








Efecto de la eficacia de los microorganismos nativos y la composta en tres pisos altitudinales en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa*) variedad INIA 415-Pasankalla
Effect of native microorganism efficacy and compost in three altitudinal zones on quinoa crop (*Chenopodium quinoa*) variety INIA 415-Pasankalla

**Miguel Galecio-Julca¹ , María Neira-Ojeda¹ , Roger Chanduvi-García¹ ,
 Ricardo Peña-Castillo¹ , Luis Armando Álvarez-Bernaola² , Carlos Granda-Wong¹ ,
 David Lindo-Seminario³ , Elizabeth Saavedra-Alberca¹ , Javier Javier-Alva¹  y
 Arturo Morales-Pizarro¹ **

¹ Universidad Nacional de Piura, Campus Universitario. Urb. Miraflores s/n, Apartado Postal 295. 20002, Castilla, Piura, Perú.

² Universidad Nacional de Cañete, Casa de la cultura. Av. Mariscal Benavides, San Luis de Cañete. 15701 Cañete, Lima, Perú.

³ Estación Experimental Agraria Vista Florida. Subdirección de Recursos Genéticos de la Dirección de Recursos Genético y Biotecnología. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Carretera Chiclayo-Ferreñate km 8, Distrito Picsi. 14301 Chiclayo, Lambayeque, Perú.

† Autor para correspondencia (mgalecioj@unp.edu.pe)

Editora de Sección: Dra. Silvana Vero Méndez

RESUMEN

Los abonos orgánicos son una alternativa sostenible con el agroecosistema frente a los fertilizantes convencionales causantes de la contaminación de los recursos naturales. El objetivo fue determinar la eficacia de los microorganismos eficientes nativos (MEN) y de compost sobre el rendimiento y rentabilidad en el cultivo de quinua variedad INIA 415-Pasankalla en tres pisos altitudinales (Faical 1935 m de altitud, Lagunas Amarillas 2328 m de altitud. y Cascapampa 2995 m de altitud). Se evaluaron cinco tratamientos: T0 (testigo), T1 (MEN 2.5%), T2 (MEN 5.0%), T3 (MEN 2.5%+0.9 kg compost m⁻¹) y T4 (MEN 5.0%+1.8 kg compost m⁻¹), evaluando: AP (altura de planta), RHa (rendimiento hectárea⁻¹), RPa (rendimiento planta⁻¹), PP (peso de panoja), PMG (peso de mil granos) y DT (diámetro de tallo). Además, se analizó el beneficio/costo por tratamiento. Se realizó un análisis de componentes principales ACP, una comparación triple de ANOVA y un análisis de correlación. Con el ACP se obtuvo dos componentes (C1 y C2) explicando el 97.20% de la variabilidad del estudio. El Componente 1 (78.46%) explica la mayor variabilidad y agrupó variables: G-I (AP, DT), G-II (RHa, Rpa, PP). Los tratamientos T4 y T3 presentaron los mejores resultados en relación a la altitud: Lagunas Amarillas-T4 con G-I y Cascapampa-T4 con G-II presentaron los mayores valores del estudio. No obstante, Cascapampa-T2 fue el más rentable (b/c= 5.68). La mezcla combinada de los insumos orgánicos elaborados a partir de materias primas locales y aplicados en forma foliar y suelos presentes en T4, mejoró los rendimientos y la rentabilidad del cultivo de quinua en relación a la altitud.

Palabras clave: altitud, compost, rendimiento, insumo orgánico, insumo microbiano.

SUMMARY

Organic fertilizers are a sustainable alternative to conventional fertilizers that cause contamination of natural resources. The objective of this study is to determine the efficacy of native microorganisms (ENM) and compost on yield and profitability on the cultivation of quinoa variety INIA 415-Pasankalla in three altitudinal levels (Faical 1935 m altitude, Lagunas Amarillas 2328 m altitude and Cascapampa 2995 m altitude). Five treatments were evaluated: T0 (control), T1 (MEN 2.5%), T2 (MEN



Cita recomendada:

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. e1622. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1622>

Recibido: 24 de junio de 2022.

Aceptado: 21 de noviembre de 2022.

Artículo. Volumen 41.

Marzo de 2023.

5.0%), T3 (MEN 2.5%+0.9 kg compost m⁻¹) and T4 (MEN 5.0%+1.8 kg compost m⁻¹), considering: PA (plant height), RHa (yield per hectare), RPa (yield plant⁻¹), PP (panicle weight), PMG (thousand kernel weight) and DT (stem diameter). In addition, the benefit/cost per treatment was analyzed. A principal component analysis (PCA), three-way ANOVA comparison and correlation analysis were performed. The PCA yielded two components (C1 and C2) explaining 97.20% of the variability of the study. Component 1 (78.46%) explained the greatest variability and grouped the variables: G-I (AP, DT), G-II (RHa, Rpa, PP). Treatments T4 and T3 showed the best results in relation to altitude: Lagunas Amarillas-T4 with G-I and Cascapampa-T4 with G-II showed the highest study values. However, Cascapampa-T2 was the most profitable (b/c= 5,68). The combined mixture of organic inputs made from local raw materials and applied in foliar form, and the soils present in T4, improved the yields and profitability of the quinoa crop in relation to altitude.

Index words: altitude, compost, yield, organic input, microbial input.

INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa* wild-Caryophyllales: Amaranthaceae) es una especie cultivada y domesticada en los países altoandinos de Sudamérica (Bolivia, Ecuador y Perú), cuyo centro de origen es considerado la cuenca del Lago Titicaca (Aguilar, More, Rafael y Maldonado, 2020). El alto valor nutricional de este pseudo cereal provee al ser humano una gran cantidad de proteínas y minerales (magnesio, hierro, calcio, zinc y fósforo), los cuales ayudan a prevenir enfermedades cardiovasculares, cáncer de mama, diabetes y tuberculosis (García-Parra y Plazas-Leguizamón, 2018; Aguilar *et al.*, 2020). La creciente producción de quinua durante el 2019 al 2020 muestra al Perú como el mayor productor mundial de este cultivo con un total de 94 700 toneladas, seguido por Bolivia 68 600 toneladas y Ecuador 4 700 toneladas (FAOSTAT, 2021). Sin embargo, la escasa información de la nutrición orgánica obliga al agricultor a practicar una agricultura convencional, obteniendo parcialmente una buena producción y rentabilidad del cultivo; no obstante, el uso constante de agroquímicos, afecta la fertilidad química, física, microbiana y la salud del suelo (Aguilar-Ancocota, Arévalo, Morales y Galecio, 2021; Dries, Hendgen, Schnell, Löhnertz y Vorkamp, 2021). Por lo cual, es necesario la utilización de insumos orgánicos sólidos, líquidos o microbianos, que reduzcan el impacto producido por los agroquímicos en los agroecosistemas. El uso de microorganismos eficientes de montaña (MEM) o microorganismos eficientes nativos (MEN) es una alternativa fundamental para recuperar, mantener y mejorar la calidad de los suelos, y de esta manera influir positivamente en el desarrollo y la adaptabilidad de las plantas a los estreses bióticos o abióticos (Camacho-Céspedes, Uribe, Newcomer, Masters y Kinyua, 2018). Asimismo, el uso de insumos orgánicos elaborados con recursos o residuos locales, se vuelve una alternativa sostenible y económica frente a los fertilizantes convencionales, y ante los incrementos constantes de precios de esos insumos en el mercado nacional e internacional presentados en los últimos años (Gestión, 2021).

Por otro lado, el compostaje de los residuos orgánicos permite reutilizar estos recursos como abonos orgánicos en la agricultura permitiendo mejorar la actividad microbiana y la salud del suelo, así también, mejorar las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo, y de esta forma lograr de manera sostenida el incremento de la producción agrícola, proporcionando macro y micro nutrientes, y la producción de fitohormonas de crecimiento (auxinas, giberelinas, citoquinas) de manera constante a las plantas (Aung, Jiang y He, 2018). En el cultivo de la soja *Glycine max* L., la incorporación de estiércol de aves, aumenta la cantidad de

nutrientes disponibles en la solución del suelo, mejora la absorción de nutrientes e incrementa la cantidad de materia seca (Soremi, Adetunji, Adejuyigbe, Bodunde y Azeez, 2017).

Ramzani *et al.* (2017) mencionan que la incorporación de compost al suelo reduce el pH en la rizósfera, mejorando la disponibilidad de nutrientes e incrementando el crecimiento y rendimiento de las plantas. Los bioestimulantes como: ácidos húmicos (ácidos húmicos, fúlvicos y huminas), microorganismos benéficos (hongos y bacterias) obtenidos a partir de insumos orgánicos mejoran el crecimiento y rendimiento de la planta e incrementan la tolerancia y respuesta a los estreses bióticos y abióticos (Bulgari, Franzoni y Ferrante, 2019).

El cuidado del medio ambiente y de los recursos naturales (agua, suelo y aire) es fundamental para la agricultura agroecológica u orgánica (Tamayo-Ortiz y Alegre-Orihuela, 2022). Por tal motivo, el objetivo de esta investigación fue determinar la eficacia de los MEN y compost sobre el rendimiento y rentabilidad del cultivo de quinua en tres zonas altitudinales de la provincia de Huancabamba, Piura-Perú.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó de septiembre 2017 a marzo 2018 en tres pisos altitudinales de la provincia de Huancabamba, departamento de Piura -Perú (Cuadro 1): Faical a 1935 m de altitud, 5° 42' 32" S y 79° 47' 80" O; Lagunas amarillas a 2328 m de altitud, 5° 36' 23" S y 79°49'28" O; Cascapampa a 2995 m de altitud, 5° 33' 44" S y 79° 52' 13" O. Se realizó un análisis físico-químico en los diferentes sitios de estudio (Cuadro 1).

Aislamiento y Reproducción de Microorganismos Eficientes Nativos (MEN)

Los MEN fueron aislados en Cascapampa a 2995 m de altitud de restos vegetales (hojas, ramas, tallos) como la quinawiro (*Polylepis reticulata*), alisos (*Alnus acuminata*), Punzaros (*Weinmannia ayabacensis*) entre otros, encontrados en bosques de montaña. La reproducción de microorganismos se realizó mezclando en forma uniforme polvillo de arroz (10 kg) y hojarasca (30 kg) triturada teniendo partículas de 2×3 cm; posteriormente, se agregó una dilución 4:2:4:10 (4 L de melaza de caña: 2 L de yogurt: 4 L de suero de leche: 10 L de agua de pozo sin cloro), mezclándose

Cuadro 1. Análisis físico químico de los suelos en los diferentes pisos altitudinales.
Table 1. Physical-chemical analysis of soils at different altitudinal levels.

Determinaciones	Faical	Lagunas Amarillas	Cascapampa
Conductividad Eléctrica CE dS m ⁻¹	0.51	0.46	1.05
pH (1:2.5)	5.18	4.65	7.91
Calcáreo (CaCO ₃) %	0.00	0.00	1.44
Materia Orgánica %	0.69	0.12	0.48
N total %	0.03	0.01	0.02
P disponible mg kg ⁻¹	11.00	9.00	10.00
K asimilable mg kg ⁻¹	179.00	139.00	181.00
Clase textural	† Franco	†† Fco. - Arc.	§ Fco-Arc-Ao
Densidad aparente	1.37	1.34	1.37

† Fco = Franco, †† Arc = Arcilloso, § Ao = Arenoso.

† Fco = Loam, †† Arc = Clay, § Ao = Sandy.

uniformemente hasta obtener una humedad entre 40 y 60%. La mezcla se colocó dentro del envase de 100 L de capacidad; compactándose suavemente cada 15 cm, hasta 10 cm antes del nivel del envase, cerrándose herméticamente con una válvula de escape durante 15 a 20 días. Finalizado el proceso se evaluó la fermentación anaeróbica mediante la emisión de un olor agradable del fermentado y el color café claro del producto (Rodríguez-Calampa y Tafur-Torres, 2014; Galecio, Arteaga, Rojas y Peña, 2021).

Para la activación de MEN (microorganismos eficientes nativos) se colocó 5 kg de MEN, en un envase de 20L conteniendo una dilución de 1:10 (1 L de melaza y 10 L de agua de pozo sin cloro). Posteriormente, se cerró el envase dejando una válvula de escape conectada para la liberación manual de los gases generados, durante 7 días.

Preparación de Compost

El compost se realizó en Cascapampa a 2995 m de altitud, para su elaboración se usó hojarasca 70%, estiércol de cuy (*Cavia porcellus* L.) 15% y estiércol de gallinas (gallinaza) (*Gallus domesticus*) 15%. La hojarasca fue picada hasta obtener un tamaño 2×2 cm, posterior, se mezcló y humedeció en forma uniforme con el estiércol de cuy y la gallinaza acumulándose en una ruma o pequeñas montañas de material vegetal. Cada 15 días la ruma era volteada y humedecida, durante 3 meses.

Análisis de MEN y Compost

Se realizó el análisis microbiológico de los MEN activados y del compost (Cuadro 2) en el laboratorio de Sanidad Vegetal de la Universidad Nacional de Piura (UNP), y el análisis químico del compost fue realizado en el Departamento Académico de Suelos de UNP obteniéndose: pH de 7.12; conductividad eléctrica CE (dS m⁻¹) 3.68; materia orgánica (%) 28.50; N (%) 0.98; P₂O₅ (%) 0.43; K₂O (%) 0.19.

Tratamientos y Parámetros a Evaluar

Las semillas se sembraron a chorro continuo en surcos distanciados a 0.9 m con una profundidad de 1 a 2 cm, empleando 12 kg de semilla ha⁻¹. El campo experimental empleado fue de 336 m² y una parcela experimental de 22.4 m².

A los 18 días después de la siembra (DDS) se realizó un raleo de plántulas, dejando 12 plantas m⁻¹. Los tratamientos: T0 (testigo), T1 (MEN 2.5%), T2 (MEN 5.0%), T3 (MEN 2.5%+0.9 kg compost m⁻¹) y T4 (MEN 5.0%+1.8 kg compost m⁻¹), fueron incorporados 4 veces en campo durante: la siembra a 0 DDS, desarrollo vegetativo a 25 DDS, inicio de la floración a 55 DDS, y en el llenado del grano a 85 DDS en el cultivo de quinua variedad INIA 415-Pasankalla. La aplicación de MEN se realizó mediante aplicaciones en forma de drench 0.25 L m⁻¹. Los parámetros evaluados fueron: la altura de planta (AP) en cm, rendimiento por hectárea (RHa) en Mg ha⁻¹, rendimiento por planta (RPa) en kg planta⁻¹, peso de panoja (PP) en g, peso de mil granos (PMG) en g, y diámetro de tallo (DT) en mm (Galecio *et al.*, 2021).

Cuadro 2. Análisis microbiológico de los insumos orgánicos.

Table 2. Microbiological analysis of organic inputs.

No	Muestra	Bacterias	Actinobacterias	Hongos, levaduras
----- ufc g ⁻¹ -----				
1	MEN activados	4.2×10 ⁵	4.20×10 ³	2.1×10 ³
2	Compost	2.28×10 ⁷	4.35×10 ⁴	1.0×10 ⁵

UFC (unidades formadoras de colonia) aerobias en compost y anaerobios en MEN.

CFU (colony forming units) aerobic in compost and anaerobic in MEN (efficacy of native microorganisms).

Análisis Estadístico y Económico

Se realizó un diseño en bloques completamente al azar (DBCA) con cinco tratamientos distribuidos en tres bloques y 10 plantas por unidad experimental con un total de 150 unidades experimentales. Los datos fueron analizados usando los softwares estadísticos SPSS versión 25 (IBM SPSS Statistics, 2017) y R-studio (versión 3.12) para Windows 10 (R Core Team, 2020), los cuales permitieron determinar si cumplían los criterios de pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) y correlación (Spearman).

Los valores medios de los tratamientos fueron procesados a través de un análisis multivariado de componentes principales con representación figura biplot (Reyes-Pérez, Enríquez, Ramírez, Rodríguez y Rivero, 2019), para establecer la relación de las variables y los tratamientos, en los diferentes centros poblados. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con una comparación múltiple de medias media de Tukey (p -value = 0.05).

Por último, se realizó el análisis económico del estudio, calculando la rentabilidad (Samuelson y Nordhaus, 2009) mediante la fórmula: $CP=Pi \times A$, donde CP son los costos de producción, Pi es el precio de la actividad o insumo, y A es la actividad; $IT=Pp \times Rc$, donde IT son los ingresos totales, PP es el precio del producto, y Rc es el rendimiento del cultivo; $B=IT-CP$, donde B es el beneficio o utilidad. Así también, se calculó la rentabilidad con la relación beneficio/costo, mediante la expresión $B/C=IT/CP$ (Díaz-Franco, Alvarado, Alejandro y Ortiz, 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de Correlación Cuantitativa

Los resultados generados del análisis de correlación con Spearman se indican en la Figura 1. Se encontró una correlación positiva con diferencias altamente significativa ($P \leq 0.001$) entre seis variables de crecimiento y productividad, medidas en los tres pisos altitudinales del cultivo de quinua *C. quinoa* en Piura. La altura de planta (AP) tuvo una correlación moderada positiva con DT ($r=0.56$. $P \leq 0.001$). Por otro lado, el rendimiento por hectárea (RHa) presentó una correlación positiva con: Rpa ($r=0.75$. $P \leq 0.001$) y PP ($r=0.73$. $P \leq 0.001$). De la misma manera, el rendimiento por planta (Rpa) presentó una correlación altamente positiva con PP ($r=0.84$. $P \leq 0.001$). Finalmente, en este estudio se revela que la correlación del peso de panoja (PP) presentó correlación positiva con PMG ($r=0.52$. $P \leq 0.001$) y DT ($r=0.55$. $P \leq 0.001$).

Análisis de Componentes Principales (PCA)

La Figura 2 (Biplot) permitió describir las interacciones existentes entre los pisos altitudinales, los tratamientos descritos en el Cuadro 3 y 4, y las diferentes variables evaluadas. Los resultados demostraron relaciones positivas entre las variables y la aplicación de MEN y de compost evaluados en las plantas de quinua, con independencia a los pisos altitudinales sobre todo cuando se aplicaron en dosis de T3-MEN 2.5%+0.9 kg compost m^{-1} y T4 - MEN 5.0%+1.8 kg compost m^{-1} .

A través de este análisis, se logró la caracterización de los elementos de la muestra que formaron dos nuevas variables o componentes principales CP; componente I (78.46%) y componente II (18.74%), representando el 97.20% de la variabilidad del estudio. El componente I demuestra una mayor contribución de los datos analizados. Por el grado de relación, se definieron dos grupos de variables. El primer grupo, en el que se encuentran variables relacionadas con la altura de la planta (AP) y su diámetro (DT). Mientras que el segundo grupo, integrado por rendimiento por hectárea (Rha), rendimiento por planta (Rpa) y peso de panoja (PP), tuvo una relación muy estrecha entre sus variables, en comparación a la variable AP, DT y PMG.

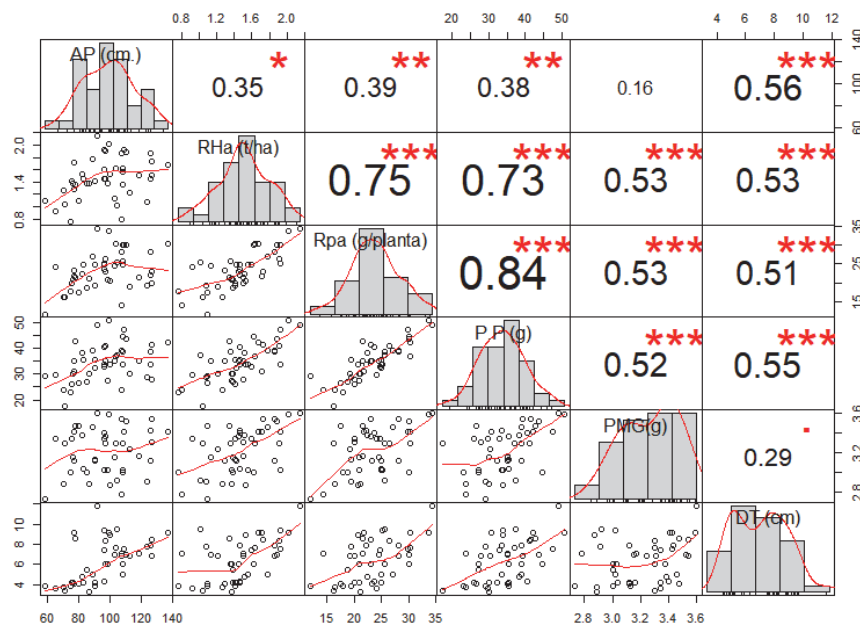


Figura 1. Análisis de correlación Spearman entre variables de cosecha del cultivo de quinua en tres pisos altitudinales en Piura-Perú. AP = altura de planta; RHa = rendimiento por hectárea; RPa = rendimiento por planta; PP = peso de panoja; PMG = peso de mil granos; DT = diámetro de tallo. * ($P \leq 0.05$) débil diferencia significativa; ** ($P \leq 0.01$) moderada diferencia significativa; *** ($P \leq 0.001$) fuerte diferencia significativa; ns ($P > 0.05$) no significativa.

Figure 1. Spearman correlation analysis between harvest variables of the quinoa crop at three altitudinal levels in Piura-Peru. AP = plant height; RHa = yield per hectare; RPa = yield per plant; PP = panicle weight; PMG = thousand grain weight; DT = stem diameter; * ($P \leq 0.05$) weak significant difference; ** ($P \leq 0.01$) moderate significant difference; *** ($P \leq 0.001$) strong significant difference; ns ($P > 0.05$) not significant.

Esto indica que no siempre la aplicación de MEN (T1 y T2) ejercen un efecto positivo sobre las plantas de quinua cuando son aplicados individualmente, dado a que requieren la incorporación de compost (T3 y T4) como fuente de macro y micronutrientes esenciales para su interacción con la planta y condiciones edafoclimáticas de las zonas altitudinales estudiadas.

Efectos de Tratamientos y Sitos de Estudio en Variables de Rendimiento

En el Cuadro 1 se presentan los resultados obtenidos en laboratorio de los análisis fisicoquímicos de los tres pisos altitudinales. En el Cuadro 2 muestra el análisis microbiológico de los insumos orgánicos.

En altura de planta (AP) y el diámetro del tallo (DT) el tratamiento T4 (MEN 5.0%+1.8 kg compost m^{-1}) presentó los mayores valores, sin diferencias significativas con el T3 (MEN 2.5%+0.9 kg compost m^{-1}). A partir del tratamiento T2 (MEN 5.0%) se presentó un efecto positivo creciente en especial en el T1 (MEN 2.5%) (Cuadro 3).

En relación con los sitios de estudio en la altura de planta (AP) los tratamientos presentaron diferencias significativas. Así los mejores resultados se evidenciaron en Lagunas Amarillas a 2328 m de altitud seguido de Cascapampa a 2995 m de altitud con los tratamientos T4 y T3. Sin embargo, el Testigo T0 (sin aplicación) presentó los menores resultados (Cuadro 3).

En el diámetro de Tallo (DT) los tratamientos T4 y T3 presentan los mejores resultados en Lagunas Amarillas-T4 y Cascapampa-T4. El efecto combinado MEN y compost influye en forma positiva sobre las variables evaluadas (Cuadro 3).

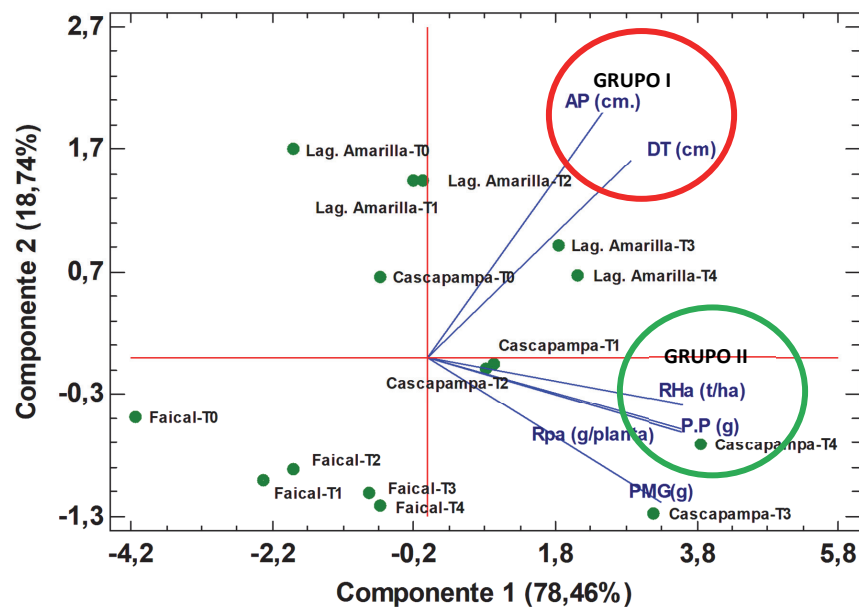


Figura 2. Análisis de componentes principales en la evaluación de insumos orgánicos en el cultivo de quinua en tres pisos altitudinales: Faical, Lagunas Amarillas y Cascapampa. Cinco parámetros/variables: AP = altura de planta; RHa = rendimiento por hectárea; RPa = rendimiento por planta; PP = peso de panoja; PMG = peso de mil granos; DT = diámetro de tallo.

Figure 2. Principal component analysis in the evaluation of organic inputs in quinoa cultivation at three altitudinal levels: Faical, Lagunas Amarillas and Cascapampa 2995. Five parameters/variables: AP = plant height; RHa = yield per hectare; RPa = yield per plant; PP = panicle weight; PMG = thousand grain weight; DT = stem diameter.

Los pisos altitudinales tuvieron una marcada diferencia en los parámetros de rendimiento de los diferentes tratamientos con influencias positivas en las variables evaluadas por los diferentes tratamientos con insumos orgánicos, obteniendo los mejores resultados en T4 (MEN 5.0%+1.8 kg compost m⁻¹) y T3 (MEN 2.5%+0.9 kg compost m⁻¹). El aprovechamiento de los residuos orgánicos locales mediante el compostaje enriquecido con MEN como alternativa de fertilización y en particular el efecto observado en el rendimiento de quinua, en otros estudios han sido explicados por un incremento en la microbiota del suelo, con mejoras en las propiedades físico-químicas del suelo y por una mayor disponibilidad de macro y micronutrientes para las plantas (Camacho- Céspedes *et al.*, 2018).

En los abonos orgánicos, se presentan ácidos húmicos (ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas) los cuales se han relacionado con el incremento del número de hojas, diámetro de tallo en semilleros de *Capsicum* (Ruiz-Sánchez, Chan, Ballina, Fernández y Góngora, 2022). Así también, estos ácidos húmicos están relacionados en la regulación de genes responsables del transporte de nitrógeno en el crecimiento de la planta (Colla *et al.*, 2017)

El-Sheref (2020) señala que la aplicación a partir de 15 Mg ha⁻¹ de compost en quinua (*Chenopodium quinoa* Wild) incrementa significativamente altura de la planta, peso seco planta⁻¹, número de hojas planta⁻¹ en un 23.0, 25.6, 27.0% respectivamente; referente al testigo, demostrando de esta manera una respuesta positiva al incrementar la cantidad de compost en el suelo.

Las variables del Grupo II fueron sometidas a un análisis de varianza de clasificación triple ($P < 0.05$) en los diferentes pisos altitudinales estudiados; donde el peso de panoja (PP), rendimiento por planta (Rpa) y rendimiento por ha (RHa) presentaron los mejores resultados con los tratamientos T4 (MEN 5.0%+1.8 kg compost m⁻¹), y T3 (MEN 2.5%+0.9 kg compost m⁻¹) sin diferencias significativas e incrementándose en

Cuadro 3. Análisis de varianza para las variables de crecimiento pertenecientes al Grupo I.
Table 3. Analysis of variance for the growth variables that belong to Group I.

Tratamientos	Altura de Planta (AP)	Diámetro de Tallo (DT)
	cm	mm
Faical-T0	68.43±8.28 d	3.73±0.29 c
Faical-T1	75.60±13.08 cd	3.77±0.15 c
Faical-T2	81.30±4.83 bcd	3.83±0.46 c
Faical-T3	83.03±6.73 abcd	4.4±0.35 bc
Faical-T4	85.00±10.67 abcd	4.23±0.06 bc
Lag. Amarillas-T0	106.23±7.15 abcd	6.67±0.59 abc
Lag. Amarillas-T1	109.77±14.83 abcd	7.6±1.13 abc
Lag. Amarillas-T2	112.90±14.40 abcd	7.43±0.35 abc
Lag. Amarillas-T3	116.23±16.4 ab	8.07±0.29 ab
Lag. Amarillas-T4	120.07±21.10 a	9.03±0.47 a
Cascapampa-T0	95.63±9.50 abcd	7.00±2.18 abc
Cascapampa-T1	96.47±16.25 abcd	7.10±1.87 abc
Cascapampa-T2	97.83±17.87 abcd	7.03±1.79 abc
Cascapampa-T3	99.67±10.45 abcd	7.03±2.05 abc
Cascapampa-T4	102.63±9.48 abcd	8.73±2.67 a

(*) Letras diferentes en cada columna indica la existencia de diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

(*) Different letters in each column indicate the existence of significant differences ($P \leq 0.05$).

relación a su altitud entre el 45 y 43% respectivamente comparadas con el testigo. El tratamiento Cascapampa-T4 a 2995 m de altitud, presentó los mayores valores en PP 45.21±5.33 g; Rpa 30.8±3.22 g y RHa 1.98±0.15 (Mg ha⁻¹) (Cuadro 4).

En el piso ecológico Cascapampa ubicado a 2995 m de altitud, el tratamiento T4 (MEN 5.0%)+1.8 kg compost m⁻¹ alcanzó el mejor rendimiento con 1.98 Mg ha⁻¹; estos resultados son similares a los obtenidos por Palao-Iturregui, Canaza y Beltrán (2019) con un rendimiento de 2.3 Mg ha⁻¹ con el uso de MEN en una producción agroecológica de quinua en Puno a 3850 m de altitud, mostrando de esta manera que hay una mejor respuesta del cultivo con insumos orgánicos en relación a su altitud.

Tanya-Morocho y Leiva-Mora (2019) determinaron que los MEN aumentan la actividad fotosintética en los cultivos y, la capacidad para absorber agua y nutrientes (fijar nitrógeno, solubilizar P, K, Mn, entre otros), mejorando la estructura físico-química de los suelos, y la supresión de agentes fitopatógenos. Marca-Ocaña (2017¹) comentó que la incorporación de materia orgánica durante la etapa de crecimiento, incrementa la actividad microbiana, la disponibilidad y solubilidad de macro y micronutrientes, como resultado de la descomposición del material orgánico.

Las bacterias promotoras del crecimiento en plantas o rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal son importantes en el complejo planta-rizósfera-microorganismo, e importante en la activación de genes de resistencia en el hospedante (Dries *et al.*, 2021). Los géneros *Bacillus*, *Streptomyces* y *Trichoderma* son microorganismos relacionados a la inhibición de hongos patógenos en uva de mesa; encontrados en forma natural en la rizosfera de viñedos de Piura con

¹ Marca-Ocaña, C. A. (2017). Efecto de la aplicación de microorganismos eficaces (EM1) con diferentes frecuencias en el rendimiento de ají amarillo (*Capsicum baccatum*) var. Pacae en el CEA III Los Pichones. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann-TACNA. Disponible en <http://redi.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/1875>

Cuadro 4. Análisis de varianza triple para las variables de rendimiento pertenecientes al Grupo II.
Table 4. Three-way analysis of variance for Group II performance variables.

Tratamientos	Peso de panoja (PP)	Rendimiento por planta (Rpa)	Rendimiento por hectárea (RH _a)
	G	g	Mg ha ⁻¹
Faical-T0	23.20±5.90 d	15.36±3.11 d	0.96±0.18 e
Faical-T1	29.71±5.80 bcd	19.97±3.88 cd	1.20±0.25 cde
Faical-T2	30.59±4.22 abcd	20.59±2.90 bcd	1.25±0.14 cde
Faical-T3	33.61±4.26 abcd	22.71±2.02 abcd	1.44±0.07 abcd
Faical-T4	34.00±7.47 abcd	22.92±2.51 abcd	1.44±0.03 abcd
Lag. Amarillas-T0	27.12±3.26 cd	18.11±3.39 cd	1.13±0.30 de
Lag. Amarillas-T1	32.31±3.80 abcd	21.8±2.47 abcd	1.39±0.22 bcde
Lag. Amarillas-T2	32.41±3.16 abcd	21.90±2.70 abcd	1.39±0.28 bcde
Lag. Amarillas-T3	37.82±3.90 abcd	25.60±3.15 abc	1.74±0.25 abc
Lag. Amarillas-T4	39.19±4.60 abc	26.10±3.70 abc	1.78±0.13 abc
Cascapampa-T0	33.22±5.39 abcd	22.40±3.43 abcd	1.28±0.24 cde
Cascapampa-T1	37.79±4.52 abcd	25.63±4.42 abc	1.51±0.15 abcd
Cascapampa-T2	38.10±6.90 abcd	25.81±4.08 abc	1.57±0.19 abcd
Cascapampa-T3	44.43±5.90 ab	30.24±3.31 ab	1.89±0.12 ab
Cascapampa-T4	45.21±5.33 a	30.80±3.22 a	1.98±0.15 a

(*) Letras diferentes en cada columna indica la existencia de diferencias significativas ($P < 0.05$).

(*) Different letters in each column indicate the existence of significant differences ($P < 0.05$).

antecedentes de buenos rendimientos (Morales-Pizarro *et al.*, 2022a). Asimismo, aislados nativos de *Trichoderma* y *Bacillus*, han incrementado más del 40% la longitud del brote en uva de mesa 30 días después de ser inoculadas comparados con el testigo (Morales-Pizarro *et al.*, 2022b). Además, se ha demostrado que cepas de ciertas bacterias anaerobias obligadas o facultativas tales como: *Azospirillum* spp., *Clostridium pasteurianum*, *Klebsiella* spp., *Desulfovibrio* spp., y otras aerobias obligadas pertenecientes a los generos: "*Azotobacter* y *Beijerinckia*" (Bautista-Cruz y Martínez-Gallegos, 2020), promueven el crecimiento de las plantas de dos formas mediante la asimilación y captación de N₂ molecular, brindando a la solución del suelo compuestos nitrogenados asimilables por los vegetales (Mantilla-Lara, Villalba y Oviedo, 2007) fijando entre 30 a 40 kg N ha⁻¹ año⁻¹ (Chalk, 1991) o mediante la síntesis y liberación de fitohormonas de crecimiento como; ácido salicílico, auxinas, citoquininas y giberelinas (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2014; Bautista-Cruz y Martínez-Gallegos, 2020)

Análisis Económico en Tres Pisos Altitudinales

El análisis económico del estudio demuestra que la mayor rentabilidad se presenta en Cascapampa-T2 (MEN 5.0%), alcanzando un beneficio-costo de 5.68 (Cuadro 5). Además, todos tratamientos con los diferentes insumos orgánicos mostraron un incremento de la rentabilidad >35% respecto al testigo T0.

El tratamiento T4 en Cascapampa obtuvo el mayor rendimiento y rentabilidad en este estudio. Palao-Iturregui *et al.* (2019) obtuvieron 3 Mg ha⁻¹ de grano en el ecotipo "Negra Collana" (quinua) con 15% de microorganismos eficientes (ME) e incrementaron los microorganismos del suelo como: actinomiceto, Bacterias aerobias, *Lactobacillus* y levaduras en la región Puno a 3850 m de altitud demostrando de esta manera que

Cuadro 5. Análisis económico en la producción de quinua en tres pisos altitudinales en Piura-Perú.
Table 5. Economic analysis of quinoa production at three altitudinal levels in Piura-Peru.

Tratamiento	Rendimiento	Costo de producción totales	Ingresos totales	Utilidad	Beneficio/Costo
	kg ha ⁻¹	----- \$ -----			
Faical-T0	963.33	675.76	2408.33	1732.57	2.56
Faical-T1	1200.00	712.12	3720.00	3007.88	4.22
Faical-T2	1250.00	727.27	3875.00	3147.73	4.33
Faical-T3	1440.00	937.88	4464.00	3526.12	3.76
Faical-T4	1443.33	1021.21	4474.32	3453.11	3.38
Lag. Amarillas-T0	1130.00	675.76	2825.00	2149.24	3.18
Lag. Amarillas-T1	1390.00	712.12	4309.00	3596.88	5.05
Lag. Amarillas-T2	1393.33	727.27	4319.32	3592.05	4.94
Lag. Amarillas-T3	1743.33	937.88	5404.32	4466.44	4.76
Lag. Amarillas-T4	1780.00	1021.21	5518.00	4496.79	4.40
Cascapampa-T0	1280.00	675.76	3200.00	2524.24	3.74
Cascapampa-T1	1513.33	712.12	4691.32	3979.20	5.59
Cascapampa-T2	1566.67	727.27	4856.68	4129.40	5.68
Cascapampa-T3	1893.33	937.88	5869.32	4931.44	5.26
Cascapampa-T4	1980.00	1021.21	6138.00	5116.79	5.01

Precio al 2019 de quinua convencional \$ 2.50 (T0) y orgánica \$ 3.10 (T1, T2, T3, T4).
 2019 Conventional quinoa price \$ 2.50 USD (T0) and organic quinoa \$3.10 (T1, T2, T3, T4).

el cultivo de quinua responde positivamente a una mayor altitud y con incorporación de los ME. Los resultados obtenidos en los tratamientos T3 y T4 en cada piso altitudinal fueron superiores al rendimiento nacional promedio 1.38 Mg ha⁻¹ (MIDAGRI, 2019).

Este tipo de mecanismo de acción y otros asociados al uso de MEN y compost pueden explicar el efecto observado en el rendimiento de quinua en los diferentes pisos altitudinales estudiados en Piura-Perú.

CONCLUSIONES

El efecto en el rendimiento de quinua se asocia a la altitud y a la combinación de insumos orgánicos (MEN y compost) en Piura-Perú; siendo, el tratamiento Cascapampa-T4 a 2995 msnm el que presenta los mayores valores. Por otro lado, Cascapampa-T2 alcanzó un mayor beneficio-costo de 5.68, siendo una alternativa sustentable hacia una agricultura orgánica u agroecológica.

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.

FONDOS

No aplicable.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización e idea principal: M.G.J. Métodos, trabajo de campo y Análisis de muestras: M.N.O., R.C.G., y R.P.G. Escritura, preparación de borrador original: L.A.B., C.G.W., D.L.S., y E.S.A. Escritura, revisión y edición: J.J.A., y A.M.P.

AGRADECIMIENTOS

No aplicable.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Ancocota, R., Arévalo-Quinde, C. G., Morales-Pizarro, A., & Galecio-Julca, M. (2021). Hongos asociados a la necrosis de haces vasculares en el cultivo de banano orgánico: síntomas, aislamiento e identificación y alternativas de manejo integrado. *Scientia Agropecuaria*, 12(2), 249-256. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.028>
- Aguilar, R., More-Yarlequé, M. M., Rafael-Rutte, R., & Maldonado, E. (2020). Inductores de defensa en el control del mildiu (*Peronospora variabilis* Gaum.) en el cultivo de quinua: Detección, epidemiología, síntomas, características y control. *Scientia Agropecuaria*, 11(4), 555-563. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.04.11>
- Aung, K., Jiang, Y., & He, S. Y. (2018). The role of water in plant-microbe interactions. *The Plant Journal*, 93(4), 771-780. <https://doi.org/10.1111/tpj.13795>
- Bautista-Cruz, A., & Martínez-Gallegos, V. (2020). Promoción del crecimiento de *Agave potatorum* Zucc. por bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 555-567. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.647>
- 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>
- Camacho-Céspedes, F., Uribe-Lorío, L., Newcomer, Q., Masters, K., & Kinyua, M. (2018). Bio-optimización del compost con cultivos de microorganismos de montaña (MM) y lodos digeridos de biodigestor (LDBIO). *Cuadernos de Investigación UNED*, 10(2), 330-341. <http://dx.doi.org/10.22458/urj.v10i2.2163>
- Chalk, P. M. (1991). The contribution of associative and symbiotic nitrogen fixation to the nitrogen nutrition of non-legumes. *Plant Soil*, 132, 29-39. <https://doi.org/10.1007/BF00011009>
- Colla, G., Hoagland, L., Ruzzi, M. T., Cardarelli, M., Bonini, P., Canaguier, R., & Roupheal, Y. (2017). Biostimulant action of protein hydrolysates: Unraveling their effects on plant physiology and microbiome. *Frontiers in Plant Science*, 8, 2202. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02202>
- Díaz-Franco, A., Alvarado-Carrillo, M., Alejandro-Allende, F., & Ortiz-Chairez, F. E. (2017). Uso de abono orgánico y micorriza arbuscular en la producción de repollo. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 16(1), 15-21. <https://doi.org/10.5154/r.rchsa.2017.02.003>
- Dries, L., Hendgen, M., Schnell, S., Löhnertz, O., & Vortkamp, A. (2021). Rhizosphere engineering: leading towards a sustainable viticulture. *Oeno One*, 55(2), 353-363. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2021.55.2.4534>
- El-Sheref, G. F. (2020). Influence of Nitrogen Sources and Levels Along with Different Levels of Compost on Quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd.) Productivity Grown in Newly Reclaimed Soils. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 11(7), 315-323. <https://dx.doi.org/10.21608/jssae.2020.109596>
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database). (2021). *Crops and livestock products*. Consultado el 15 de abril, 2022, desde, <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>
- Galecio, M., Arteaga, M., Rojas, B., & Peña, R. (2021). Biofertilización con microorganismos eficientes de montaña para producción de café especiales resilientes al cambio climático provincia de San Ignacio. *Revista Científica Pakamuros*, 9(2), 58-72. <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v9i2.182>
- García-Parra, M. Á., & Plazas-Leguizamón, N. Z. (2018). La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en los sistemas de producción agraria. *Producción+Limpia*, 13(1), 112-119. <https://doi.org/10.22507/pml.v13n1a6>

- Gestión (2021). Precios de canasta básica aumentarán a inicio de 2022 por alto costo de fertilizantes. Consultado el 15 de abril, 2022, desde <https://gestion.pe/economia/precios-de-canasta-basica-aumentaran-a-inicio-de-2022-por-alto-costo-de-fertilizantes-noticia/>
- Hernández-Rodríguez, A. N., Rives-Rodríguez, N., Acebo-Guerrero, Y., Díaz-de la Osa, A., Heydrich-Pérez, M., & Divan-Baldani, V. L. (2014). Potencialidades de las bacterias diazotróficas asociativas en la promoción del crecimiento vegetal y el control de *Pyricularia oryzae* (Sacc.) en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.). *Revista Protección Vegetal*, 29, 1-10.
- IBM SPSS Statistics. (2017). *Statistical Package for the Social Sciences User's Guide. version 25*. Armonk, NY, USA: IBM Corp.
- Mantilla-Lara, C., Villalba-Anaya, M., & Oviedo-Zumaqué, L. E., (2007). Bacterias fijadoras asimbióticas de nitrógeno de la zona agrícola de San Carlos. Córdoba. Colombia. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 9(2), 6-14.
- MIDAGRI (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú). (2019). Sistema integrado de estadística agraria. Consultado el 15 de abril, 2022, desde <http://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojNzEzNTU2MmUtY2EzZC00YjQ2LTg5YzUtYzJjODRhZjg5NGY5IiwidCI6IjdmMDg0NjI3LTdmNDAtNDg3OS04OTE3LTk0Yjg2ZmQzNWYzZiJ9>
- Morales-Pizarro, D., Javier-Alva, J., Álvarez, L., Mayta-Obos, R., Aguilar-Ancocota, R., Peña-Castillo, R., ... Lindo-Seminario, D. (2022a). Isolation, identification and in vitro evaluation of native isolates of *Bacillus*, *Trichoderma* and *Streptomyces* with potential for the biocontrol of grapevine trunk fungi. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(2), 1-10. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.4206>
- Morales-Pizarro, D., Javier-Alva, J., Álvarez, L., Peña-Castillo, R., Chanduvi-García, R., Granda-Wong, C., ... Condori-Pacsi, S. (2022b). In vivo control of *Phaeoacremonium parasiticum* with native antagonists *Bacillus*, *Trichoderma* and *actinomycetes* and their growth promoting effect in grapevine. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 25(3). <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.4232>
- Palao-Iturregui, L. A., Canaza-Cayo, A. W., & Beltrán-Barriga, P. A. (2019). Producción agroecológica de ecotipos de quinua de colores (*Chenopodium quinoa* Willd.) con microorganismos eficaces. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 21(3), 173-181. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2019.475>
- Ramzani, P. M., Shan, L., Anjum, S., Khan, W. D., Ronggui, H., Iqbal, M., ... 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>
- R Core Team (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Reyes-Pérez, J. J., Enríquez-Acosta, E. A., Ramírez-Arrebató, M. Á., Rodríguez-Pedroso, A. T., & Rivero-Herrada, M. (2019). Respuesta de plántulas de cultivares de tomate a la aplicación de quitosano. *Centro Agrícola*, 46(4), 21-29.
- Rodríguez-Calampa, N. Y., & Tafur-Torres, Z. K. L. (2014). Producción de Microorganismos de Montaña para el Desarrollo de una Agricultura Orgánica. *Centro de Investigación de Ingeniería Ambiental*, 4, 1-1.
- 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.
- Samuelson, P. A., & Nordhaus, W. D. (2009). *Economía*. (19 Ed.). Madrid, España: McGraw-Hill. ISBN: 9788448151546
- Soremi, A. O., Adetunji, M. T., Adejuyigbe, C. O., Bodunde, J. G., & Azeez, J. O. (2017). Influence of organic manure on phosphorus and potassium fractions in soil planted with soybean. *International Journal of Plant and Soil Science*, 14(2), 1-11. <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2017/30445>
- Tamayo-Ortiz, C. V., & Alegre-Orihuela, J. C. (2022). Asociación de cultivos, alternativa para el desarrollo de una agricultura sustentable. *Siembra*, 9(1), 1-21. <https://doi.org/https://doi.org/10.29166/siembra.v9i1.3287>
- Tanya-Morocho, M., & Leiva-Mora, M. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro Agrícola*, 46(2), 93-103.