

## Sustratos Orgánicos Alternos en la Germinación y Crecimiento Inicial de Plántulas de Maíz (*Zea mays* L.) en Condiciones de Vivero Alternative Organic Substrates in the Germination and Initial Growth of Corn (*Zea mays* L.) Seedlings Under Nursery Conditions

Andrea Cardoza-Viera<sup>1</sup> , Diego Arévalo-Valladolid<sup>1</sup> , Javier Javier-Alva<sup>1</sup> ,  
Ricardo Peña-Castillo<sup>1</sup> , Roger Chanduví-García<sup>1</sup> , Marcos Quiroz-Calderón<sup>1</sup> ,  
Luis Álvarez-Bernaola<sup>2</sup> , Miguel Galecio-Julca<sup>1</sup> , Mariano Calero-Merino<sup>1</sup>  y  
Arturo Morales-Pizarro<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Piura, Campus Universitario. Urb. Miraflores s/n, Apartado Postal 295. 20002, Castilla, Piura, Perú; (D.A.V.), (A.C.V.), (J.J.A.), (R.P.C.), (R.C.G.), (M.Q.C.), (M.C.M.), (A.M.P.), (M.D.J.).

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Cañete, Casa de la cultura. Av. Mariscal Benavides, San Luis de Cañete. 15701 Cañete, Lima, Perú; (L.A.B.).

† Autor para correspondencia: amoralesp@unp.edu.pe

### RESUMEN

El maíz es una gramínea de gran interés comercial socio-económico. En Perú, se siembra de forma directa en campo, presentándose una irregular germinación y mortandad de plántulas. El objetivo fue evaluar la combinación de sustratos orgánicos alternos, en la germinación y crecimiento inicial de plántulas de maíz en condiciones de vivero. Se plantearon cuatro tratamientos formados por la combinación de arena (A), cascarilla de arroz (CA) y humus (H): T1 (100% A-Testigo), T2 (75% A+25% CA), T3 (50% A+25% CA+25% H) y T4 (50% CA+50% H). Se evaluó: la conductividad eléctrica (CE) y pH del sustrato, porcentaje de emergencia (PE), tiempo medio de emergencia (TME), altura de planta (AP), longitud de raíz (LR), diámetro de tallo (DT), número de hojas (NH), área foliar (AF), peso de biomasa (PB): biomasa fresca (PBAF), biomasa seca (PBAS), raíz fresca (PBRF) y raíz seca (PBRS). Con los datos obtenidos, se realizó un ANOVA y análisis de correlación. El T4 presentó los mejores valores en el estudio. El TME tuvo correlación (-) con PBRS, PBAF. En la LR presentó correlación (+) con DT. El PBRF obtuvo una correlación (+) con PBRS, AF, NH, PBAF. El PBRS presentó una correlación (+) con PBAF y NH. El PBAS presentó correlación (+) con AP. La AP reveló correlación (+) con DT, AF, NH, PBAF. El DT mostró una correlación (+) con AF, NH, PBAF. El AF presentó correlación (+) con NH y PBAF. EL NH mostró correlación (+) con PBAF. Los sustratos orgánicos mejoraron las variables evaluadas en maíz.

**Palabras clave:** arena, cascarilla de arroz, emergencia, humus de lombriz, morfometría.

### SUMMARY

Maize is a grass of great socio-economic commercial interest. In Peru, it is sown directly in the field, with irregular germination and seedling mortality. Our aim was to evaluate the combination of alternative organic substrates in the germination and initial growth of maize seedlings under nursery conditions. Four treatments were established consisting of the combination of sand (S), rice husk (RH) and humus (H): T1 (100% S-Test), T2 (75% S+25% RH), T3 (50% S+25% RH+25% H) and T4 (50% RH+50% H). The following parameters were evaluated: Electrical conductivity (EC), substrate pH, emergency percentage (EP), mean time emergence (MTE), plant height (PH), root length (RL), stem diameter (SD), number of leaves (NL), leaf area (LA), biomass weight (BW): fresh biomass (FB), dry biomass (DB), fresh root (FR) and dry root (DR). The data obtained was subjected to Analysis of Variance (ANOVA) and correlation. T4 showed the best values in the study. The MTE exhibited a (-) correlation with DR



#### Cita recomendada:

Cardoza-Viera, A., Arévalo-Valladolid, D., Javier-Alva, J., Peña-Castillo, R., Chanduví-García, R., Quiroz-Calderón, M., ... & 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. e1867. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1867>

Recibido: 1 de diciembre de 2023.

Aceptado: 20 de junio de 2024.

Artículo. Volumen 42.

Julio de 2024.

Editor de Sección:

Dr. Juan Carlos Noa Carrazana

Editor Técnico:

Dr. Gerardo Cruz Flores



**Copyright:** © 2024 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/>).

and FB. RL showed a (+) correlation with SD. FR exhibited a (+) correlation with DR, LA, NL, and FB. DR showed a (+) correlation with FB and NL. DB exhibited a (+) correlation with PH. PH showed a (+) correlation with SD, LA, NL, and FR. SD exhibited a (+) correlation with LA, NL, and FB. LA showed a (+) correlation with NL and FB. NL exhibited a (+) correlation with FB. The organic substrates improved the variables evaluated in corn.

**Index words:** sand, rice husk, emergence, earthworm humus, morphometry.

## INTRODUCCIÓN

El maíz *Zea mays* L., (Poales: Poaceae) originado en Mesoamérica (Escobar-Álvarez *et al.*, 2021), es uno de los cultivos de seguridad alimentaria más extendidos y comercializados en el mundo, favoreciendo el desarrollo socioeconómico de muchos países (Martínez-Rengel, Torres, Álvarez y Rentería, 2021). Asimismo, este cultivo es usado en la alimentación de personas y animales (Chura-Chuquiya y Tejada, 2014). En el 2021, la producción mundial de maíz alcanzó 1 210 235 135.14 toneladas (t), siendo los principales productores: Estados Unidos con 383 943 000 t, China 272 552 000 t, Brasil 88 461 943 t, y Argentina 60 525 805 t (FAO, 2023). En el año 2022, Perú presentó una producción nacional de 1 235 582.83 t, siendo las principales regiones productoras: Ica con 170 331.91 t, San Martín con 150 973.80 t, Lima 143 759 t, La Libertad 111 857.77 t, Ancash 111 596.20 t y Piura 109 537 t (SIAE, 2023).

El maíz se siembra en forma directa en campo en donde se presenta diversos problemas en su desarrollo inicial, tales como una irregular germinación, pudrición de semillas e incluso la mortandad de plántulas. En el Perú, este cultivo es la principal fuente de ingresos económicos de las familias rurales. Sin embargo, en la actualidad se presenta un incremento exponencial en el precio de insumos agrícolas (fertilizantes, plaguicidas, sustratos para almácigo, semillas mejoradas) que afectan la sostenibilidad y rentabilidad del cultivo (Chanduvi-García *et al.*, 2023; Galecio-Julca *et al.*, 2023). Por lo mencionado, es necesario utilizar tratamientos germinativos económicos que incrementen el porcentaje y la velocidad de germinación además, del desarrollo inicial y la adaptación de plántulas de maíz en campo (Nicasio-Arzeta, Sánchez, Orozco y Gamboa, 2011).

Por consiguiente, la siembra de semillas en sustratos de origen orgánico o inorgánico dentro de semilleros o almácigos como tratamiento pre germinativo ha demostrado ser muy eficaz en la producción de plántulas de alta calidad (Nicasio-Arzeta *et al.*, 2011; Puerta, Russián y Ruiz, 2012). Asimismo, los diferentes tipos de sustratos son empleados en la producción de forraje verde hidropónico-maíz para la alimentación de animales como: aves, bovinos, caprinos, conejos, ovinos, entre otros (Zagal-Tranquilino *et al.*, 2016). Por otro lado, el sustrato a base de perlas de vidrio son empleados en la obtención de exudados radiculares y en conjunto con el análisis fenotípico, permite el estudio y análisis de la variación natural de las plantas (poblaciones) mediante la relación del fenotipo con el genotipo (Zagal-Tranquilino *et al.*, 2016). El tratamiento pre germinativo de semillas en sustratos orgánicos presenta diversas ventajas sobre la siembra directa, estas son: una menor pérdida de agua, rápida germinación y emergencia de plántulas de manera uniforme, reduce la vulnerabilidad al ataque de plagas, enfermedades y la competencia con arvenses, garantizando de esta manera una mayor tasa de adaptabilidad y crecimiento de plantas en terreno definitivo (Garbanzo y Vargas, 2017).

Los sustratos empleados como tratamientos pre germinativos son elaborados a partir de materiales de origen orgánicos, inorgánicos o combinados; siendo utilizados constantemente en la propagación de plántulas en semilleros que proporcionan condiciones favorables para el desarrollo y crecimiento inicial de las plántulas, y una buena disponibilidad hídrica para su imbibición (hidratación de la semilla), drenaje adecuado (Nicasio-Arzeta *et al.*, 2011; Puerta *et al.*, 2012) que mejoran la velocidad y el porcentaje de germinación (Pooja y Honnabyraiah, 2022). Una adecuada hidratación de semilla rompe su estado de latencia e inicia la respiración celular con una serie de procesos metabólicos: respiración celular, síntesis de "proteínas, lípidos y ácidos nucleicos" y el desarrollo embrionario (Bulgari, Cocetta, Trivellini, Vernieri y Ferrante, 2015; Do Nascimento, Lopes y Alexandre, 2022).

El suelo de jardín es el sustrato más utilizado y económico de fácil acceso; sin embargo, puede tener una calidad inconsistente y contener semillas de malezas o patógenos que perjudican la producción del cultivo (Puerta *et al.*, 2012). Por otro lado, el humus de lombriz es un abono orgánico obtenido a partir del compostaje (degradación de insumos de origen vegetal, animal y mineral), el cual sirve de alimento para la lombriz *Eisenia foetida* y posterior obtención del humus de lombriz o vermicompost, este sustrato es rico en nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y microelementos), ácidos húmicos y ácidos fúlvicos que permite su uso en semilleros

con frecuencia (Llivicura *et al.*, 2021 Salinas-Vásquez, Sepúlveda y Sepúlveda, 2014). La turba y la fibra de coco son sustratos muy utilizados en semilleros en la propagación de diversos cultivos, incluido el maíz; debido a que ofrecen una buena retención y disponibilidad de agua; no obstante, la fibra de cocotero puede ser costosa en comparación con otros tipos de sustratos (Taveira, 2005). Por lo cual, en esta investigación se planteó evaluar el efecto de la cascarilla de arroz y humus de lombriz como sustratos orgánicos alternos en la germinación y el crecimiento inicial de maíz bajo condiciones de vivero.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de Estudio

La investigación se realizó en el vivero experimental del Departamento Académico de Morfofisiología Vegetal de la Universidad Nacional de Piura (UNP), ubicada en la región Piura a 5° 10' 45.52" S y 80° 37' 07.80" O con 32 m de altitud, durante los meses de enero a marzo del 2023.

### Sustratos en Estudio

Se utilizaron tres tipos de sustrato: arena (A), humus de lombriz (H) y cascarilla de arroz (CA). La arena se esterilizó durante 12 h a 120 °C en estufa. El humus de lombriz y la cascarilla de arroz previamente humedecidas se expusieron a solarización directa durante cinco días según la técnica propuesta por Parra, Sobrero y Pece (2015), con modificaciones ligeras para este estudio como fueron la utilización de plástico blanco sobre el suelo para evitar la contaminación del sustrato con el suelo, cubriéndolo con plástico transparente sobre la mezcla para incrementar la temperatura. Las temperaturas máximas alcanzadas por los sustratos: humus de lombriz y la cascarilla de arroz fueron de 60 °C y 50 °C, respectivamente (Figura 1).

### Tratamientos y Siembra de Semillas

Se utilizaron semillas de maíz híbrido marginal 28 T. Los sustratos se prepararon bajo diferentes proporciones (Cuadro 1) y fueron colocados en envases (vasos) de plástico de 250 cm<sup>3</sup> los cuales se regaron hasta capacidad de campo, 24 h antes de la siembra; y posteriormente se sembraron 2 semillas por envase con sus respectivos tratamientos, dejando una plántula por envase después de su emergencia. Las plántulas fueron regadas cada dos días con 25 cm<sup>3</sup> de agua de grifo por envase.



**Figura 1. Solarización de sustratos. a) Humus y cascarilla de arroz previamente humedecidas, expuestas a solarización durante cinco días; b) Medición de temperatura del humus; c) medición de la temperatura de la cascarilla de arroz.**

**Figure 1. Solarization of substrates. a) Humus and rice husk previously moistened, exposed to solarization for five days; b) Humus temperature measurement; c) Rice husk temperature measurement.**

**Cuadro 1. Tratamientos pregerminativos para maíz (*Zea mays* L.).**  
**Table 1. Pre-germination treatments for maize (*Zea mays* L.).**

Tratamiento	Descripción	Proporción
T1	100% arena A (testigo)	1
T2	75% arena A+25% cascarilla de arroz CA	3:1
T3	50% arena A+25% cascarilla de arroz CA+25% humus de lombriz H	2:1:1
T4	50% cascarilla de arroz CA+50% humus de lombriz H	1:1

## Análisis Nutricional y Microbiológico del Humus de Lombriz

El análisis nutricional del humus de lombriz se realizó en el "Departamento Académico de Suelos de UNP (Universidad Nacional de Piura)", presentó un pH de 7.95, conductividad eléctrica de 2.8 (dS m<sup>-1</sup>), 0.80% de nitrógeno (N), fósforo P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.40% y potasio K<sub>2</sub>O de 0.30%. El análisis microbiológico fue realizado en el Laboratorio de microbiología del departamento académico de sanidad vegetal de la UNP", y presentó bacterias en una concentración de 3.8 × 10<sup>6</sup> UFC (unidades formadoras de colonia), actinomicetos con 1.6 × 10<sup>3</sup> y hongos más levaduras 3.1 × 10<sup>5</sup> UFC.

### Parámetros Evaluados

#### Conductividad Eléctrica (CE) y pH.

Se midió la CE y el pH al inicio del estudio y a los 18 DDE (días después de la emergencia).

#### Porcentaje de Emergencia (PE).

Se evaluó el PE de plántulas desde la siembra hasta la observación del coleóptilo en la superficie del suelo. Las evaluaciones se realizaron diariamente hasta que las plantas emergieron por completo, usando la fórmula propuesta por Furutani, Zandstra y Price (1985):

$$PE = (n/N) \times 100 \quad (1)$$

Donde: n = número total de coleóptilos emergidos y N = número total de semillas. La evaluación se realizó durante los cinco primeros días desde la siembra.

#### Tiempo Medio de Emergencia (TME)

El TME se calculó con la fórmula de Cabrera, Sobrero, Chaila y Pece (2015):

$$TME = \frac{\sum (ni \times ti)}{\sum ni} \quad (2)$$

Donde TME= tiempo medio de germinación, ti= número de días desde la siembra, ni= número de semillas germinadas.

### Parámetros Biométricos

Se tomó nota de la altura de la planta a 3, 6, 9, 12, 15 y 18 DDE; A los 18 DDE se midió el diámetro del tallo DT (cm), longitud de la raíz LR (cm), número de hojas (NH), área foliar (AF) (cm<sup>2</sup>), el AF se determinó con ayuda del programa ImageJ (ImageJ, 2014) tomando la hoja del tercio superior más desarrollada. En biomasa, el peso de la biomasa aérea fresca PBAF, peso de biomasa aérea seca PBAS, peso de biomasa radicular fresca PBRF y el peso de biomasa radicular seca PBRs.

## Análisis Estadístico

La investigación se desarrolló en un diseño completo al azar (DCA) con cuatro tratamientos, tres repeticiones y diez plántulas por unidad experimental con un total de 120 plántulas. El análisis de varianza (ANOVA), y una prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) permitieron analizar los datos obtenidos. Asimismo, el análisis de correlación de Pearson y un análisis de componentes principales ACP determinaron la relación entre los parámetros y los tratamientos (Galecio-Julca *et al.*, 2023).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Conductividad Eléctrica (CE) y pH

El pH inicial de los sustratos en los tratamientos se redujo en proporción con el incremento de la cantidad de humus de lombriz como se observa en el T4 con pH de  $7.29 \pm 0.02$ ; a diferencia de la CE inicial, cuyos valores aumentaron como en T4 a  $3.77 \pm 0.09 \text{ dS m}^{-1}$  (Cuadro 2). A los 18 DDE, el pH final en el T4 presentó un incremento respecto al pH inicial con  $7.71 \pm 0.03$  siendo significativamente inferior a los demás tratamientos. El T4 mostró una reducción de la CE inicial con un valor de  $1.53.11 \pm 0.21 \text{ dS m}^{-1}$  siendo superior a los demás tratamientos. Resultados similares fueron reportados por Laynez-Garsaball y Méndez (2007) los cuales mencionan que los sustratos orgánicos reducen el pH hasta 6.42 e incrementan la CE hasta  $4.90 \text{ dS m}^{-1}$  favoreciendo la germinación y el crecimiento inicial de las plántulas de maíz. Asimismo, Bulgari, Franzoni y Ferrante (2019) y Ramzani *et al.* (2017) indican que la presencia de ácidos húmicos, fúlvicos, huminas y el incremento de la actividad microbiana presente en insumos orgánicos, mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo especialmente en su interacción con la raíz en la rizósfera.

### Porcentaje de Emergencia (PE) y Tiempo Medio de Emergencia (TME)

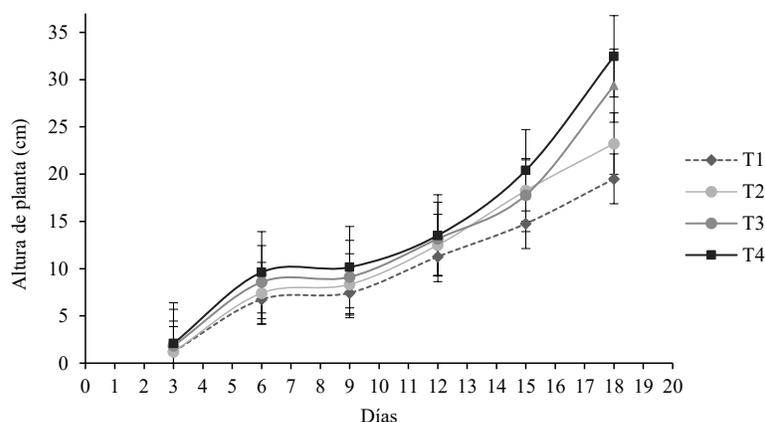
Los tratamientos alcanzaron el 100% PE a 3 DDS (días después de la siembra), sin diferencias significativas entre sí ( $P > 0.05$ ), (Cuadro 3; Figura 2). El TME en el T4 presentó el menor tiempo de emergencia con 3.03 días, siendo significativamente menor a los demás tratamientos. Los resultados mostraron un efecto positivo del tratamiento pre germinativo al promover el porcentaje germinación y reducir el tiempo medio de emergencia de las semillas. Escobar-Álvarez *et al.* (2021) cultivando variedades criollas mexicanas de maíz el 98.9% de emergencia de semillas tratadas con imbibición (hidratación de semillas) en agua durante 14 h a 35 °C. Asimismo, estos autores presentaron un TME entre 2.23 y 2.86 días. Martínez-Solís, Virgen, Peña y Santiago (2010) destacan el efecto directo de la testa sobre la imbibición de semillas de maíz, constituyéndose como el punto de activación de la velocidad de germinación y emergencia de las plántulas, mediante la difusión y capilaridad del agua. El pre acondicionamiento de las semillas de maíz con sustratos orgánicos influyen en forma positiva y significativa en PE y TME (Nicasio-Arzeta *et al.*, 2011). Los tratamientos pre germinativos de semillas de maíz sometidas a 14 h de imbibición obtuvieron 100% de PE e incrementaron la tasa de imbibición (Natera, Pinto y Mata, 2008). Al respecto, Valle-Moysén *et al.* (2017) han indicado un efecto positivo en la germinación de semillas de maíz, como resultado de una buena imbibición o hidratación de la semilla.

**Cuadro 2. Evaluación de la Conductividad eléctrica (CE) y pH inicial y final de los sustratos.**  
**Table 2. Evaluation of electrical conductivity (EC) and initial and final pH of the substrates.**

Tratamiento	Variables			
	CE inicial	CE final	pH inicial	pH final
	----- dS m <sup>-1</sup> -----			
T1 (100% A - testigo)	0.28±0.01 b	0.252±0.05 c	8.56±0.04 a	7.97±0.05 a
T2 (75%A+25% CA)	0.403.78±0.01 b	0.296±0.065 c	7.99±0.10 b	7.78±0.06 b
T3 (50% A+25% CA+25% H)	3.46±0.25 a	0.81±0.07 b	7.48±0.07 c	7.98±0.08 a
T4 (50% CA+50% H)	3.774±0.09 a	1.53±0.21 a	7.29±0.02 d	7.71±0.03 b

† A = arena; CA = cascarilla de arroz; H = humus. \* Letras distintas en los tratamientos indican diferencias significativas (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

† A=sand; CA = rice husk; H = humus. \* Different letters in the treatments indicate significant differences Tukey's ( $P \leq 0.05$ ).



**Figura 2. Altura de plántulas de maíz a los 3, 6, 9, 12, 15 y 18 días después de la siembra.**

**Figure 2. Height of corn seedlings at 3, 6, 9, 12, 15 and 18 days after planting.**

## Altura de Planta

El T4 mostró los mayores valores a los 3, 6, 9, 12, 15 y 18 DDS; asimismo, en esta última evaluación fue significativamente superior a los demás tratamientos (T1, T2 y T3) alcanzando una altura de 32.47 cm superior al T1 (testigo) con 19.5 cm (Figura 2; Cuadro 3). Aplicaciones de fertilizantes orgánicos bioactivos enriquecidos con cáscaras de naranja, óxido de zinc (ZnO) y *Bacillus sp.* (bacteria solubilizadora de Zn) mejoraron la altura de plantas de maíz en campo hasta en 53% respecto al testigo (Hussain *et al.*, 2019). Los incrementos de altura de planta en este estudio podrían estar relacionados directamente con la disponibilidad y mayor absorción de nutrientes, solubilización de fósforo (P), producción de sideróforos y producción de fitohormonas (auxinas, citoquinas y ácido giberélico) (Hussain, Arshad, Zahir y Asghar, 2015). Asimismo, Galecio-Julca *et al.* (2023) demostraron que el uso de abonos orgánicos en el suelo combinados con aplicaciones foliares de MEN (microorganismo eficiente nativos) al 5% incrementan hasta en un 30% la altura de planta.

## Caracterización de Plántulas de Maíz

En la longitud de la raíz (LR) los tratamientos T2 y T4 no presentaron diferencias significativas con valores de 31.9 y 30.5 cm, respectivamente, siendo superiores a los demás tratamientos (Cuadro 3; Figura 3). El diámetro de tallo (DT) en los tratamientos T4, T3 y T2 con 4.22, 4.10 y 4.02 mm, respectivamente, no mostraron diferencias significativas entre sí, pero superaron significativamente al testigo T1 con un valor de 3.82 mm. El T4 mostró el mayor número de hojas con 5.28 hojas superando significativamente al T2 (3.39 hojas), T3 (3.34 hojas) y a T1 (3.33 hojas). Adicionalmente, el T4 presentó la mayor área foliar con 136 centímetros cuadrados.

**Cuadro 3. Caracterización de maíz (*Zea mays* L.).**

**Table 3. Characterization of maize (*Zea mays* L.).**

Tratamiento	Variables						
	PE	TME	AP	LR	DT	NH	AF
	%	días	cm	cm	mm		cm <sup>2</sup>
T1 (100% A - testigo)	100±0.00 a	3.06±0.00 b	19.5±2.97 d	22.03±0.66 c	3.82±0.16 b	3.33±0.50 b	51.63±4.08 b
T2 (75%A+25% CA)	100±0.00 a	3.27±0.00 a	23.23±2.45 c	31.9±0.67 a	4.02±0.16 a	3.39±0.25 b	68.97±8.05 b
T3 (50% A+25% CA+25% H)	100±0.00 a	3.06±0.02 b	29.37±1.87 b	26.23±0.68 b	4.10±0.14 a	3.45±0.27 b	79.08±28.79 b
T4 (50% CA+50% H)	100±0.00 a	3.03±0.01 c	32.47±2.18 a	30.5±0.69 a	4.22±0.19 a	5.28±0.25 a	136.14±47.61 a

\* Letras distintas en los tratamientos indican diferencias significativas (Tukey  $P \leq 0.05$ ). PE = porcentaje de emergencia; TME = tiempo medio de emergencia; AP = altura de planta; LR = longitud de raíz; DT = diámetro de tallo; NH = número de hojas; AF = área foliar; A = arena; CA = cascarilla de arroz; H = humus.

\* Different letters in the treatments indicate significant differences Tukey's ( $P \leq 0.05$ ). PE = percent emergence; TME = mean time to emergence; AP = plant height; LR = root length; DT = stem diameter; NH = number of leaves. AF = leaf area; A = sand; CA = rice husk; H = humus.



**Figura 3. Crecimiento vegetativo de maíz (*Zea mays* L.) a los 18 días después de la siembra.** A = arena; CA = cascarilla de arroz; H = humus.

**Figure 3. Vegetative growth of maize (*Zea mays* L.) 18 days after planting.** A = sand; CA = rice husk; H = humus.

Estos resultados coinciden con los reportados por Pérez-Luna, Álvarez, Mendoza, Pat y Gomez, (2012) en plantas de maíz tratadas con humus, cuyo incremento de dosis mejoró la AP, DT, NH y el volumen del sistema radicular hasta un 53.7% respecto al testigo. Las plantas de maíz tratadas con estiércol de pollo (abono orgánico) presentaron un mayor incremento de materia seca y tasa de crecimiento a partir del estado V6 (seis hojas formadas) y reduciéndose el estado R2 hasta su madurez (Geng, Cao, Wang y Wang, 2019). El vermicompost (humus de lombriz) es considerado el mejor abono orgánico y ecológico que influye positivamente en el porcentaje y velocidad de germinación, altura de planta, número de hojas, área foliar, longitud y número de raíces, contenido de clorofila y en el rendimiento, debido a la presencia de ácidos húmicos en el vermicompost (Joshi, Singh y Vig, 2015). Por otro lado, en semilleros de *Capsicum*, la presencia de ácidos húmicos influye positivamente en el número de hojas y diámetro de tallo (Ruiz-Sánchez, Chan, Ballina, Fernández y Góngora, 2022); además, estos ácidos húmicos están directamente relacionados con los genes reguladores del transporte de nitrógeno (Colla *et al.*, 2017). En el cultivo de quinua aplicaciones foliares de MEN (microorganismos eficientes nativos) 5% y compost al suelo incrementaron hasta un 25% el diámetro del tallo respecto al testigo (Galecio-Julca *et al.*, 2023). Plántulas de vid tratadas con *Bacillus* spp. y *Trichoderma* spp. aislados de campos de vid abonados con compost incrementa hasta 40% la longitud del brote (Morales-Pizarro *et al.*, 2022)

### Análisis de la Biomasa

De acuerdo con el Cuadro 4, el tratamiento T4 presentó los mayores valores de PBAF, PBAS, PBRF y PBRS con 2.46 g, 0.48 g, 1.59 g y 0.43 g, respectivamente, siendo estadísticamente superior a T1, T2 y T3. Resultados análogos fueron obtenidos por Hussain *et al.* (2019) con aplicaciones de fertilizantes orgánicos bioactivos en el cultivo de maíz incrementando hasta 46% el peso seco de brotes respecto al testigo. Asimismo, Geng *et al.* (2019) encontraron incrementos de la materia seca (MS) en maíz con aplicaciones de abonos orgánicos como el estiércol de pollo, seguido por el estiércol de vaca y abonos convencionales (fertilización convencional). En el cultivo de maíz la reducción del 30% de fertilizantes nitrogenados e incorporación de compost ha permitido mantener la absorción de N (nitrógeno), reducir pérdidas de nitrógeno, incrementar la fertilidad del suelo, mejorar la biomasa y el rendimiento del maíz. Las plántulas de maíz tratadas con vermicompost (humus de lombriz) incrementan su peso seco de biomasa hasta 98% comparadas con el testigo (sin vermicompost) (Pérez-Luna *et al.*, 2012). Por otro lado, cepas de *Bacillus* spp aisladas de campos vitícolas abonados con compost han incrementado el peso seco y fresco de raíces en vivero hasta en un 50% respecto al testigo (Morales-Pizarro *et al.*, 2022). No obstante, Liu *et al.* (2009) mencionan que aplicaciones combinadas de abonos orgánicos e inorgánicos incrementan la actividad microbiana, la disponibilidad de nutrientes y la biomasa microbiana lo que mejoró el rendimiento en el arroz.

**Cuadro 4. Biomasa de maíz (*Zea mays* L.).**  
**Table 4. Maize biomass (*Zea mays* L.).**

Tratamiento	Variables			
	PBAF	PB AS	PBRF	PBRS
T1 (100% A - testigo)	1.74±0.09b	0.21±0.02b	1.29±0.15ab	0.43±0.03a
T2 (75%A+25% CA)	1.57±0.29b	0.19±0.05b	1.12±0.06b	0.31±0.02b
T3 (50% A+25% CA+25% H)	1.78±0.54b	0.29±0.02b	1.00±0.19c	0.32±0.09b
T4 (50% CA+50% H)	2.46±0.19a	0.48±0.06a	1.59±0.08a	0.43±0.00a

\* Letras distintas en los tratamientos indican diferencias significativas (Tukey  $P \leq 0.05$ ). PBAF = peso de biomasa aérea fresca; PBAS = peso de biomasa aérea seca; PBRF = peso de biomasa radicular fresca; PBRS = peso de biomasa radicular seca; A = arena; CA = cascarilla de arroz; H = humus.

\* Different letters in the treatments indicate significant differences Tukey's ( $P \leq 0.05$ ). PBAF = weight of fresh aerial biomass; PBAS = weight of dry aerial biomass; PBRF = weight of fresh root biomass; PBRS = weight of dry root biomass; A = sand; CA = rice husk; H = humus.

### Análisis de Correlación Cuantitativa

En el análisis de correlación de "Pearson" (Figura 4) se encontraron correlaciones positivas y negativas de los diez parámetros evaluados en maíz. El TME (tiempo medio de emergencia) tuvo una correlación negativa o inversa con el PBRS ( $r = -0.67$ ) y PBAF ( $r = -0.64$ ) lo que indica que el TME es indirectamente proporcional a PBRS y PBAF. En la LR (longitud de raíz) tuvo una correlación positiva con DT ( $r = 0.70$ ) mostrando que LR es determinada por DT.

En el PBRF (peso de biomasa radicular fresca) obtuvo una correlación positiva con PBRS ( $r = 0.84$ ), AF ( $r = 0.70$ ), NH ( $r = 0.86$ ) Y PBAF ( $r = 0.85$ ) indicando que PBRF es determinado por estas variables. En el PBRS (peso de biomasa radicular seca) presentó una correlación positiva o directamente proporcional con PBAF ( $r = 0.64$ ) lo que indica que el PBRS es determinado por PBAF. En el PBAS (peso de biomasa aérea seca) tuvo una correlación positiva con AP ( $r = 0.62$ ) mostrando que el PBAS es determinado por AP (altura de planta).

En la AP mostró una correlación positiva con DT ( $r = 0.96$ ), AF ( $r = 0.89$ ) NH ( $r = 0.75$ ) y PBAF ( $r = 0.75$ ) indicando que AP es determinado directamente por DT, AF, NH y PBAF. En el DT (diámetro de tallo) mostró una correlación positiva con la AF ( $r = 0.89$ ), NH ( $r = 0.75$ ) Y PBAF ( $r = 0.68$ ) mostrando que el DT tiene una relación directa con la AF, NH, PBAF. En el AF (área foliar) se observó una correlación positiva con NH ( $r = 0.97$ ), PBAF ( $r = 0.97$ ) PBAS ( $r = 0.93$ ) mostrando que el NH, PBAF determinan el AF. El NH (número de hojas) mostró una correlación positiva con PBAF ( $r = 0.97$ ).

Resultados análogos fueron observados por Galecio-Julca *et al.* (2023) en el cultivo de Quinua en la AP la cual mostró una correlación positiva y moderada con DT de  $r = 0.56$ . No obstante, el PP (peso de la panoja) presentó una correlación positiva con el DT ( $r = 0.55$ ). El desarrollo del sistema radicular se relaciona directamente con el crecimiento y el rendimiento del cultivo como resultado de la disponibilidad de nutrientes, agua (Hussain *et al.*, 2019).

### Análisis de Componentes Principales (ACP)

Del ACP, se obtuvieron dos nuevos componentes; componente I (51.60%) y componente II (28.30%) que explican el 79.90% de la variabilidad total de los resultados. De acuerdo con su grado de relación entre las variables, se definieron tres cluster plot (grupos). La componente I (51.60%) agrupa las variables: número de hojas (NH), peso de biomasa aérea fresca (PBAF), altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT) y peso de biomasa radicular fresca (PBRF) las mismas que están estrechamente relacionadas con el T4 (Figura 5), mejorando significativamente sus valores (Cuadro 3; Cuadro 4). La componente II (28.30%) agrupa las variables: peso de biomasa radicular seca (PBRS) y longitud de raíz (LR) asociada con el T3.



Figura 4. Análisis de correlación entre los parámetros evaluados en maíz (*Zea mays* L.).  
 Figure 4. Correlation analysis between the parameters evaluated in maize (*Zea mays* L.).

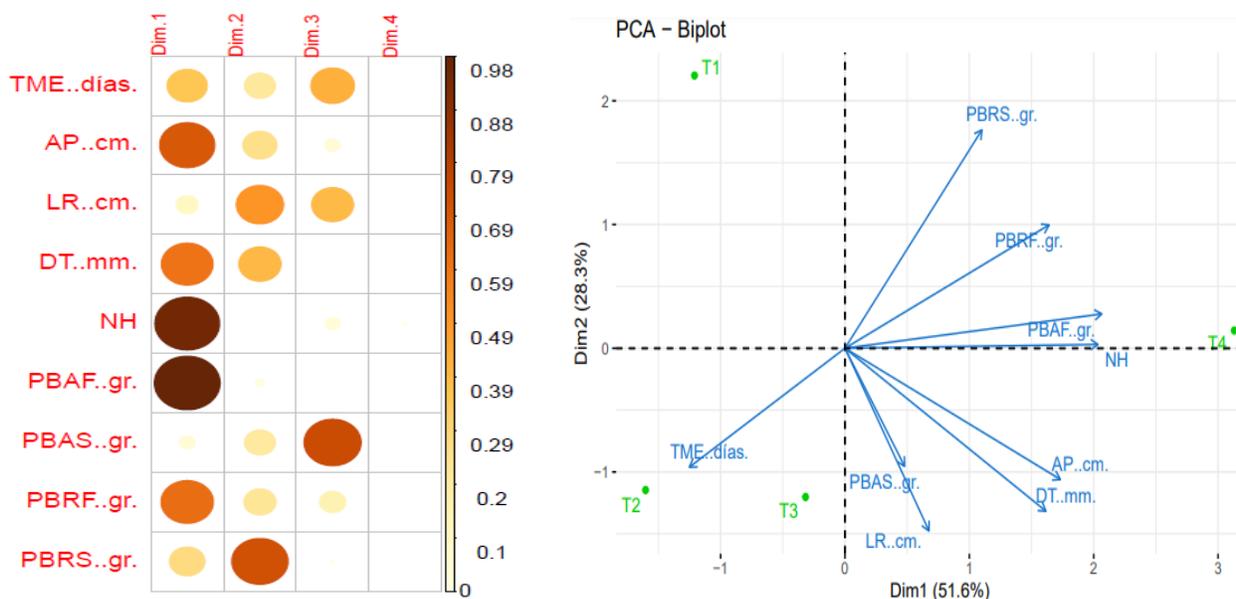


Figura 5. Análisis de componentes principales (ACP): gráficos dimensiones-Score plot (izquierda) y Biplot de ACP (derecha).  
 Figure 5. Principal component analysis (PCA): dimension-Score plot (left) and PCA biplot (right).

## CONCLUSIONES

El T4 mejoró significativamente las variables: número de hojas (NH), peso de biomasa aérea fresca (PBAF), altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT) y peso de biomasa radicular fresca (PBRF). De igual manera, estas variables están altamente correlacionadas ( $r > 0.75$ ). Además, la incorporación de la cascarilla de arroz permite oxigenar y aprovechar mejor las características físico, químico y biológicas del humus de lombriz; lo cual, lo convierte en un sustrato potencial y económico a ser incorporado en la producción de plantas en vivero y en la producción de forraje hidropónico.

## 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

Investigación, metodología, trabajo de campo: D.A.V., A.C.V. y J.J.A. Curación de datos, análisis de datos, revisión: R.P.C., R.C.G. y M.Q.C. Investigación, análisis formal: L.A.B., M.G.J. y M.C.M. Conceptualización e idea principal, escritura y edición: A.M.P.

## AGRADECIMIENTOS

No aplicable.

## LITERATURA CITADA

- Bulgari, R., Cocetta, G., Trivellini, A., Vernieri, P., & Ferrante, A. (2015). Biostimulants and crop responses: a review. *Biological Agriculture & Horticulture*, 31(1), 1-17. <http://dx.doi.org/10.1080/01448765.2014.964649>
- Bulgari, R., Franzoni, G., & Ferrante, A. (2019). Biostimulants Application in Horticultural Crops under Abiotic Stress Conditions. *Agronomy*, 9(6), 1-30. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060306>
- Cabrera, D. C., Sobrero, M. T., Chaila, S., & Pece, M. (2015). Germinación y emergencia de *Megathyrsus maximus* var. *maximus*. *Planta Daninha*, 33, 663-670. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582015000400004>
- Colla, G., Hoagland, L., Ruzzi, M. T., Cardarelli, M., Bonini, P., Canaguier, R., & Rouphael, Y. (2017). Biostimulant action of protein hydrolysates: Unraveling their effects on plant physiology and microbiome. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1-14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02202>
- Chanduvi-García, R., Sandoval-Panta, M. A., Peña-Castillo, R., Alva, J. J., Álvarez, L. Á., Quiroz-Calderón, M. V., ... & Morales-Pizarro, D. A. (2023). Biofertilizante y su Correlación entre Parámetros Productivos y de Calidad en Limón Sutil (*Citrus aurantifolia* Swingle). *Revista Terra Latinoamericana*, 41, 1-9 <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1685>
- Chura-Chuquija, J., & Tejada-Soraluz, J. (2014). Comportamiento de híbridos de maíz amarillo duro en la localidad de La Molina, Perú. *Idesia*, 32(1), 113-118. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292014000100014>
- Do Nascimento, G. R., Lopes, J. C., & Alexandre, R. S. (2022). Biometria e embebição de sementes de *Passiflora* spp. submetidas a tratamentos para superação de dormência tegumentar. *Research, Society and Development*, 11(2), e58911226107. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i2.26107>
- Escobar-Álvarez, J. L., Ramírez-Reynoso, O., Saguilán, P. C., Gutiérrez-Dorado, R., De los Ángeles Maldonado-Peralta, M., & Valenzuela-Lagarda, J. L. (2021). Viabilidad y germinación en semillas de maíz criollo del estado de Guerrero. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(2), 1-10.

- FAO (Food and Agriculture Organization). (2023). Cultivos y productos de ganadería. Consultada el 13 de julio, 2023, desde <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>
- Furutani, S. C., Zandstra, B. H., & Price, H. C. (1985). Low temperature germination of celery seeds for fluid drilling. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 110(2), 153-156. <https://doi.org/10.21273/JASHS.110.2.153>
- Galecio-Julca, M., Neira-Ojeda, M., Chanduvi-García, R., Peña-Castillo, R., Álvarez-Bernaola, L. A., Granda-Wong, C., ... & 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>
- Garbanzo-León, G., & Vargas-Gutiérrez, M. (2017). Actividad microbiana en sustratos y análisis de crecimiento en almácigos de tomate en Guanacaste, Costa Rica. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1), 159-169. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.6345>
- Geng, Y., Cao, G., Wang, L., & Wang, S. (2019). Effects of equal chemical fertilizer substitutions with organic manure on yield, dry matter, and nitrogen uptake of spring maize and soil nitrogen distribution. *Plos One*, 14(7), e0219512.
- Hussain, A., Zahir, Z. A., Ditta, A., Tahir, M. U., Ahmad, M., Mumtaz, M. Z., ... & 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), 39. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010039>
- Hussain, A., Arshad, M., Zahir, Z. A., & Asghar, M. (2015). Prospects of zinc solubilizing bacteria for enhancing growth of maize. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 52(4), 2-9.
- ImageJ (2014). *Image Processing and Analyse in Java, User's Guide*. Maryland, USA: ImageJ.
- Joshi, R., Singh, J., & Vig, A. P. (2015). Vermicompost as an effective organic fertilizer and biocontrol agent: effect on growth, yield and quality of plants. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 14, 137-159. <https://doi.org/10.1007/s11157-014-9347-1>
- Layne-Garsaball, J. A., & Méndez-Natera, J. R. (2007). Efectos de extractos acuosos de la maleza *Cyperus rotundus* L. (Cyperaceae) sobre la germinación de semillas y crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) cv. Pioneer 3031. *Revista Peruana de Biología*, 14(1), 55-60.
- Liu, M., Hu, F., Chen, X., Huang, Q., Jiao, J., Zhang, B., & Li, H. (2009). Organic amendments with reduced chemical fertilizer promote soil microbial development and nutrient availability in a subtropical paddy field: the influence of quantity, type and application time of organic amendments. *Applied Soil Ecology*, 42(2), 166-175. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.03.006>
- Llivicura, M. F., Rodríguez, J. H., Vásquez, L. M., Piña, J. C., Rocano, M. S., & Díaz, M.D. (2021). Influence of vermicompost and leakage on the germination of vegetables in a sodic soil. *Journal of Science and Research*, 6(2), 186-201. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5517938>
- Martínez-Rengel, A., Torres-Cedeño, M., Álvarez-Morejón, C., & 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>
- Martínez-Solís, J., Virgen-Vargas, J., Peña-Ortega M. G., & Santiago-Romero, A. (2010). Índice de velocidad de emergencia en líneas de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(3), 289-304.
- Morales-Pizarro, D., Javier-Alva, J., Álvarez, L., Peña-Castillo, R., Chanduvi-García, R., Granda-Wong, C., & Condori-Pacsi, S. (2022). 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). <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.4232>
- Natera, J. R. M., Pinto, J. F. M., & Mata, N. J. M. (2008). Relationship between imbibition rate and seed germination of corn, French bean and pigeonpea seeds. *Revista Científica UDO Agrícola*, 8(1), 61-66.
- Nicasio-Arzeta, S., Sánchez-Coronado, M. E., Orozco-Segovia, A., & Gamboa-de Buen, A. (2011). Efecto del precondicionamiento y el sustrato salino en la germinación y crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays*) raza Chalqueño. *Agrociencia*, 45(2), 195-205.
- Parra, M. V., Sobrero, M. T., & Pece, M. G. (2015). Solarización: una alternativa de control de malezas para viveristas. *Foresta Veracruzana*, 17(1), 9-16.
- Pérez-Luna, Y. D. C., Álvarez-Solís, J. D., Mendoza-Vega, J., Pat-Fernández, J. M., & Gomez-Alvarez, R. (2012). Influence of earthworm humus and biofertilizers in the growth and yield of maize. *Gayana Botánica*, 69, 15-22.
- Pooja, G. K., & Honnabyraiah, M. K. (2022). Impact of pre-sowing seed treatments on germination and seedling growth of different fruit crops: a review. *Pharma Innovation Journal*, 11, 470-478.
- Puerta, C. E., Russián, T., & Ruiz, C. A. (2012). Producción de plántulas de pimentón (*Capsicum annum* L.) en sustratos orgánicos a base de mezclas con fibra de coco. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(2), 298-306.
- Ramzani, P. M. A., Shan, L., Anjum, S., Ronggui, H., Iqbal, M., Virk, Z. A., & 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>
- Ruiz-Sánchez, E., Chan-Escalante, Z. F., Ballina-Gómez, H. S., Fernández-Herrera, M. A., & Góngora-Gamboa, C. J. (2022). Effect of biostimulants on the growth, foliar characteristics and population density of Bemisia tabaci in habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(1), 1-7. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3757>
- Salinas-Vásquez, F., Sepúlveda-Morales, L., & Sepúlveda-Chavera, G. (2014). Evaluación de la calidad química del humus de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) elaborado a partir de cuatro sustratos orgánicos en Arica. *Idesia (Arica)*, 32(2), 95-99. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292014000200013>
- SIAE (Sistema Integrado de Estadística Agraria). (2023). Perfil productivo y competitivo de los principales cultivos del sector. Consultada el 13 de diciembre, 2023, desde [https://siea.midagri.gob.pe/portal/siea\\_bi/index.html](https://siea.midagri.gob.pe/portal/siea_bi/index.html)
- Taveira, A. (2005). Fibra de coco: Una nueva alternativa para la formación de plantas. *Revista Brasileira de Reproducción de Plantas*, 28(5), 275-277.
- Valle-Moysén, R., Covarrubias-Prieto, J., Ramírez-Pimentel J. G., Aguirre-Mancilla, C. L., Iturriaga-de la Fuente, G., & Raya-Pérez, J. C. (2017). Efecto del osmocondicionamiento sobre la germinación del maíz tipo palomero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8, 307-319.
- Zagal-Tranquilino, M., Martínez-González, S., Salgado-Moreno, S., Escalera-Valente, F., Peña-Parra, B., & Carrillo-Díaz, F. (2016). Hydroponics maize green forage production with watering every 24 hours. *Abanico Veterinario*, 6(1), 29-34.