

Influência do esterco de cuy e de microrganismos eficientes no crescimento e na qualidade de mudas de mamoeiro andino (*Carica pubescens*) em viveiro

Influence of Guinea Pig Manure and Effective Microorganisms on the Growth and Quality of Andean Papaya (*Carica pubescens*) Seedlings in the Nursery

Influencia del estiércol de cuy y de microorganismos eficientes en el crecimiento y la calidad de plantones de papaya andina (*Carica pubescens*) en vivero

 Julio César Sosa Choque^{1,*},  Dison Lizardo Bustinza Arpita¹,  Grover Bailon Cornejo Condori¹,
 Mara Rubia Cibien Costa Cornejo² y  Ali William Canaza-Cayo^{1,3}

Resumo

O mamoeiro andino (*Carica pubescens*) é uma frutífera nativa dos Andes, de alto valor nutricional e comercial, cuja produção enfrenta limitações pela escassez de mudas de qualidade, associada ao uso de substratos pobres em nutrientes e à aplicação limitada de bioinsumos. Com o objetivo de identificar alternativas sustentáveis para a produção de mudas vigorosas, avaliou-se o efeito de diferentes adubos orgânicos e de microrganismos eficientes (EM) sobre o desenvolvimento morfológico, a qualidade fisiológica e a rentabilidade econômica em viveiro. O experimento foi conduzido sob delineamento em blocos casualizados (DBC), com quatro tratamentos: esterco fermentado (T1), EM foliar (T2), esterco + EM (T3) e um controle com solo agrícola (T4), em três repetições. Avaliaram-se altura, número de folhas, diâmetro do caule, área foliar e comprimento radicular, além de uma análise econômica por tratamento. Os resultados mostraram diferenças altamente significativas ($p < 0,01$), com coeficientes de variação inferiores a 12 %, evidenciando adequada precisão experimental. O tratamento T3 destacou-se, registrando o maior comprimento de raiz, área foliar e diâmetro de caule, o que sugere um efeito sinérgico entre o aporte nutricional do esterco e a atividade microbiana dos EM. Embora T1 tenha obtido a maior rentabilidade econômica (1,47), T3 também apresentou elevado retorno (1,37). Os resultados demonstram que a integração de esterco de cuy com EM melhora significativamente o crescimento e a qualidade das mudas de *Carica pubescens*, constituindo uma estratégia agroecológica viável e sustentável para os viveiros andinos.

Palavras-chave: análise de custo, bioinsumos, esterco de cuy, microrganismos eficientes, mamoeiro andino.

Abstract

The Andean papaya (*Carica pubescens*) is a fruit species native to the Andes, with high nutritional and commercial value, whose production faces limitations due to the scarcity of high-quality seedlings, associated with the use of nutrient-poor substrates and the limited application of bioinputs. Aiming to identify sustainable alternatives for producing vigorous seedlings, the effect of different organic fertilizers and Effective Microorganisms (EM) on morphological development, physiological quality, and economic profitability in the nursery was evaluated. The experiment was conducted under a randomized complete block design (RCBD), with four treatments: fermented manure (T1), foliar EM (T2), manure + EM (T3), and an agricultural soil control (T4), in three replications. Height, number of leaves, stem diameter, leaf area, and root length were evaluated, along with an economic analysis per treatment. The results showed highly significant differences ($p < .01$), with coefficients of variation below 12%, indicating adequate experimental precision. Treatment T3 stood out, recording the greatest root length, leaf area, and stem diameter, suggesting a synergistic effect between the nutritional contribution of the manure and the microbial activity of EM. Although T1 obtained the highest economic profitability (1.47), T3 also showed a high return (1.37). The results demonstrate that integrating guinea pig manure with EM significantly improves the growth and quality of *Carica pubescens* seedlings, constituting a viable and sustainable agroecological strategy for Andean nurseries.

Keywords: cost analysis, bioinputs, guinea pig manure, effective microorganisms, Andean papaya.

Resumen

La papaya andina (*Carica pubescens*) es una frutal nativa de los Andes, de alto valor nutricional y comercial, cuya producción enfrenta limitaciones por la escasez de plantones de calidad, asociada al uso de sustratos pobres en nutrientes y a la aplicación limitada de bioinsumos. Con el objetivo de identificar alternativas sostenibles para la producción de plantones vigorosos, se evaluó el efecto de diferentes abonos orgánicos y de microorganismos eficientes (EM) sobre el desarrollo morfológico, la calidad fisiológica y la rentabilidad económica en vivero. El experimento se condujo bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA), con cuatro tratamientos: estiércol fermentado (T1), EM foliar (T2), estiércol + EM (T3) y un control con suelo agrícola (T4), en tres repeticiones. Se evaluaron altura, número de hojas, diámetro del tallo, área foliar y longitud radicular, además de un análisis económico por tratamiento. Los resultados mostraron diferencias altamente significativas ($p < 0,01$), con coeficientes de variación inferiores al 12 %, evidenciando adecuada precisión experimental. El tratamiento T3 destacó, registrando la mayor longitud de raíz, área foliar y diámetro de tallo, lo que sugiere un efecto sinérgico entre el aporte nutricional del estiércol y la actividad microbiana de los EM. Aunque T1 obtuvo la mayor rentabilidad económica (1,47), T3 también presentó un elevado retorno (1,37). Los resultados demuestran que la integración de estiércol de cuy con EM mejora significativamente el crecimiento y la calidad de los plantones de *Carica pubescens*, constituyendo una estrategia agroecológica viable y sostenible para los viveros andinos.

Palabras clave: análisis de costo, bioinsumos, estiércol de cuy, microorganismos eficientes, papaya andina.

Recebido: 12/04/2026

Aceito: 09/08/2026

Publicado: 18/08/2026

Seção: Artigo Original

*Autor correspondente: jcsosa02@gmail.com

Introdução

A agricultura mundial enfrenta o desafio de aumentar a produção de alimentos com menor impacto ambiental, promovendo sistemas sustentáveis que utilizem recursos locais e reduzam a dependência de insumos sintéticos (FAO, 2021). Nesse cenário, os fertilizantes orgânicos têm ganhado destaque por melhorarem a fertilidade do solo e favorecerem a saúde do agroecossistema (Yamanishi et al., 2004). No Peru, especialmente na região andina,

¹Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

²Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas de Viana (FESAV), Brasil

³Departamento de Estatística, Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal de Lavras, Brasil.

Como citar: Sosa Choque, J. C., Bustinza Arpita, D. L., Cornejo Condori, G. B., Cibien Costa Cornejo, M. R., & Canaza-Cayo, A. W. (2026). Influência do esterco de cuy e de microrganismos eficientes no crescimento e na qualidade de mudas de mamoeiro andino (*Carica pubescens*) em viveiro. *Revista de Investigaciones Altoandinas–Journal of High Andean Research*, 28, e28818. <https://doi.org/10.18271/ria.2026.818>



Attribution 4.0 Internacional (CC BY 4.0) Share–Adapt

a papayita andina (*Carica pubescens* Lenné & K. Koch.) constitui um recurso agrícola de grande valor nutricional e econômico, com produção estimada acima de 5000 toneladas anuais, concentrada em Puno, Cusco e Junín (MINAGRI, 2019), sendo apreciada por seu teor de vitaminas e enzimas proteolíticas (IICA, 2017).

Entretanto, o avanço do cultivo é limitado pela baixa qualidade das mudas, cuja fase de viveiro é determinante para o desenvolvimento inicial e produtividade das plantas (Minami, 1995). A avaliação morfológica - altura, diâmetro, área foliar e raízes depende diretamente da fertilidade do substrato (Hartmann et al., 2011). Nessa perspectiva, fertilizantes orgânicos como o esterco de cuy e os Microrganismos Eficazes (ME) surgem como alternativas promissoras. O esterco de cuy apresenta alta disponibilidade de nutrientes e relação C/N favorável (Calero-Rios et al., 2025), enquanto os ME, compostos por consórcios microbianos benéficos, promovem crescimento vegetal e suprimem patógenos por meio de solubilização de nutrientes, produção de fitohormônios e melhoria estrutural do substrato (Higa

& Parr, 1994; Yang et al., 2024). Evidências indicam que os ME melhoram o desenvolvimento de mudas em diversas espécies (Hari & Bindu, 2024).

Apesar desses avanços, há escassez de estudos que avaliem o efeito combinado de esterco de cuy e ME na produção de mudas de *Carica pubescens* em condições andinas, especialmente na província de Sandia, Puno. Assim, o estudo justifica-se pela necessidade de tecnologias acessíveis para otimizar a fase de viveiro. O objetivo geral foi avaliar o uso de esterco de cuy e microrganismos eficazes na produção de mudas de papaya andina, considerando variáveis morfológicas e de crescimento.

Materiais e métodos

Área Experimental

O estudo foi realizado em um viveiro localizado no distrito de Sandia, província de Sandia, região de Puno, Peru (451291 E; 8417265 N; 2220 m de altitude), sob condições controladas com uma tela de cobertura.

Tabela 1
Fatores em estudo com seus respectivos tratamentos

Tratamento	Características	Dosagem
T1	Esterco de cuy fermentado	35 g/saco de esterco (equivalente a 25 t/ha)
T2	Microrganismos eficientes ativados (EMa)	2,5 L de EMa/18 L de água, aplicado a cada 7 dias durante 3 meses
T3	Esterco de cuy fermentado + EMa	35 g/saco de esterco + 2,5 L de EMa/18 L de água (aplicado a cada 7 dias durante 3 meses)
T4	Testemunha (somente solo agrícola)	Sem aplicação

Delineamento experimental

A pesquisa foi conduzida sob um delineamento em blocos casualizados (DBC), com 4 tratamentos e 3

repetições (Gomez & Gomez, 1984), totalizando 12 unidades experimentais.

Tabela 2
Distribuição do campo experimental

Descrição	Dimensões (comprimento x largura)	Área (m²)	Detalhes
Unidade Experimental (Parcela)	4 m x 3 m	12	20 plantas por parcela (16 avaliadas). Separação de 1 m entre unidades.
Bloco (Repetição)	19 m x 3 m	57	Composto por 4 unidades experimentais. Total de 3 blocos.
Área Experimental Total	19 m x 11 m	209	Inclui a totalidade dos blocos e das separações.

Dimensões do campo experimental

O campo experimental foi estabelecido em uma área com condições controladas e uniformes, adequadas para o desenvolvimento das mudas. As parcelas foram distribuídas de maneira equitativa, garantindo a representatividade dos tratamentos e minimizando a influência de fatores ambientais externos sobre as variáveis avaliadas.

Condução do experimento

O experimento utilizou um substrato formulado a partir de análises prévias do solo e de esterco de cuy decomposto, aplicado na dosagem de 25 t ha⁻¹ (35 g por saco com 2 kg de solo), com ou sem adição de microrganismos eficazes ativados (EMa). A área experimental (12 m²) foi demarcada com gesso e fita métrica, mantendo-se ruas de 1 m entre blocos. Sementes de *Carica pubescens*, com

83% de germinação, foram desinfestadas com benomil, semeadas em sacos de 2 kg e cobertas com 2 cm de substrato; o desbaste aos 30 dias deixou uma plântula por recipiente. O EM-1 foi ativado com melaço e água fermentada por sete dias, sendo aplicado via foliar a cada sete dias durante 90 dias, a partir dos 15 dias após a emergência. Ao longo do cultivo, realizaram-se capinas manuais e não houve registro de pragas ou doenças. Aos 90 dias, avaliaram-se altura de planta, diâmetro do caule, número de folhas, área foliar, comprimento da raiz e custo de produção.

Avaliação de Variáveis e Análise Estatística

Aos 90 dias após a emergência, avaliaram-se os principais atributos morfológicos de qualidade de mudas conforme critérios de Grossnickle & MacDonald (2018). As variáveis analisadas incluíram: altura da planta, medida do colo ao ápice; diâmetro do caule, obtido com paquímetro digital na altura do colo; número de folhas completamente expandidas; área foliar, estimada por método indireto ou integrador de área; e comprimento da raiz principal, medido após a extração cuidadosa do torrão.

Para determinar a qualidade fisiológica e estrutural das mudas, calculou-se o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), que integra parâmetros de biomassa, altura e diâmetro, proporcionando uma medida equilibrada da robustez das plantas (Dickson et al., 1960). A fórmula empregada foi:

$$IQD = PST / [(A/D) + (PSA/PSR)]$$

Onde:

PST = peso seco total (g), A = altura da planta (cm), D = diâmetro do caule (cm), PSA = peso seco da parte aérea (g), PSR = peso seco radicular (g).

Um maior valor de IQD indica mudas mais equilibradas e vigorosas, refletindo uma melhor relação entre o crescimento aéreo e o desenvolvimento radicular.

Análise Econômica

Para a análise econômica, estimaram-se os custos de produção por tratamento, considerando insumos, materiais e mão de obra. Os cálculos foram baseados nas equações propostas pela FAO (2019): $CT = CF + CV$

$$IT = P_y \times Y$$

$$IN = IT - CT$$

$$GSI = \frac{IN}{CT}$$

Onde:

CT = custo total, CF = custo fixo, CV = custo variável, IT = ingresso total, P_y = preço de venda por unidade, Y = produção (unidade experimental), IN = ingresso líquido, GSI = ganho por sol investido.

Os resultados econômicos foram expressos em função do benefício/custo (B/C), permitindo comparar a rentabilidade relativa entre tratamentos com diferentes combinações de esterco e EM.

Análise Estatística

Os dados das variáveis morfológicas foram analisados por meio de ANOVA para verificar diferenças entre os tratamentos. Como todas as variáveis apresentaram elevada significância ($p < 0,01$), aplicou-se o teste de Tukey para distinguir as médias e o teste de Dunnett para comparar cada tratamento com a testemunha. As análises foram realizadas no R (R Core Team, 2023).

Resultados

Variáveis Morfológicas

Os tratamentos influenciaram de forma altamente significativa ($p < 0,01$) todas as variáveis morfológicas avaliadas, com coeficientes de variação inferiores a 9%, o que confirma a precisão experimental de acordo com Bowman e Watson (1997), Bowman (2001) e Pimentel-Gomes (2009) (Tabela 3).

Tabela 3

Resumo da análise de variância e teste de ANOVA ($p \leq 0,05$) para variáveis morfológicas de mudas de mamoeiro andino (*Carica pubescens*) sob aplicação de adubos orgânicos.

Var. ¹	F(t) ²	p-valor ³	Sig. ⁴	CV ⁵ (%)	MG ⁶ (̄)	Tratamento com maior resposta	Méd ⁷	O/M ⁸ (Dunnett vs. Padrão T4)
Área foliar (cm ²)	135.84	<0.0001	**	8.19	60.43	T3	96.98 a	T3 > T4, T1 > T4, T2 = T4
Altura de planta (cm)	130.47	<0.0001	**	8.58	15.06	T1	23.06 a	T1 > T4, T3 > T4, T2 = T4
Número de folhas (unid.)	16.52	0.0026	**	7.37	6.88	T1	8.00 a	T1 > T4, T3 > T4, T4 = T2
Diâmetro do caule (cm)	10.44	0.0085	**	8.44	0.80	T3	0.96 a	T3 > T4, T1 > T4, T2 = T4

Var.¹ = Variável

F(t)² = F (tratamento) da ANOVA

p-valor³ = p-valor

Sig.⁴ = Significância

CV⁵ (%) = Coeficiente de Variação

MG⁶ (̄) = Média Geral

Méd⁷ = Média

O/M⁸ (Dunnett) = Ordem de Mérito segundo teste de Dunnett

Para a área foliar, o tratamento T3 (esterco de cuy + EM) registrou o valor mais alto (96,98 cm²), superando os demais tratamentos e o controle. A altura de planta foi superior em T1 (esterco fermentado de cuy, 25 t/ha), com média de 23,06 cm. O número de folhas completamente expandidas também foi maior em T1 (8,00 folhas). O diâmetro do caule atingiu seu maior valor em T3 (0,96 cm). O tratamento T4 (controle, apenas solo agrícola) apresentou os menores valores em todas as variáveis avaliadas.

O teste de Dunnett confirmou que T3 superou significativamente o controle em todas as variáveis,

enquanto T1 também evidenciou melhorias notáveis e T2 apresentou efeitos parciais.

Comprimento Radicular

O comprimento radicular apresentou diferenças significativas entre os tratamentos ($F = 10,2$; $p = 0,009$; CV não informado). O tratamento T3 (esterco de cuy + EM) obteve a média mais elevada (26,82 cm), seguido por T2 (EM foliar, 23,77 cm), T1 (esterco fermentado, 22,87 cm) e T4 (controle, 15,46 cm). Pelo teste de comparação de médias, T3 e T2 não diferiram entre si (letra a), assim como T1 e T4 (letra b) (Tabela 4).

Tabela 4

Análise estatística e comparação de médias para o comprimento de raízes em função de diferentes tratamentos

Fonte de Variação	GL	SC	CM	F	p-valor	Trat.	Média (cm)	Sig. $\leq 0,05$
Blocos	2	5.95	2.98	0.44	0.6659	—	—	—
Tratamentos	3	209.23	69.74	10.2	0.009	T3	26.82	a
						T2	23.77	a
						T1	22.87	b
						T4	15.46	b
Erro Experimental	6	41.01	6.84	—	—	—	—	—
Total	11	256.20	—	—	—	—	—	—

GL = Graus de liberdade

SC = Soma de quadrados

CM = Quadrado médio

F = Valor do teste F

p-valor = Probabilidade associada ao teste F

Trat. = Tratamento

Média (cm) = Média do comprimento de raízes

Sig. $\leq 0,05$ = Diferença significativa ao nível de 5%

Letras iguais (a, b) = Médias estatisticamente semelhantes pelo teste de comparação de médias

T1 = Esterco fermentado de cuy (25 t/ha)

T2 = Microorganismos Eficazes aplicados foliarmente

T3 = Esterco de cuy (25 t/ha) + ME

T4 = Solo agrícola (testemunha)

Índice de Qualidade de Dickson (IQD)

Nesta análise incluem-se apenas os tratamentos T1 e T3, pois foram aqueles que apresentaram o melhor desempenho agrônômico e dispuseram da informação completa de biomassa necessária para calcular o IQD. O tratamento T3 (esterco + EM) apresentou peso seco total de 9,7 g, altura de 21,79 cm, diâmetro de caule de 0,96

cm, peso seco aéreo de 5,8 g e peso seco radicular de 3,9 g, resultando em IQD de 1,68. O tratamento T1 (esterco fermentado) apresentou peso seco total de 8,5 g, altura de 23,06 cm, diâmetro de caule de 0,85 cm, peso seco aéreo de 5,2 g e peso seco radicular de 3,3 g, resultando em IQD de 1,52 (Tabela 5).

Tabela 5

Índice de Qualidade de Dickson (IQD) ou Índice de Esbeltez (IE) para avaliar a robustez geral das mudas

Tratamento	Peso seco total (g)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Peso aéreo (g)	Peso radicular (g)	IQD
T1	8.5	23.06	0.85	5.2	3.3	1.52
T3	9.7	21.79	0.96	5.8	3.9	1.68

Peso seco total (g): soma da biomassa seca aérea e radicular.

Altura (cm): comprimento desde o colo até o ápice da muda.

Diâmetro (cm): espessura do caule medida na altura do colo.

Peso aéreo (g): biomassa seca da parte aérea.

Peso radicular (g): biomassa seca do sistema radicular.

IQD: Índice de Qualidade de Dickson, indicador integrado de vigor e robustez da muda.

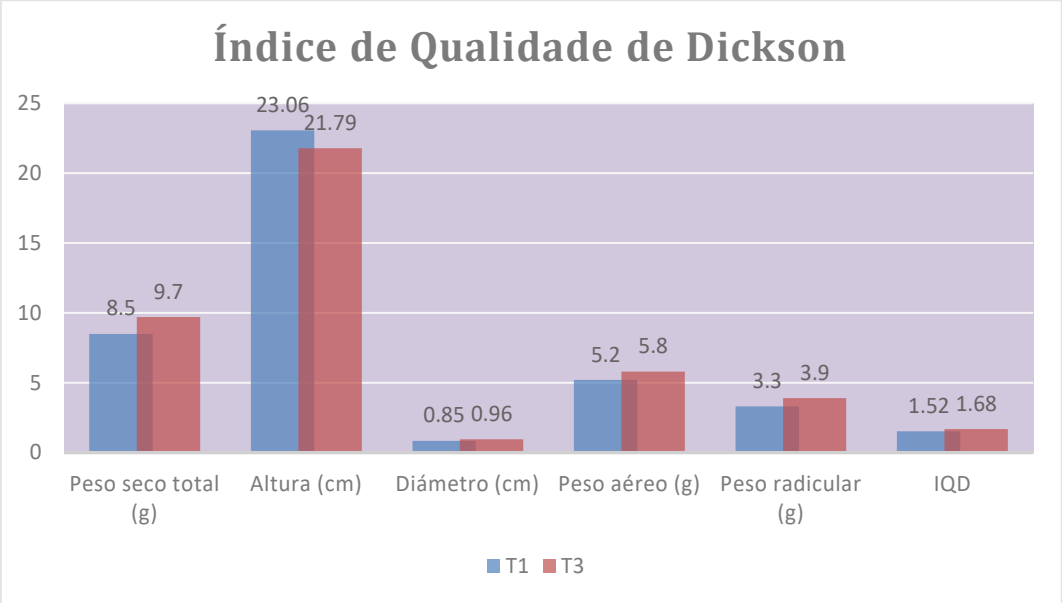
O gráfico de barras (Figura 1) mostra de maneira clara como as plântulas respondem a cada tratamento e evidencia com facilidade a superioridade do T3 na maioria das variáveis avaliadas. As barras mais altas

associadas a esse tratamento, especialmente no peso seco total, no peso aéreo, no peso radicular e no IQD, refletem sua capacidade de produzir plantas mais equilibradas e vigorosas. Embora o T1 supere ligeiramente os demais

na altura de planta, o desempenho geral do T3 revela uma resposta fisiológica mais estável e completa. Em conjunto, o gráfico respalda o observado nas análises

estatísticas e confirma que o T3 se posiciona como a opção mais eficiente para obter plântulas com maior vigor e melhor potencial de estabelecimento em campo.

Figura 1
Gráfico de barras indicando o Índice de Qualidade de Dickson (IQD)



Análise Custo-Benefício

Os indicadores econômicos obtidos na produção de mudas de *Carica pubescens* sob diferentes tipos de adubos orgânicos mostraram que os tratamentos T1 (esterco fermentado de cuy, 25 t ha⁻¹) e T3 (esterco de cuy + EM) foram os mais rentáveis, alcançando ganhos líquidos

de S/ 26.342,4 e S/ 25.313,4, respectivamente. O ganho sobre o investimento (GSI) foi de 1,47 para T1 e 1,37 para T3. Em contraste, os tratamentos T2 (EM foliar) e T4 (apenas solo agrícola) geraram receitas muito baixas, com ganhos que mal ultrapassaram S/ 2.000 e retornos de apenas 0,11 e 0,13, respectivamente (Tabela 6).

Tabela 6
Análise de custo-benefício derivada da produção de mudas de mamoeiro andino

Tratamento	CT	IT	IN	GSI
T4 = Substrato apenas solo agrícola	16 464	18 522	2 058	0,13
T3 = Esterco de cuy (25 t/ha) + EM®	18 522	43 835,4	25 313,4	1,37
T2 = Microrganismos Eficazes (EM®) ativado e aplicado foliarmente a cada 7 dias por 3 meses	17 081	18 933,6	1 852,2	0,11
T1 = Esterco fermentado de cuy (25 t/ha)	17 905	44 247	26 342,4	1,47

CT = Custo total
IT = Ingresso total (receita total)
IN = Ingresso líquido (lucro líquido)
GSI = Ganho por sol investido (razão benefício/custo)

Discussão

Efeito Sinérgico do Esterco de Cuy e dos Microrganismos Eficientes

A análise das variáveis morfológicas evidenciou efeitos altamente significativos dos tratamentos sobre o início do crescimento de *Carica pubescens*. O melhor desempenho foi observado na área foliar, onde o tratamento T3 (esterco de cuy + EM) registrou o valor mais alto e superou claramente o controle e o uso isolado de EM, resultado que coincide com o apontado por Higa e Parr (1994), Hari e Bindu (2024) e Calero-Rios et al. (2025) quanto à ação sinérgica entre matéria

orgânica e consórcios microbianos para melhorar a disponibilidade de nutrientes e a eficiência fotossintética. A resposta das mudas mostrou um padrão claro: a maior altura e o maior número de folhas apareceram em T1, evidenciando como o esterco fermentado proporciona uma nutrição mais equilibrada que impulsiona o crescimento vegetativo. Esse comportamento coincide com o descrito por Meza et al. (2015), Hartmann et al. (2011) e pela FAO (2021), que explicam que os estercos enriquecem a estrutura do substrato e facilitam a disponibilidade de macro e micronutrientes, criando um ambiente mais favorável ao desenvolvimento. Da mesma forma, o diâmetro do caule atingiu seu maior valor em

T3, reforçando o papel dos microrganismos eficientes em melhorar a assimilação de nutrientes e estimular a síntese de fitohormônios como auxinas e giberelinas, conforme descrito por Higa e Parr (1994) e por Khan, Bano e Zandi (2018). A comparação com o controle mostrou claramente que o tratamento T4, composto apenas por solo agrícola, registrou os menores valores em todas as variáveis, o que evidencia as limitações de um substrato com baixa disponibilidade de nutrientes e reduzida atividade microbiana, como assinalam Valenzuela-Estrada et al. (2008). Os resultados do teste de Dunnett reforçam essa tendência: T3 superou significativamente o controle em todas as variáveis, enquanto T1 também evidenciou melhorias notáveis e T2 apresentou efeitos parciais. Esse comportamento coincide com o proposto por Askary et al. (2016) e Mahanty et al. (2017), que destacam que uma fonte orgânica de carbono é essencial para estimular a atividade microbiana e potencializar as respostas fisiológicas das plantas.

Arquitetura Radicular e Eficiência Fotossintética

A avaliação conjunta do comprimento radicular e da área foliar mostra um comportamento altamente coerente na resposta das mudas frente aos diferentes fertilizantes orgânicos, o que coincide com o proposto por Valenzuela-Estrada et al. (2008) acerca da estreita relação entre um bom desenvolvimento de raízes e um crescimento aéreo mais eficiente. Em ambas as variáveis observa-se que os tratamentos que incorporam microrganismos eficientes, seja de forma isolada ou combinados com esterco de cuy, geram respostas superiores, resultado que se ajusta à evidência sobre os efeitos positivos dos micróbios promotores de crescimento descritos por Higa e Parr (1994) e por Khan, Bano e Zandi (2017).

No caso do comprimento radicular, o tratamento T3 (esterco de cuy + EM) obteve a média mais elevada, seguido pelo T2 (EM aplicado foliarmente), o que sugere que a ação dos microrganismos benéficos fortalece a expansão e a funcionalidade do sistema radicular. Esse comportamento é congruente com o indicado por Dumroese et al. (2018) e Du et al. (2024), que explicam que os EM contribuem para a solubilização de nutrientes, melhoram a estrutura física do substrato e estimulam a produção de fitohormônios que favorecem o crescimento das raízes. A mesma tendência se reflete na área foliar, onde o T3 volta a destacar-se com os valores mais altos, apresentando uma planta com maior capacidade de desenvolver superfície fotossintética, em consonância com os princípios fisiológicos descritos por Taiz et al. (2017) sobre a conexão entre nutrição, arquitetura radicular e desenvolvimento foliar.

O tratamento T4, composto unicamente por solo agrícola, apresentou os valores mais reduzidos tanto no comprimento de raízes quanto na área foliar, evidenciando que um substrato carente de matéria orgânica e de microvida limita seriamente o desenvolvimento vegetal.

Essa limitação coincide com o descrito por Bowman (2001) e Gómez-Godínez (2023), que destacam que substratos pobres em nutrientes e microrganismos geram plantas com menor vigor estrutural e fisiológico.

Por sua vez, o tratamento T1 (esterco fermentado) alcançou valores intermediários, o que confirma que a matéria orgânica, por si só, já proporciona melhorias importantes no crescimento. Contudo, os resultados também mostram que a combinação dessa fonte orgânica com microrganismos eficientes amplifica significativamente os benefícios, como destacado por Higa e Parr (1994) e Khan, Bano e Zandi (2017). Em conjunto, os achados evidenciam que a planta atinge uma maior eficiência fisiológica quando desenvolve simultaneamente um sistema radicular mais robusto e uma expansão foliar mais ampla, condição que se manifestou com maior clareza no tratamento T3, onde o esterco de cuy enriquecido com EM proporcionou o melhor equilíbrio entre absorção de recursos e produção de biomassa, concordando com o proposto por Dumroese et al. (2018).

Robustez Fisiológica e Qualidade de Muda

Ao avaliar em conjunto os indicadores de qualidade, especialmente o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), evidencia-se claramente que o tratamento combinado T3 (esterco + EM) supera o uso isolado de esterco (T1). Embora T1 tenha produzido mudas ligeiramente mais altas, o T3 foi mais eficiente ao gerar maior biomassa total, um caule mais robusto e, sobretudo, um IQD notavelmente superior (1,68 frente a 1,52).

Esse resultado possui grande relevância agrônoma, uma vez que o IQD é considerado um indicador integral de vigor e um preditor confiável do desempenho após o transplante, conforme explicam Dickson et al. (1960) e Gomes et al. (2002). Um valor mais elevado de IQD reflete um melhor equilíbrio entre a parte aérea e o sistema radicular, sugerindo que as mudas tratadas com T3 apresentam uma arquitetura mais compacta, menor tendência ao estiolamento e maiores reservas fisiológicas para enfrentar o estresse inicial do transplante. Isso contrasta com as mudas do T1, que direcionaram uma maior proporção de energia para a elongação, conforme descrito por Hunt (1990).

O gráfico de barras (Figura 1) mostra de maneira clara como as plântulas respondem a cada tratamento e evidencia com facilidade a superioridade do T3 na maioria das variáveis avaliadas. As barras mais altas associadas a esse tratamento, especialmente no peso seco total, no peso aéreo, no peso radicular e no IQD, refletem sua capacidade de produzir plantas mais equilibradas e vigorosas. Embora o T1 supere ligeiramente os demais na altura de planta, o desempenho geral do T3 revela uma resposta fisiológica mais estável e completa. Em conjunto, o gráfico respalda o observado nas análises estatísticas e confirma que o T3 se posiciona como a

opção mais eficiente para obter plântulas com maior vigor e melhor potencial de estabelecimento em campo.

Viabilidade Econômica

Os indicadores econômicos obtidos na produção de mudas de *Carica pubescens* sob diferentes tipos de adubos orgânicos mostram com clareza que os tratamentos T1 (esterco fermentado de cuy, 25 t ha⁻¹) e T3 (esterco de cuy + EM) foram os mais rentáveis, alcançando ganhos líquidos de S/ 26.342,4 e S/ 25.313,4, respectivamente. Isso se reflete também no ganho sobre o investimento (GSI), onde T1 obteve um retorno de 1,47 e T3 de 1,37 por cada sol investido. Em contraste, os tratamentos T2 (EM foliar) e T4 (apenas solo agrícola) geraram receitas muito baixas, com ganhos que mal ultrapassaram S/ 2.000 e retornos de apenas 0,11 e 0,13 por sol investido.

Esses resultados evidenciam que o uso de adubos orgânicos sólidos contribui de maneira decisiva para a rentabilidade, principalmente devido ao seu efeito positivo e contínuo sobre a fertilidade do substrato, o desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, a qualidade das mudas, o que aumenta seu valor comercial. Essa tendência coincide com o relatado por Santos et al. (2021), que demonstraram que a integração de esterco compostado com biofertilizantes melhora a disponibilidade de nutrientes e reduz os custos de fertilização química, elevando as margens econômicas em sistemas hortícolas.

O tratamento T1 destacou-se como o mais rentável, possivelmente por seu baixo custo de produção e por sua eficácia como fonte de matéria orgânica e nutrientes essenciais especialmente nitrogênio e fósforo que impulsionam a formação de raízes e biomassa foliar, conforme indicam Márquez-Hernández et al. (2020). Contudo, o T3 também apresentou um desempenho econômico notável, já que a combinação de esterco com EM favorece a mineralização e a disponibilidade de nutrientes graças à atividade microbiana, conforme explicam Higa e Parr (1994), proporcionando um bom equilíbrio entre custo e benefício.

Por outro lado, o uso exclusivo de EM foliar (T2) e o substrato sem correção (T4) revelaram-se economicamente pouco viáveis. A ausência de uma base orgânica limita a atividade microbiana, a estrutura do substrato e a disponibilidade de nutrientes, o que resulta em mudas menos vigorosas e de menor valor comercial, em consonância com o exposto por Sousa et al. (2018).

Conclusões

Os bioinsumos geraram diferenças altamente significativas em todas as variáveis morfológicas avaliadas, confirmando que os tratamentos influenciaram de maneira direta o crescimento das plântulas.

O tratamento T3 (esterco + EM®) registrou os valores mais altos em área foliar, diâmetro do caule

e comprimento radicular, evidenciando o melhor desempenho fisiológico integral.

O tratamento T1 (esterco fermentado) alcançou os maiores valores em altura de planta e número de folhas, demonstrando um efeito sólido sobre o desenvolvimento da parte aérea.

O T3 obteve o maior Índice de Qualidade de Dickson, indicando plântulas mais equilibradas e vigorosas em relação à biomassa aérea e radicular.

O T1 foi o tratamento mais rentável, seguido do T3, enquanto T2 e T4 apresentaram baixos lucros e pouca relação custo-benefício.

Contribuição dos autores

Julio César Sosa Choque: conceituação, metodologia, análise formal, redação do esboço original, revisão e edição, e supervisão. *Dison Lizardo Bustinza Arpita*: investigação, curadoria de dados e recursos (trabalho de campo e coleta de dados morfológicos). *Grover Bailon Cornejo Condori*: análise formal, software e visualização (análise estatística em R e elaboração de figuras). *Mara Rubia Cibien Costa Cornejo*: análise econômica, revisão e edição. *Ali William Canaza-Cayo*: metodologia, validação, revisão e edição. Todos os autores leram, revisaram e aprovaram a versão final do manuscrito.

Referências

- Askary, M., Amirjani, M. R., & Saberi, T. (2016). Comparison of the effects of nano-iron fertilizer with iron-chelate on growth parameters and some biochemical properties of *Catharanthus roseus*. *Journal of Plant Nutrition*, 40(7), 974–982. <https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1262399>
- Bowman, D.T. (2001) Common use of the CV: a statistical aberration in crop performance trials (Contemporary Issue). *J. Cotton Sci.* 5:137-141. <https://cotton.org/journal/2001-05/2/upload/jcs05-137.pdf>
- Bowman, D.T., y C.E. Watson. (1997) Measures of validity in cultivar performance trials. *Agron. J.* 89:860-866.
- Calero-Rios, E., Borbor-Ponce, M., Lastra, S., & Solórzano, R. (2025). Guinea Pig Manure and Mineral Fertilizers Enhance the Yield and Nutritional Quality of Hard Yellow Maize on the Peruvian Coast. *Agrochemicals*, 4(2), 6. <https://doi.org/10.3390/agrochemicals4020006>
- Dickson, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960). Quality Appraisal of White Spruce and White Pine Seedling Stock in Nurseries. *The Forestry Chronicle*. 36(1): 10-13. <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>
- Du, P., Cao, Y., Liu, H., Ji, J., Sun, W., Zhang, X., Xu, J., & Liang, B. (2024). Dopamine improves apple replant disease resistance by regulating physiological

- resilience and rhizosphere microbial community structure. *Journal of Integrative Agriculture*, 23(7), 2102–2115. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2024.07.011>
- Dumroese, R. K., Keyes, C. R., & Matt, C. P. (2018). Biochar effects on the nursery propagation of four northern Rocky Mountain native plant species. *Native Plants Journal*, 19, 14–26. <https://doi.org/10.1139/npi-2018-0024>
- FAO. (2019). El estado mundial de la biodiversidad para la alimentación y la agricultura. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Roma. <https://n9.cl/zbiuvq>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2019). Guía de análisis costo-beneficio (Guía práctica). FAO. Recuperado de: <https://n9.cl/92wilu>
- Gomez, K.A. and Gomez, A.A. (1984) *Statistical Procedures for Agricultural Research*. 2nd Edition, John Wiley and Sons, New York, 680 p.
- Gómez-Godínez, L. J., Aguirre-Noyola, J. L., Martínez-Romero, E., Arteaga-Garibay, R. I., Ireta-Moreno, J., & Ruvalcaba-Gómez, J. M. (2023). A Look at Plant-Growth-Promoting Bacteria. *Plants*, 12(8), 1668. <https://doi.org/10.3390/plants12081668>
- Grossnickle, S. C., & MacDonald, J. E. (2018). Seedling Quality: History, Application, and Plant Attributes. *Forests*, 9(5), 283. <https://doi.org/10.3390/f9050283>
- Hari, Divya & Bindu B, Dr. (2024). Effect of organic manures and biofertilizers on growth and yield attributes of papaya (*Carica papaya* L.). *Journal of Tropical Agriculture*. 59. 102–106. <https://n9.cl/8ewl02>
- Hartmann, H.T., Kester, D.E., Davies Jr., F.T. and Geneve, R.L. (2011) *Plant Propagation: Principles and Practices*. 8th Edition, Prentice Hall, New Jersey, 915 p. <https://n9.cl/k73ol>
- Higa, T. and Parr, J.F. (1994) *Beneficial and Effective Microorganisms for a Sustainable Agriculture and Environment*. Vol. 1, International Nature Farming Research Center, Atami. <https://n9.cl/y01br>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) (2017). Saint Vincent and the Grenadines. Significant achievements 2017. Obtenido de: <https://hdl.handle.net/11324/6767>
- Khan, N., Bano, A., & Zandi, P. (2018). Effects of exogenously applied plant growth regulators in combination with PGPR on the physiology and root growth of chickpea (*Cicer arietinum*) and their role in drought tolerance. *Journal of Plant Interactions*, 13(1), 239–247. <https://doi.org/10.1080/017429145.2018.1471527>
- Mahanty, T., Bhattacharjee, S., Goswami, M., Bhattacharyya, P., Das, B., Ghosh, A., & Tribedi, P. (2017). Biofertilizers: a potential approach for sustainable agriculture development. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 3315–3335. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8104-0>
- MINAGRI. (2019). Manual técnico de manejo sostenible de suelos y abonos orgánicos en sistemas agrícolas familiares. Ministerio de Agricultura y Riego del Perú. Lima, Perú.
- Minami, K. (1995). Produção de mudas de hortaliças de alta qualidade. Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (FEALQ). Piracicaba, Brasil. <https://repositorio.usp.br/item/000887080>
- R Core Team (2023) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <https://www.R-project.org/>
- Valenzuela-Estrada, L. R., Vera-Caraballo, V., Ruth, L. E., & Eissenstat, D. M. (2008). Root anatomy, morphology, and longevity among root orders in *Vaccinium corymbosum* (Ericaceae). *American Journal of Botany*, 95(12), 1506–1514. <https://doi.org/10.3732/ajb.0800092>
- Yamanishi, Osvaldo & Fagundes, Geni & Filho, José & Valone, Gustavo. (2004). Efeito de diferentes substratos e duas formas de adubação na produção de mudas de mamoeiro. *Revista Brasileira De Fruticultura—REV BRAS FRUTIC*. 26. DOI:10.1590/S0100-29452004000200023
- Yang, P., Condrich, A., Scranton, S., Hebner, C., Lu, L., & Ali, M. A. (2024). Utilizing Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) to Advance Sustainable Agriculture. *Bacteria*, 3(4), 434–451. <https://doi.org/10.3390/bacteria3040030>