFA, BFR, BSA y BSR. El BFR obtuvo una correlación positiva alta con BSA (0.88) y BSR (0.90), es decir, el BFR es determinado por BSA y BSR. El BSA indicó una correlación positiva alta con BSR (0.88), lo que muestra una relación directa entre estas variables (Figura 2a).

Tabla 2. Biomasa aérea y radicular de plántulas de maíz

Tratamiento	BFA g		BFR g		BSA g		BSR g		GB
	23 DDS	37 DDS	23 DDS	37 DDS	23 DDS	37 DDS	23 DDS	37 DDS	37 DDS
T0	4.19±0.7 a	11.51±2.18 a	3.75±1.03 a	7.21±2.09 a	0.7±0.13 a	2.39±0.71 a	0.76±0.17 a	1.5±0.43 ab	5.25±0.5 bc
T1	4.8±0.59 a	10.11±1.97 ab	4.73±1.22 a	7.53±1.77 a	0.75±0.11 a	1.6±0.22 b	0.81±0.2 a	2±0.18 a	7.5±0.58 a
T2	5±1.03 a	9.96±2.69 ab	5.24±1.04 a	8.43±2.26 a	0.78±0.17 a	1.36±0.1 b	1±0.19 a	1.86±0.57 ab	5.75±0.5 b
T3	5.2±0.59 a	7.03±1.59 b	5.21±1.18 a	6.75±1.55 a	0.84±0.09 a	1.06±0.24 b	1±0.27 a	1.36±0.36 b	4.5±0.58 c

** T0 (10.8 g NPK-20-20-20); T1 (72 g compost planta⁻¹ - 10 DDS - SR 2.5 %); T2 (72 g compost planta⁻¹ - SR 5 %); y T3 (72 g compost planta⁻¹ - SR 10 %). Biomasa: biomasa fresca aérea (BFA) y raíz (BFR), y biomasa seca aérea (BSA) y raíz (BSR), grados brix (GB).

Tabla 1. Variables morfológicas evaluadas.

Tratamiento	AP cm		LR cm		NH		DT	
	23 DDS	37 DDS	23 DDS	37 DDS	23 DDS	37 DDS	23 DDS	37 DDS
T0	17.21±2.85 a	27.48±4.46 a	41.12±4.55 b	45.13±4.29 b	3.38±0.52 b	5.88±0.83 a	5.48±0.3 a	10.69±2.2 a
T1	17.46±3 a	20.06±1.37 b	42.82±4.21 ab	44.88±11.5 b	3.5±0.53 ab	5.63±0.92 a	5.74±0.48 a	7.75±1.06 b
T2	14.01±1.92 a	23.28±2.82 ab	43.67±6.43 ab	48.18±12.07 ab	4±0 a	6.13±0.35 a	5.83±0.38 a	9.23±1.36 ab
T3	15.59±5.87 a	20.06±3.35 b	51.44±5.84 a	60.23±10.71 a	3.88±0.35 ab	6±0 a	5.65±0.39 a	7.89±0.85 b

* T0 (10.8 g NPK-20-20-20); T1 (72 g compost planta⁻¹ - 10 DDS - SR 2.5 %); T2 (72 g compost planta⁻¹ - SR 5 %); y T3 (72 g compost planta⁻¹ - SR 10 %). Biometría: altura de planta (AP), longitud de raíz (LR), número de hojas (NH) y diámetro de tallo (DT). días después de la siembra (DDS).

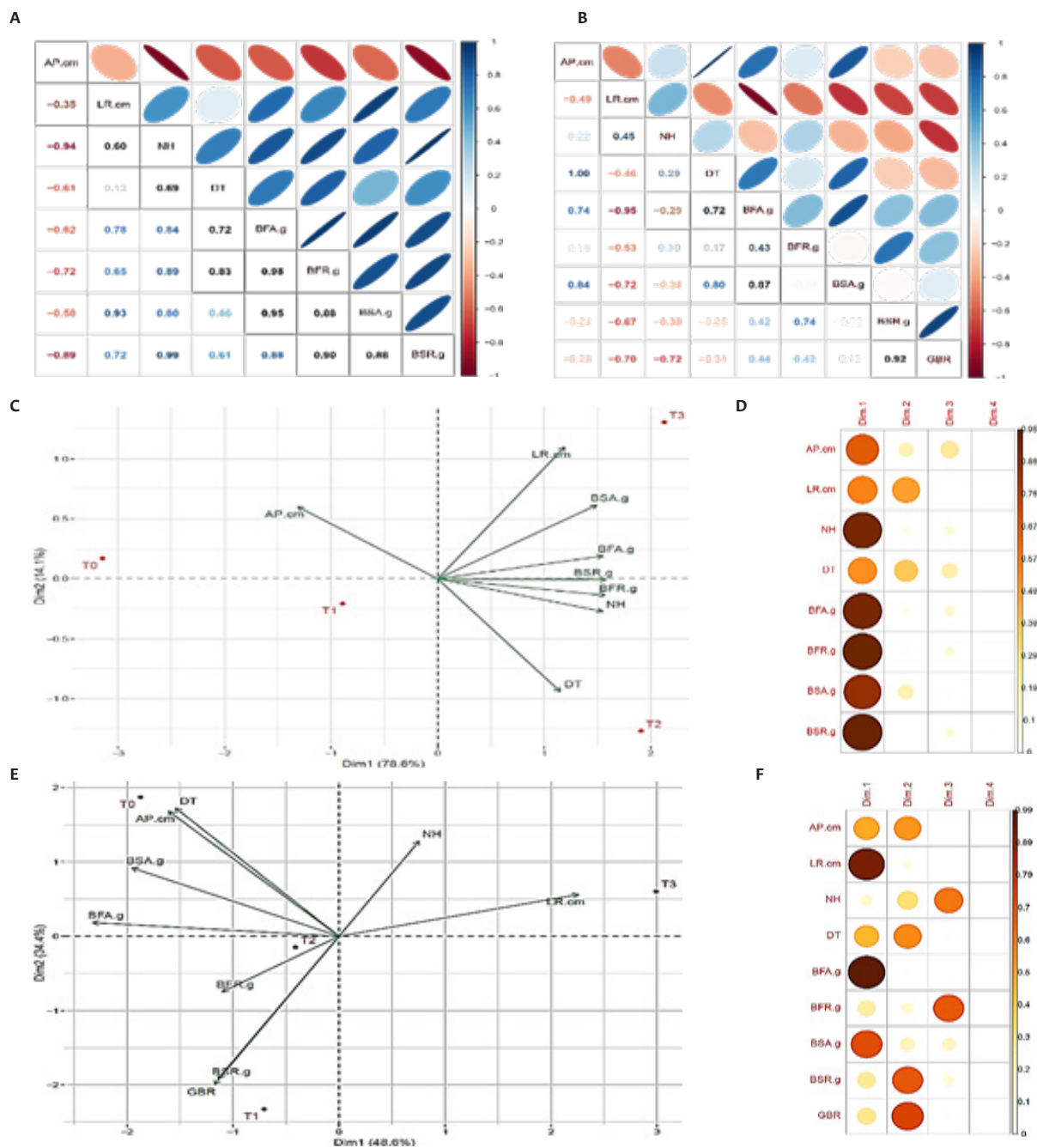


Figura 2. Gráficos de análisis multivariado de variables de maíz. A) correlaciones - 23 DDS; B) correlaciones 37 DDS; C) análisis de componentes principales ACP - 23 DDS; D) dimensiones - 23 DDS; E) ACP - 37 DDS; F) dimensiones - 37 DDS.

A los 37 DDS, la AP presentó una correlación positiva alta con DT (1), BFA (0.74), BSA (0.84), lo cual indica que la AP depende de DT, BFA y BSA. En la LR se observó una correlación negativa alta con BFA (-0.95), BSA (-0.72), BSR (-0.67) y GBR (-0.70), lo que señala que la LR es indirectamente proporcional a BFA, BSA, BSR y GBR. En el NH se evidenció una correlación negativa alta con GBR (-0.72), lo que señala una relación inversa entre estas variables. El DT obtuvo una correlación positiva alta con BFA (0.72), BSA (0.80), lo cual indica una dependencia entre DT, BFA, y BSA. La BFA presentó una correlación positiva alta con BSA (0.87), lo que demuestra la relación directa entre estas variables. El BFR mostró una relación positiva con BSR (0.74), lo cual indica dependencia directa entre estas variables. El BSR presentó una correlación positiva con GBR (0.92), lo cual señala que el BSR depende en forma directa de GBR (Figura 2b).

Análisis de componentes principales y dimensiones

La Figura 2C y D describe las interacciones entre las variables morfométricas y la biomasa con los tratamientos a los 23 DDS, mediante el análisis de componentes principales (ACP) mostró la formación de 2 dimensiones o componentes que explican el 92.7 % de la variabilidad total de la investigación, en la que se forman dos dimensiones. La dimensión I (78.6 %) agrupa las variables AP, NH, BFA, BFR, BSA y BSR. La dimensión II (14.1 %) agrupa LR y DT. En la Figura 2E, el ACP muestra la formación de 2 dimensiones que explican el 83 % de la variabilidad del estudio. La dimensión I explica el 48.6 % de variabilidad total y la dimensión II el 34.4 %. Por su parte, la dimensión I agrupó LR, BFA, BSA y la dimensión II agrupó AP, DT, BSR y GBR (Figura 2F).

Discusión

Akay y Sert (2020) investigaron los efectos de distintos tipos de lactosuero en polvo sobre el suelo y las plántulas de maíz (*Zea mays* L.) a diferentes concentraciones. Los autores encontraron que las aplicaciones de suero sin desmineralizar aumentaron la biomasa microbiana, la respiración del suelo y las actividades enzimáticas. Sin embargo, aplicaciones de suero desmineralizado al 50 % mejoraron significativamente la altura, el peso fresco de la planta y el peso fresco de la raíz en el cultivo de maíz, en proporción al incremento de las dosis de los diferentes tipos de suero de leche aplicados al suelo (0, 50, 100, 150 y 200 ml/kg). Demir y Ozrenk (2009) sostienen que el suero de leche contiene nitrógeno proteico, el cual es transformado en nitrógeno inorgánico mediante la actividad microbiana, lo cual favorece el crecimiento de la planta. Asimismo, la lactosa presente en el suero de leche incrementa la actividad microbiana del suelo, favoreciendo la

disponibilidad de nutrientes y bioestimulantes como ácidos carboxílicos y ácidos húmicos, lo cual explica el incremento de la longitud de raíz. Además, la incorporación de fertilizantes orgánicos incrementa la acción microbiana del suelo y la obtención de ácidos orgánicos y aminoácidos, lo que mejora la quelación de nutrientes y favorece el crecimiento y desarrollo de la planta (Hao *et al.*, 2008).

Estos procesos son esenciales para la síntesis de proteínas, ácidos nucleicos (ADN y ARN) y la división celular (Mahmood *et al.*, 2019). El suero de leche incrementa el proceso de carbonatación y la síntesis de carbohidratos y proteínas en la planta (Husien y Amal, 2017), lo cual explica el incremento de GB en las raíces, especialmente en el T1. Por otro lado, Peña-Castillo *et al.* (2023) indican que aplicaciones de bioestimulante a base de aminoácidos y nitrógeno incrementan los parámetros productivos en el cultivo de aguaymanto a medida que se incrementa la dosis del bioestimulante. Sin embargo, Ruesta-López *et al.* (2024) señalan que semillas de maracuyá (*Passiflora edulis*) tratadas con dosis superiores al 25 % de suero de leche reducen los parámetros germinación. Además, Vilchez-Navarro *et al.* (2025) obtuvieron una reducción del peso fresco de las plántulas de maíz morado cuando las semillas fueron tratadas con 30 % de suero de leche. Ambas investigaciones demuestran que altas dosis de suero de leche tienen un efecto tóxico en la germinación y el crecimiento temprano de plántulas; no obstante, dosis adecuadas de este residuo lácteo tienen un efecto bioestimulante en la planta.

Aplicaciones foliares de suero de leche a razón de 20 mL L⁻¹, combinadas con abono orgánico (estiércol de oveja) a 0, 15, 30 Mg ha⁻¹, incrementó el contenido de fósforo y potasio en el suelo y aumentó la concentración de nitrógeno en hojas, el contenido de clorofila, el peso seco de planta, el número y peso de frutos, y el rendimiento del cultivo de tomate a medida que se incrementa la dosis de abono orgánico (Mahmood *et al.*, 2020). Benítez de la Torre *et al.* (2023) evaluaron la fitotoxicidad del lactosuero dulce en semillas y plántulas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) y maíz (*Zea mays* L.), con lo que concluyeron que el lactosuero dulce a bajas concentraciones entre 4-6 %, tiene un efecto promotor de crecimiento vegetal; asimismo, estos autores indican que se deben evitar concentraciones superiores al 12 % dado que reduce la tasa de crecimiento de las plántulas. Čechmánková *et al.* (2023) indican que la aplicación de hidrogel a base de lactosuero incrementa el contenido de fósforo y potasio disponible, lo cual incrementó en forma significativa en combinación con NPK. Asimismo, estos autores aumentaron la biomasa de la cebada. Por otro lado, Galecio-Julca *et al.* (2023) indican que la aplicación edáfica y foliar a base de estimulantes orgánicos incrementan significativamente las variables morfométricas y productivas de quinua.

En las correlaciones, los resultados coinciden con lo reportado por Morales-Pizarro *et al.* (2025) en los 10 primeros días de desarrollo del cultivo de algodón, en el que las correlaciones en esta etapa inicial son mayormente positivas entre las variables morfométricas y biomasa. Asimismo, Cardoza-Viera *et al.* (2024), en los primeros 18 días después de la siembra, encontraron correlaciones positivas entre las variables biométricas en el cultivo de maíz sembrados en diferentes sustratos orgánicos. Sin embargo, cuando el cultivo empieza a desarrollarse las correlaciones positivas tienden a reducirse, tal como lo mencionan Chanduví-García *et al.* (2023) en el cultivo de limón tratado con diferentes dosis de bioestimulante (biol) aplicado foliarmente.

Conclusiones

La aplicación combinada de dosis adecuada de suero de leche y compost mostró tener un efecto positivo en el desarrollo temprano de plántulas de maíz forrajero, y aumentó el contenido de grados brix en la raíz, a los 37 DDS. Sin embargo, altas dosis de suero de leche reducen la altura de planta, el diámetro del tallo, la biomasa de la raíz y del tallo, e incrementa la longitud de raíz. El análisis de correlación a los 23 DDS fue positiva, lo que indica una dependencia dentro de las variables. Sin embargo, a los 37 DDS se presentaron correlaciones negativas, como resultado del desarrollo y crecimiento de las plántulas.

Referencias

- Akay, A. y Sert, D. (2020). The effects of whey application on the soil biological properties and plant growth. *Eurasian Journal of Soil Science*, 9(4), 349- https://holar.google.com.mx/r?hl=es&as_0%2C5&q=The+effects+of+whey+application+on+the+soil+biological+properties+and+plant+growth+&btnG=
- Benítez de la Torre, A.; Pérez-Ramírez, E.; Morales-García, Y. E.; Muñoz-Rojas, J.; Díaz-Ruíz, R. y Morales-Almora, P. (2023). Efecto del uso de lactosuero dulce en el riego de alfalfa y maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(29). <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i29.3532>
- Cardoza-Viera, A.; Arévalo-Valladolid, D.; Javier-Alva, J.; Peña-Castillo, R.; Chanduví-García, R.; Quiroz-Calderón, M.; Álvarez-Bernaola, L.; Galecio-Julca, M.; Calero-Merino, M. y 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, 1-11. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1867>
- Čechmánková, J.; Sedlářík, V.; Duřpek, S.; Drbohlav, J.; Šalaková, A. y Vácha, R. (2023). Assessing the effects of whey hydrogel on nutrient stability in soil and yield of *Leucosinapis alba* and *Hordeum vulgare*. *Sustainability*, 16(1), 45. https://scholar.google.com.mx/r?hl=es&as_0%2C5&q=Assessing+the+Effects+of+Whey+Hydrogel+on+Nutrient+Stability+in+Soil+and+Yield+of+Leucosinapis+alba+and+Hordeum+vulgare+&btnG=
- Chanduví-García, R.; Sandoval-Panta, M. A.; Peña-Castillo, R.; Alva, J. J.; Álvarez, L. Á.; Quiroz-Calderón, M. V.; Granda-Wong, C.; Aguilar-Ancota, R.; Galecio-Julca, M. y 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>
- Da Silva, C. M.; Da Boit Martinello, K.; Lütke, S. F.; Godinho, M.; Perondi, D.; Silva, L. F. y Dotto, G. L. (2024). Pyrolysis of grape bagasse to produce char for Cu (II) adsorption: A circular economy perspective. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(3), 3947-3964. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13399-022-02792-8>
- Del Carpio, M. A.; Ancco, M.; Linares Flores, A. E.; Ancco-Loza, R. y Jiménez Pacheco, H. G. (2021). Aguas residuales de industria láctea como alternativa sostenible para aumentar la productividad del maíz en Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 23(1), 26-36. <http://www.scielo.org.pe/pdf/ria/v23n1/2313-2957-ria-23-01-26.pdf>
- Demir, S. y Ozrenk, E. (2009). Effects of whey on the colonization and sporulation of arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus intraradices*, in lentil (*Lens orientalis*). *African Journal of Biotechnology*, 8(10). <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/60523>
- Drobek, M.; Frac, M. y Cybulska, J. (2019). Plant biostimulants: Importance of the quality and yield of horticultural crops and the improvement of plant tolerance to abiotic stress. A review. *Agronomy*, 9(6), 335. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060335>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2024). Crops and livestock products. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>
- Galecio-Julca, M.; Neira-Ojeda, M.; Chanduví-García, R.; Peña-Castillo, R.; Álvarez-Bernaola, L. A.; Granda-Wong, C.; Lindo-Seminario, D.; Saavedra-Alberca, E.; Javier-Alva, J. y 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, 1-12. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1622>
- Global Biodiversity Information Facility (GBIF). (2023). *Zea mays* L. <https://www.gbif.org/es/species/5290052>
- Hao, X. H.; Liu, S. L.; Wu, J. S.; Hu, R. G.; Tong, C. L. y Su, Y. Y. (2008). Effect of long-term application of inorganic fertilizer and organic amendments on soil organic matter and microbial biomass in three subtropical paddy soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 81, 17-24.
- Husien, M. J. y Amal, A. A. (2017). Effect of organic and chemical fertilization on some growth parameters and yield of potato plant *Solanum tuberosum* L. CV. Safrane. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 13(2), 515-524. https://www.researchgate.net/publication/318635376_EFFECT_OF_ORGANIC_AND_MINERAL_FERTILIZATION_ON_SOM_GROWTH_AND_YIELD_CHARACTERISTICS_OF_POTATO_Solanum_tuberosum_L_CV_SAFRANE
- Khalid, F.; Rasheed, Y.; Asif, K.; Ashraf, H.; Maqsood, M. F.; Shahbaz, M.; Zulfiqar, U.; Sardar, R. y Haider, F. U. (2024). Plant biostimulants: Mechanisms and applications for enhancing plant resilience to abiotic stresses. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 24(4), 6641-6690. <https://doi.org/10.1007/s42729-024-01996-3>
- Mahmood, Y. A.; Firas, W.; Sinan, S. J. y Al-Arazah, A. A. (2019). Effect of solid and liquid organic fertilizer and spray with humic acid on growth, yield of cauliflower and nutrient uptake of nitrogen, phosphorus and potassium. *Plant Archives*, 19(2), 1504-1509. https://www.researchgate.net/publication/336829975_EFFECT_OF_SOLID_AND_

LIQUID_ORGANIC_FERTILIZER_AND_SPRAY_WITH_HUMIC_ACID_AND_NUTRIENT_UPTAKE_OF_NITROGEN_PHOSPHORUS_AND_POTASSIUM_ON_GROWTH_YIELD_OF_CAULIFLOWER

- Mahmood, Y. A.; Mohammed, I. Q. y Ahmed, F. W. (2020). Effect of organic fertilizer and foliar application with garlic extract, whey and bio fertilizer of bread yeast in availability of NPK in soil and plant, growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Plant Archives*, 20(1), 151-158.
- Martínez-Rengel, A.; Torres-Cedeño, M.; Álvarez-Morejón, C.; y 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), 34-44. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i15.127>
- Mieles-Cedeño, M.; Yépez-Tamayo, L. y Ramírez-Cárdenas, L. (2018). Elaboración de una bebida utilizando subproductos de la industria láctea. *Enfoque UTE*. 9(2), 59-69. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.295>
- Morales-Pizarro, A.; Javier-Alva, J.; Álvarez, L. A.; Mayta-Obos, R.; Aguilar-Ancocota, R.; Peña-Castillo, R.; Cahnduví-García, R. y 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(2). <http://www.doi.org/10.56369/tsaes.4206>
- Morales-Pizarro, A.; Rondoy-Castro, D.; Escobedo-Huancas, P.; Durand-Montejo, E.; Veramatus-Mendoza, A.; Juárez-Vilchez, J.; Morocho-Romero, H.; Chanduví-García, R.; Quiroz-Calderón, M.; Calero-Merino, M. y Peña-Castillo, R. (2025). Dosis y tiempos de imbibición de peróxido de hidrógeno en la germinación y crecimiento inicial de algodón (*Gossypium barbadense* L.). <http://doi.org/10.56369/tsaes.5660>
- Morocho-Romero, H.; Peña-Castillo, R.; Chanduví-García, R.; Vilchez-Navarro, S.; Quiroz-Calderón, M.; Calero-Merino, M.; Galecio-Julca, M.; Javier-Alva, J.; Cruz-Grimaldo, C. y Morales-Pizarro, D. A. (2024). Influence of organic fertilization on the fruit morphology and production of mango (*Mangifera indica* L.) var. Kent. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27(3). <http://www.doi.org/10.56369/TSAES.5606>
- Peña-Castillo, R.; Ojeda-Ojeda, M.; Javier-Alva, J.; Arévalo-Valladolid, D.; Chanduví-García, R.; Lindo-Seminario, D.; Vera, E.; Calero-Merino, M.; Quiroz-Calderón, M. y Morales-Pizarro, A. (2023). Doses of biostimulant and plant spacing in correlation with productive parameters in aguaymanto (*Physalis peruviana* L.). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27(1). <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.5058>
- Poveda, E. (2013). Suero lácteo, generalidades y potencial uso como fuente de calcio de alta biodisponibilidad. *Revista Chilena de Nutrición*, 40(4), 397-403. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182013000400011>
- Ramzani, P. M.; Shan, L.; Anjum, S.; Khan, W. D.; Ronggui, H.; Iqbal, M.; Abbas-Virk, Z. y 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, 127-138. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.05.003>
- Ruesta López, M.; Zurita Chinguel, L.; Lizano Pintado, M.; Delgado Vite, M.; Zapata Durand, D.; Jiménez Castillo, J.; Peña-Castillo, R.; Galecio-Julca, M.; Chanduví-García, R. y Morales Pizarro, D. A. (2024). Bioestimulante y tiempos de imbibición sobre la germinación de semillas de maracuyá (*Passiflora edulis* S., Passifloraceae). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27(2). <http://doi.org/10.56369/tsaes.5199>
- Shete, G. S.; Nikam, S. D.; Surbhaiyya, S. D.; Jadhav, M. P. y Thakare, T. N. (2023). Analysis of genetic diversity in maize (*Zea mays* L.) variety using SSR markers. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(15), 205-212. <http://dx.doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i153098>
- Sistema Integrado de Estadística Agraria (SIEA) . (2024). Valor de la producción (VBP) agropecuaria a nivel de productos. <https://app.powerbi.com/w?r=eyJrIjoY2NlOTFkOTMtMjg5Yy00NThjLWE0MjUtNGQwMDA0YTY1Nzc1IiwidCI6IjdmMDg0NjI3LTdmNDAtNDg3OS04OTE3LTk0Yjg2ZmQzNWYzZiJ9&pageName=ReportSectioncdcb240117bc1370448b>
- Vilchez-Navarro, S.; Morales-Pizarro, A.; Morocho-Romero, H.; Casas-Niño, S.; Cárdenas-Huamán, G.; Velarde-Apaza, L. y 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). <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2025.ROC-1223>