

Gel de sábila *Aloe vera* L. como bioestimulante y solubilizador de fósforo en un Andisol

Aloe vera L. Gel as a biostimulant and phosphorus solubilizer in an Andisol

Araque-Pérez, J. J.^{1*}, García-Morales, K. M.¹, Santos-Castillo I. D.¹, Sacbaja-Galindo, A.¹

-  Araque-Pérez, J. J.
bio.araque@gmail.com
-  García-Morales, K. M.
karlimgm06@gmail.com
-  Santos-Castillo I. D.
idimitrisc@yahoo.com
-  Sacbaja-Galindo, A.
ovansa1957@gmail.com

*Autor de correspondencia: 202490165@fausac.gt

¹ Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC). Facultad de Agronomía.
Guatemala, Guatemala.

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Nicaragua

Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático

ISSN-e: 2410-7980

Periodicidad: Semestral

vol.11, núm.22, 2025

ribcc@ev.unanleon.edu.ni

Recepción: 22 de enero 2026

Aprobado: 24 de marzo 2026

Publicado: 08 Julio 2026

URL: https://revistas.unanleon.edu.ni/index.php/REB_ICAMCLI/article/view/1238

DOI: <https://doi.org/10.5377/ribcc.v11i22.22823>

Copyright © 2025 Rev. iberoam. bioecon. cambio clim. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León (UNAN-León), Area de Conocimiento de Ciencias Agrarias y Veterinarias / Dirección Específica de Agroecología y Agronegocios / Centro de Investigación en Ciencias Agrarias y Veterinarias. Dirección Académica. Departamento de Investigación. Unidad de publicaciones y eventos científicos.



Esta obra está bajo una licencia internacional
[Creative Commons Atribución No Comercial Compartir Igual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Resumen

Antecedentes: La severa limitación de fósforo (P) en Andisoles, atribuida a su elevada capacidad de fijación por coloides amorfos, impulsa la búsqueda de alternativas que mejoren su disponibilidad. **Objetivo:** En este estudio se evaluó el potencial del gel de *Aloe vera* L. como bioestimulante y agente solubilizador de P en un Andisol. Metodología: mediante un ensayo de incubación de 21 días con siete tratamientos para determinar la dinámica de acumulación de P extraído con Mehlich-1, y un experimento biológico en macetas con sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) durante 45 días bajo un Diseño Completamente al Azar, con siete tratamientos y tres repeticiones que incluyeron dosis crecientes de gel (20–100 mL kg⁻¹) combinadas con fertilización (0-46-0 y urea a 100 kg ha⁻¹) directa al suelo. **Resultados:** Los resultados evidenciaron que el gel no generó un efecto significativo ni lineal en la disponibilidad de P, ni promovió incrementos en la biomasa aérea o radical del sorgo; sin embargo, se comportó como una fuente importante de potasio (K), aumentando significativamente su concentración en el suelo (hasta 320 ppm en el tratamiento T1). **Conclusión:** El gel de sábila no es efectivo para la solubilización de P en Andisoles altamente fijadores bajo las condiciones evaluadas, recomendándose explorar su aplicación en suelos con menor capacidad de retención de fósforo.

Palabras claves: Agricultura sostenible, alofanos, bioactivos, fertilización combinada, suelos.

Abstract

Background: The severe limitation of phosphorus (P) in Andisols, attributed to its high fixation capacity by amorphous colloids, drives the search for alternatives to improve its availability. **Objective:** This study evaluated the potential of *Aloe vera* L. gel as a biostimulant and P-solubilizing agent in an Andisol. Methodology: A 21-day incubation trial with seven treatments was conducted to determine the dynamics of P accumulation extracted with Mehlich-1. A 45-day biological experiment in pots with sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) was also conducted under a Completely Randomized Design, with seven treatments and three replicates. These treatments included increasing doses of gel (20–100 mL kg⁻¹) combined with direct soil fertilization (0-46-0 and urea at 100 kg ha⁻¹). **Results:** The results showed that the gel did not have a significant or linear effect on phosphorus (P) availability, nor did it promote increases in sorghum shoot or root biomass; however, it acted as an important source of potassium (K), significantly increasing its concentration in the soil (up to 320 ppm in treatment T1). **Conclusion:** Aloe vera gel is not effective for solubilizing P in highly phosphorus-fixing Andisols under the evaluated conditions. Its application should be explored in soils with lower phosphorus retention capacity.

Keywords: Sustainable agriculture, allophanes, bioactives, combined fertilization, soils.

Introducción

Se estima que más del 30 % de los suelos agrícolas del mundo presentan limitaciones en la disponibilidad del fósforo y las reservas geológicas de fosfatos se están reduciendo rápidamente (De-Boer et al., 2018). La reciente alza de precios de los fertilizantes, que alcanzó incrementos de hasta 130 % en el periodo postpandemia (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2021), acentúa la necesidad de estrategias que aumenten la eficiencia en el aprovechamiento del fósforo y reduzcan la dependencia de insumos externos.

En este contexto, los Andisoles (suelos derivados de cenizas volcánicas) representan un caso particular de estudio. Se caracterizan por pH ácido, altas concentraciones de hierro (Fe) y aluminio (Al) y un elevado contenido de arcillas alófanas (Espinosa, 1996; Ministerio de Agricultura, Ganadería y alimentación [MAGA], 2000). Bajo estas condiciones, la fijación de fósforo se agrava, solo una pequeña fracción se encuentra en forma soluble y aprovechable por las plantas, mientras que la mayor parte queda adsorbida o fijada en complejos con alófanas y óxidos de Fe y Al (Melenya et al., 2015), resultando en eficiencias de uso del P del orden de 20–30 % (Bertsch, 2003).

Para Guatemala se han documentado elevados niveles de fijación de fósforo en Andisoles, como en los suelos de Jocotillo, Santa Rosa, donde hasta el 90 % del P aplicado puede quedar retenido, situación que puede extrapolarse a una proporción significativa de los suelos de la zona cañera (Reynoso, 2003). Esta condición genera una alta dependencia de fertilizantes fosfatados, los productores tienden a incrementar progresivamente las dosis para compensar las pérdidas por fijación, en un contexto económico cada vez más restrictivo. Los Andisoles ocupan aproximadamente el 10 % del territorio central y occidental de Guatemala (MAGA, 2000), principalmente en regiones de origen volcánico donde se cultivan hortalizas y cultivos perennes de alto valor comercial; en consecuencia, mejorar la eficiencia en el manejo del fósforo en estos suelos reviste una importancia estratégica tanto desde el punto de vista agronómico como económico.

Frente a este escenario, las alternativas basadas en principios agroecológicos han cobrado relevancia, en particular el uso de biofertilizantes y bioestimulantes capaces de mejorar la disponibilidad de nutrientes y el desempeño de los cultivos con menor dependencia de insumos sintéticos (Kunwar et al., 2018). Un bioestimulante puede definirse como una sustancia, un microorganismo o su combinación que, aplicada a semillas, plantas o suelos, modifica de manera positiva procesos fisiológicos, mejorando la absorción y asimilación de nutrientes (Ehtesham et al., 2021; Ma et al., 2022).

El gel de sábila (*Aloe vera* L.) se ha propuesto como un insumo de interés dentro de este marco debido a su rico contenido de compuestos bioactivos (alcaloides, aloínas, lectinas, lignina, saponinas, taninos, compuestos fenólicos y glucomanano) con potencial efecto bioestimulante tanto sobre las plantas como sobre el posible impacto positivo en el suelo (Hamman, 2008; Darini y Amalia, 2017). Asimismo, se ha documentado la presencia de fitohormonas como auxinas, giberelinas y ácido salicílico, asociadas con la promoción del crecimiento radicular y la activación de respuestas fisiológicas que podrían mejorar la absorción de nutrientes (Hamman, 2008; Carranza et al., 2021).

Diversos estudios han demostrado la eficacia del *Aloe vera* L. como bioestimulante y protector fitosanitario en cultivos anuales y perennes, otros reportan la extensión y protección de la vida de frutos en diferentes plantas por medio de aplicaciones foliares o poscosecha (Zeljковиć et al., 2020; Hassan y Hendi, 2021). Las investigaciones que abordan su efecto en la interfaz suelo-planta, y en particular sobre la dinámica y solubilización del fósforo en suelos Andisoles, son escasas o inexistentes, demostrando un vacío de conocimiento (Araque-Pérez, 2025). La más reciente publicación sobre mejora de rendimiento en la fisiología del Sorgo demostró que el gel de *Aloe vera* L. mejoraba la biomasa y altura del Sorgo, aplicando diferentes dosis directas al suelo en este caso Entisol (Araque-Pérez, 2025).

Razón por la cual esta investigación tuvo como objetivo evaluar de manera exploratoria el efecto del gel de sábila (*Aloe vera* L.) como bioestimulante para la solubilización de fósforo en un suelo Andisol bajo condiciones de invernadero, utilizando sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) como planta bioindicadora. De lo cual se pretende generar evidencia preliminar sobre las implicaciones agronómicas y limitaciones del uso de gel de sábila como bioestimulante y posible agente solubilizador de fósforo en Andisoles, aportando elementos para el diseño de futuras investigaciones y para la discusión de estrategias de manejo más sostenibles en suelos Alofanicos.

Materiales y métodos

Área de estudio: El estudio se realizó en el Centro Experimental Docente de Agronomía (CEDA) de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos (Figura, 1). Se sitúa en las coordenadas 14.581206° N, 90.553270° W (WGS 84 datum) la zona de vida es caracterizada como Bh-st (bosque húmedo subtropical templado), con las siguientes condiciones climáticas: precipitación anual de 1.216.2 mm, temperatura media de 18.3 °C, humedad relativa del 79% e insolación promedio de 6.65 horas por día.

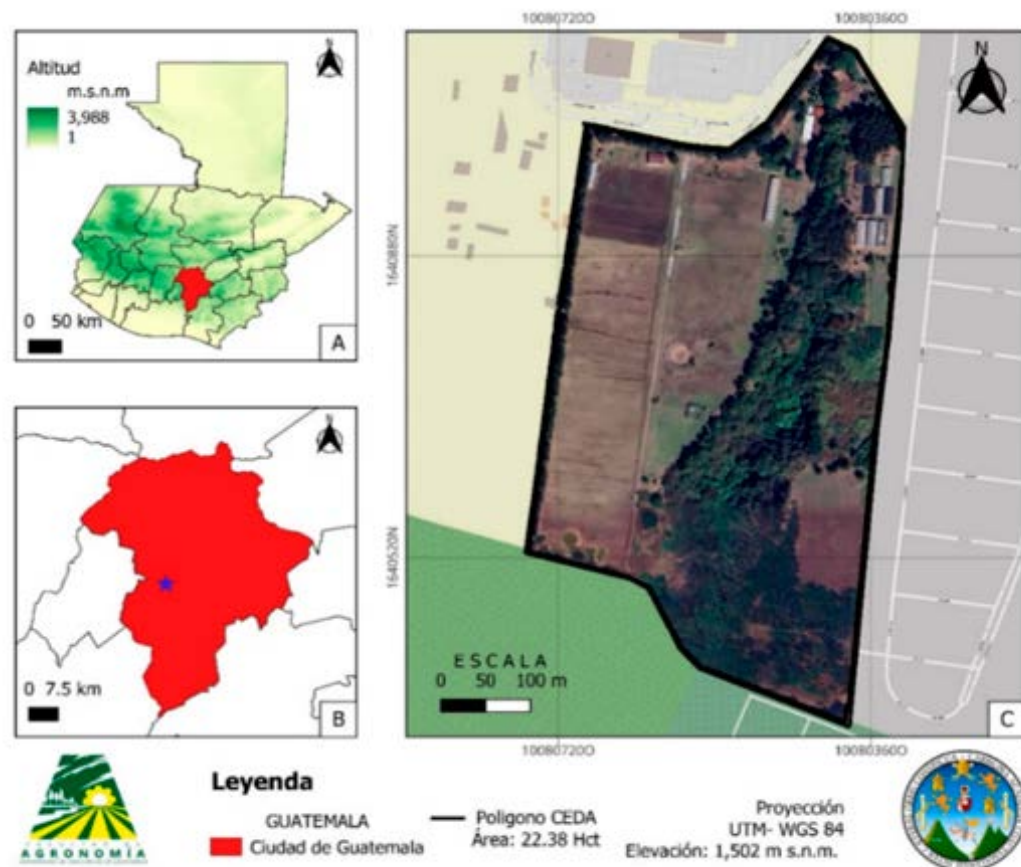


Figura 1. Ubicación del Centro experimental Docente, CEDA- USAC. a) Macro localización pertinente a Guatemala representando la altura en m.s.n.m, b) La estrella dentro del polígono color rojo es la localización del área donde se realizará la investigación, c) Centro experimental docente de agronomía (CEDA).

El área de estudio es considerada como una región montañosa, lo que favorece al desarrollo de microclimas, sus elevaciones oscilan entre 1000 y 2500 m.s.n.m. El clima es variable de templado y semifrío de carácter húmedos y semisecos, en la [Figura 2](#) se observa, que los meses de febrero a junio son de época seca, entrando entre junio y septiembre las épocas más lluviosas.

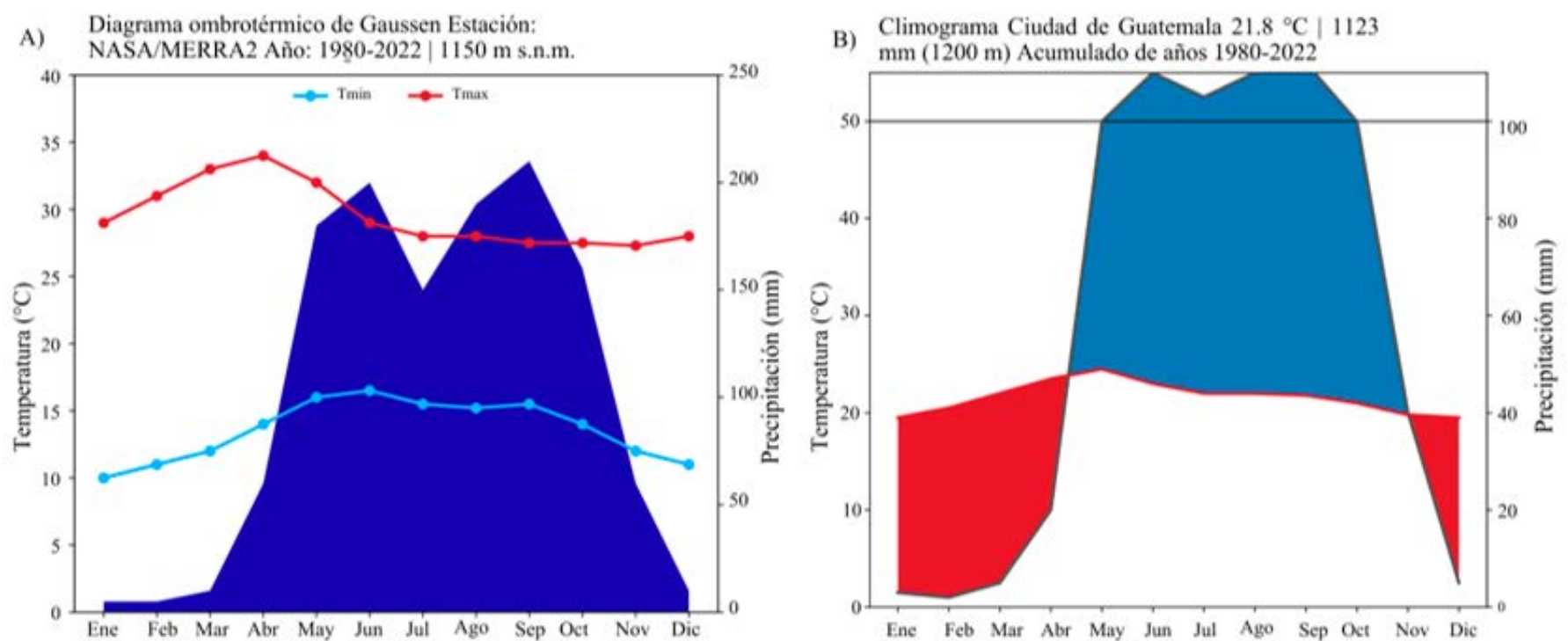


Figura 2. Distribución de la precipitación y temperatura para la Ciudad de Guatemala. a) Diagrama en Base al método de Gaussen, b) Correlación del análisis en base a Walter -Lieth, contruidos a partir de 42 años de datos.

Diseño agronómico

Para obtener el gel de sábila (*Aloe vera*, L.), se cortaron hojas maduras de la planta sin daños visibles por patógenos. Se procedió a lavar las hojas con 50 ml de agua destilada para ser cortadas y extraer pequeños fragmentos de gel, los cuales se recolectaron en un bicker de 500 ml. Este gel se incorporó al suelo junto con triple superfosfato (0-46-0), en dosis de 100, 80,60, 40, 20 ml de gel por Kg de suelo. El fertilizante 0-46-0 se aplicó directamente sobre los fragmentos de gel restantes y se mezcló homogéneamente con el *Aloe vera*.

Se utilizo sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench, variedad ICTA F-947) cultivado en condiciones de invernadero durante 40 días (julio-septiembre 2025). El diseño experimental consistió en siete tratamientos con tres réplicas (n=21), dispuestos en macetas con capacidad de 5kg en la cual se aplicó 3 kg con suelo Andisol previamente tamizado (malla 10 Mesh) y caracterizado químicamente. Se sembraron cinco semillas por unidad experimental en una mezcla homogénea de suelo, gel y fósforo; posteriormente, a los 15 días post-germinación, se realizó un raleo para estandarizar a tres plantas por maceta, seleccionando individuos de tamaño uniforme para minimizar sesgos experimentales. La fertilización nitrogenada se fraccionó en dos aplicaciones de urea (CO(NH₂)₂), aplicando el 50 % de la dosis total de urea un día después de la siembra y el 50 % restante a los 15 días. Finalmente, el material vegetal fue procesado en el Laboratorio Salvador Castillo (USAC) para la determinación de biomasa seca aérea y radical.

Caracterización del Gel y Suelo

El gel de *Aloe vera* L. que se utilizó en el experimento presentó un pH ácido de 5.1 y una conductividad eléctrica de 2.175 µS/cm. En cuanto a macronutrientes, destacó el contenido de Potasio (7.0 %), seguido por Calcio (1.41 %), Nitrógeno (0.79 %), Fósforo (0.18 %) y Magnesio (0.26 %). Respecto a micronutrientes, se detectaron concentraciones de cobre (5 ppm), Hierro (236 ppm), Zinc (231 ppm) y Manganeseo (437 ppm). El Sodio fue el elemento más abundante dentro de los cationes solubles, alcanzando 2.672 ppm. El gel tiene mayor predominio de Sodio y Potasio (Tabla, 1).

Tabla 1. Resultados del análisis del gel de sábila proporcionado por el Laboratorio Salvador Castillo.

pH	(µS/cm)	(%)									
	C.E	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	Na
5.1	2.175	0.79	0.18	7	1.41	0.26	5	36	231	437	2.672

Nota. Resultados procedentes del Laboratorio de suelo y agua, Salvador Castillo (USAC)

El suelo esta caracterizado taxonómicamente como Andisol (MAGA, 2000). Se obtuvo desde los 0 a 30 cm de profundidad. Siendo llevado a los invernaderos para acomodarlo y prepararlo en macetas. Además, se envió al laboratorio de análisis de agua suelo y planta Salvador Castillo (FAUSAC) ahí se secó realizando su caracterización física y química (Tabla., 2), (Villarreal y Name, 1996). Luego se procedió a pesar 3 kg de suelo y llenar cada maceta con la misma capacidad entre mezclándolo con el mucilago de *Aloe vera* L. en bases a las dosis estipuladas (Tabla, 3).

Tabla 2. Resultados de análisis de suelo Andisol que se utilizó en el experimento, a) Propiedades generales, b) Cationes intercambiables, c) Propiedades físicas del suelo.

a)

Identificación	(ppm)					
	pH	P	Cu	Zn	Fe	Mn
Rango medio	6.0-6.5	12-16	2-4	4-6	10-15	10-15

b)

M-1	5.9	2.75	0.1	3	8	19
	(meq/100 g)			(%)		
CIC	Ca	Mg	Na	K	SB	M.O
20–25	4-8	1.5-2	0.27-0,38	0,67	75-90	4-5
39,08	8.73	1.11	0.15	0.67	27.27	10.99

c)

Identificación	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Clase textural
M-1	8.15	30.7	61	Franco arenoso

Fósforo: Se creo una curva básica de incubación y absorción de fósforo (P) en Andisol utilizando el extractante Mehlich-1. Para este propósito, se incubaron siete tratamientos cada uno combinado con dosis crecientes de gel de *Aloe vera* L. (20, 40, 60, 80 y 100 mL y una dosis constante de Fósforo en forma 0-46-0) el periodo de incubación fue de 21 días iniciando el 22 de Julio hasta la entrega al Laboratorio el 12 de agosto del 2025 (Tabla, 3). La dosis de fertilización se estableció en función de la cantidad de P a incorporar por kg de suelo, tomando como referencia una aplicación estándar de 150 kg P/ ha. considerando una densidad aparente del Andisol de 0.9 g cm⁻³, (dentro del rango típico de 0.7 a 1.0 g cm⁻³ para este tipo de suelo; Nanzyo, 2002) y una profundidad de muestreo de 0–20 cm. Se calculó una masa total de 1.800.000 kg de suelo por hectárea, resultando en una dosis de 0.084 g de P por kg de suelo como constante. Se utilizó triple superfosfato (0-46-0) como fuente de fósforo (Tabla 3 y 4).

Tabla 3. Dosificaciones propuestas para la incubación de solubilización de Fósforo en Andisol.

Tratamiento	Prueba	Dosis de <i>Aloe vera</i> / kg de suelo	Dosis de (0-46-0)
TA	Incubación de fósforo en suelo	-	-
TR		-	0.084 g/ kg de suelo
T1		100ml/kg de suelo	0.084 g/ kg de suelo
T2		80ml/kg de suelo	0.084 g/ kg de suelo
T3		60ml/kg de suelo	0.084 g/ kg de suelo
T4		40ml/kg de suelo	0.084 g/ kg de suelo
T5		20ml/kg de suelo	0.084 g/ kg de suelo

Tabla 4. Dosificaciones propuestas para la prueba biológica de bioestimulación en Andisol.

Tratamiento	Prueba	Dosis de <i>Aloe vera</i> / kg de suelo	Dosis de (0-46-0)	Urea (CO(NH ₂) ₂)
TA	Prueba biológica, planta de Sorgo.	-	-	-
TR		-	0.084 g/ kg de suelo	0.056 g/ 3 kg de suelo
T1		100ml/kg de suelo	0.084 g/ kg de suelo	0.056 g/ 3 kg de suelo
T2		80ml/kg de suelo	0.084 g/ kg de suelo	0.056 g/ 3 kg de suelo
T3		60ml/kg de suelo	0.084 g/ kg de suelo	0.056 g/ 3 kg de suelo
T4		40ml/kg de suelo	0.084 g/ kg de suelo	0.056 g/ 3 kg de suelo
T5		20ml/kg de suelo	0.084 g/ kg de suelo	0.056 g/ 3 kg de suelo

Diseño estadístico:

Se implementó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), seleccionado para controlar la variabilidad asociada a posibles gradientes ambientales dentro del invernadero, particularmente diferencias en presión atmosférica, radiación incidente y efectos de sombreado. El modelo estadístico utilizado se expresa en la ecuación 1:

$$Y_{+x} = \mu + \tau_x + \beta_x + \varepsilon_x$$

Ecuación (1)

Nota. Y_{+x}: es la respuesta observada (altura, peso seco aéreo o peso seco raíz) del tratamiento i en el bloque j. μ: media general del experimento. τ_x: efecto fijo del tratamiento i (Testigo, Relativo, T1, T2, T3, T4, T5). β_x: efecto fijo del bloque j (Réplica 1, Réplica 2, Réplica 3). ε_{+x}: error aleatorio del experimento (variabilidad no controlada).

El agrupamiento y la comparación de medias se ejecutaron mediante la librería de Scott–Knott y agricolae como apoyo en la estructuración del análisis experimental y en la verificación del comportamiento general de los tratamientos. La manipulación de datos y la visualización de resultados se realizaron con los paquetes dplyr y ggplot2 (Jelihovschi et al., 2014).

Para validar el efecto de la incubación se realizó exploración en la liberación de fósforo (Tabla,3), la cual se centró en la exploración gráfica y la modelación dosis–respuesta pues se incubo suelo sin plantas y la dosis contante de Fósforo se extrajeron por medio de Mehlich-1. Reportando los estadísticos principales. Este enfoque se ha utilizado en estudios exploratorios de bioestimulantes y fertilización, donde la prioridad es describir tendencias iniciales y generar hipótesis para validaciones posteriores (Rouphael y Colla, 2020), todo el análisis de datos se realizó en base a R (R-Core Team, 2025).

Resultados y discusión

Liberación del fósforo en incubación

La relación dosis–respuesta refleja al testigo absoluto (TA, sin fertilización ni gel de *Aloe vera* L.) y el testigo relativo (TR, con fertilizante y sin gel) con valores similares de fósforo en el suelo (1.36 y 1.39 ppm, respectivamente), lo que indica que la aplicación del fertilizante fosfatado en ausencia del bioestimulante no modificó la disponibilidad de P. Los tratamientos con incorporación de gel de *A. vera* oscilaron entre 1.25 y 1.47 ppm, con valores no significativos en T1 (100 mL kg⁻¹; 1.44 ppm) y T2 (80 mL kg⁻¹; 1.47 ppm), y mínimos en T3–T4 (60–40 mL kg⁻¹; 1.39 y 1.25 ppm, respectivamente), (Tabla 5).

Tabla 5. Análisis químico de suelo en base a cada tratamiento de incubación con gel de *Aloe vera* L. en la solubilización del fósforo.

Identificación	pH	C.E (μS/cm)	(ppm)		(meq/100g)		(ppm)			
			P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn
Rango medio (referencia)	6.6–6.5	1500–2000	12-16	120-150	6- 8	1.5-2.5	2-4	4-6	100-150	10-15
TA	6	746	1.36	170	8.42	0.93	0.5	4	5.5	8
TR	5.9	427	1.39	155	8.42	0.93	0.5	3	5	11.5
T1	5.9	695.5	1.44	320	8.42	0.93	0.5	3	3	11.5
T2	5.9	558	1.47	280	8.42	0.93	1	3	4	22
T3	5.9	736	1.39	265	8.11	0.93	0.5	3	4.5	13.5
T4	5.8	754	1.25	245	8.42	0.98	0.5	3	4.5	12.5
T5	5.7	750	1.41	185	8.74	0.98	0.5	3	3.5	11

Nota. Datos son proporcionados en base al análisis de suelo del laboratorio Salvador Castillo, USAC

Para el ΔP extraíble (Mehlich-1) se observó que los tratamientos poseen poca variación por la adición de gel de *Aloe vera* L. y no siguen un patrón dosis–respuesta consistente. Aunque algunas dosis intermedias (80 y 100 mL·kg⁻¹) no presentan incrementos de P extraíble en comparación con el control con P sin *A. vera* y se mantienen dentro de un rango muy reducido (Figura 3). Este comportamiento sugiere que el gel de *Aloe vera* L. no promovió una liberación química sostenida del fósforo retenido en el Andisol por la alta capacidad de fijación. El comportamiento diferenciado del T4 se atribuye a que presentó la menor concentración de fósforo disponible en el suelo (1.25 ppm), lo que explica su respuesta contrastante frente a los demás tratamientos (Tabla, 5).

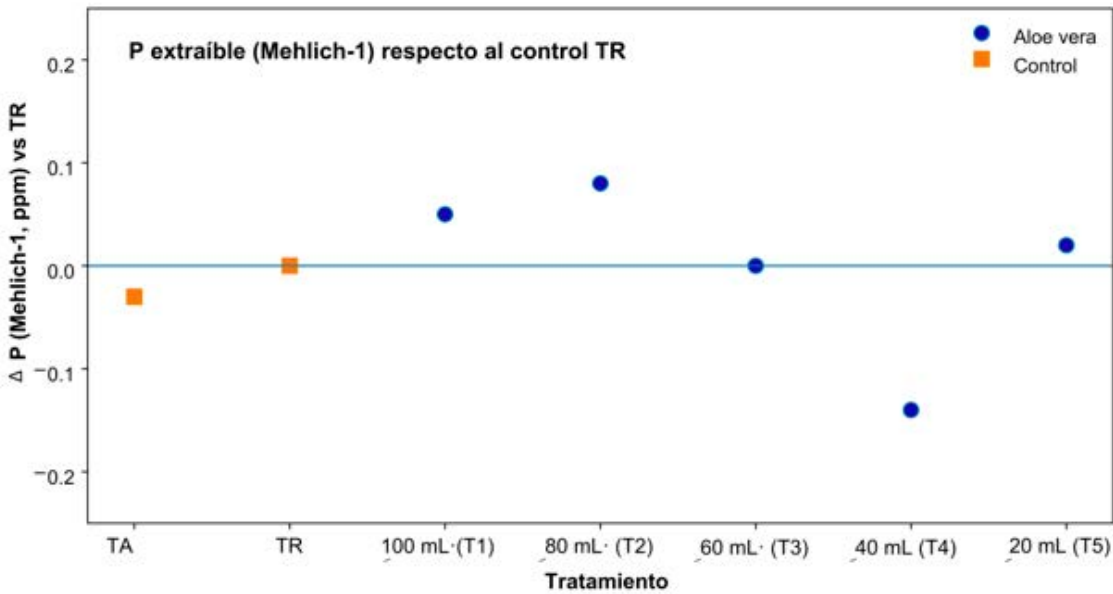


Figura 3. Relación entre la dosis de gel de *Aloe vera* L. (mL kg⁻¹ de suelo) y el fósforo disponible (P, ppm) en Andisol.

El único elemento que aumento al aplicar el *A. vera*, fue el potasio K (ppm) tomando al testigo TA = 170 ppm como referencia (Tabla, 5), se observó un aumento en T1 (320 ppm; +88.2%), seguido por T2 (280; +64.7%), T3 (265; +55.9%) y T4 (245; +44.1%); T5 presentó un cambio marginal (185; +8.8%), mientras que TR registró el valor más bajo (155; -8.8%). En términos absolutos se mantiene el orden T1 > T2 > T3 > T4 > T5 ≈ TA > TR (Figura, 4), lo que sugiere una mayor acumulación/disponibilidad de K bajo la constante de gel de sábila sin embargo dado a que existe n = 1 por tratamiento, estas diferencias son descriptivas; se requieren mayor número de réplicas para análisis inferenciales y la estimación de la variabilidad.

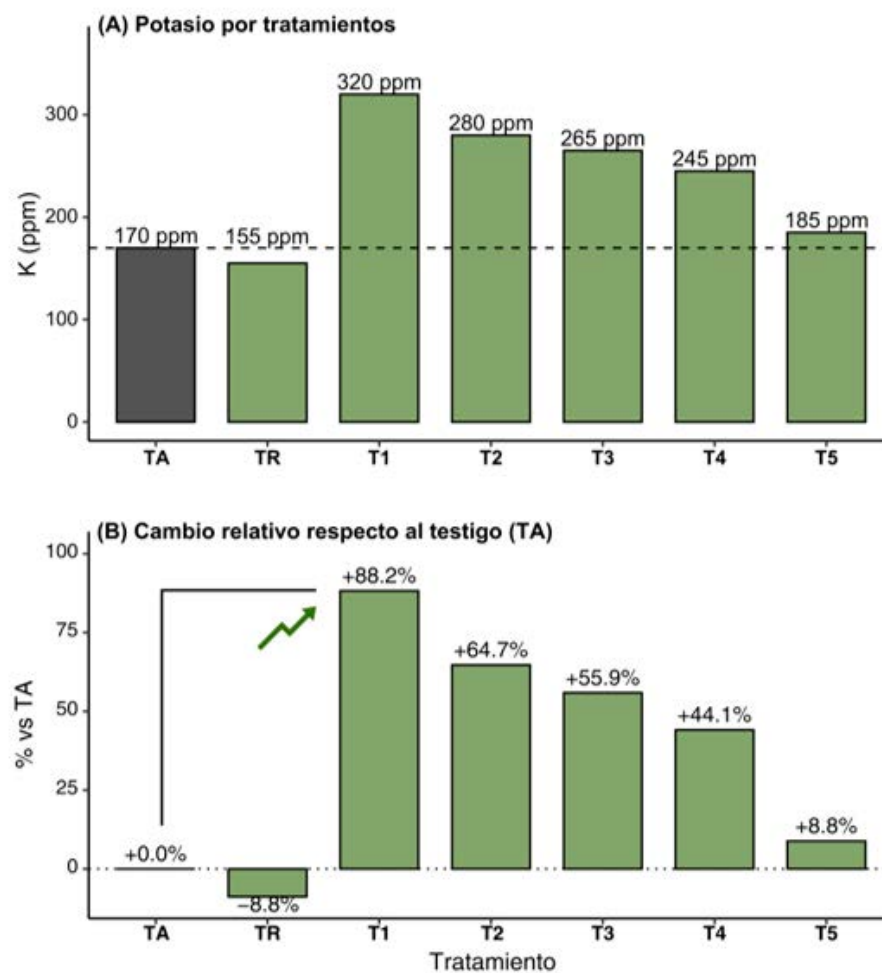


Figura 4. Cambios relativos del Potasio (ppm) relacionado a las dosis crecientes de *Aloe vera* L.

Variaciones expresadas en la Planta

Variaciones expresadas en la Planta (Altura y Peso)

El análisis de agrupamiento mediante el algoritmo Scott-Knott (Figura 5) identificó un único grupo homogéneo para ambas variables evaluadas (Altura y Peso). Para la altura de planta se obtuvo un valor de $\lambda = 10.75$ (gl = 6.13) y un p = 0.10, con una evmean de 0.52 y 14 grados de libertad del error. El tratamiento T1 (13.20 cm) es significativo con respecto al testigo TA (9.43 cm), los tratamientos TR, T2, T3, T4 y T5 (Tabla 6) no presentaron diferencias estadísticas significativas en comparación tanto con el tratamiento de mayor dosis (T1) como con el testigo.

En el caso del peso seco aéreo, el estadístico de partición fue $\lambda = 12.45$ (gl = 6.13) y un valor de p = 0.05, lo que indica que no es significativo ($\alpha = 0.05$). La varianza media explicada dentro del clúster (evmean) fue de 0.06, con 14 grados de libertad del error. En el peso seco aéreo, el tratamiento T4 (2.78 g) no presenta diferencias significativas con el TA (1.46 g), y el resto (T1, T2, T3, T5, TR). En consecuencia, todos los tratamientos fueron asignados a un mismo grupo estadístico indicado en la Tabla 6 como (a); (Figura 5), significa que las respuestas del peso seco aéreo y la altura de planta son similares entre los tratamientos.

Tabla 6. Efecto de los tratamientos en la altura y el peso seco aéreo

Tratamiento	Altura (cm)	Significancia	Peso seco aéreo (g)	Significancia
T1	13.20	a	2.54	a
T2	11.53	a	2.13	a
T3	10.60	a	1.64	a
T4	12.52	a	2.78	a
T5	11.13	a	1.92	a
TA	9.43	a	1.46	a
TR	11.88	a	2.21	a

Nota. Letras distintas dentro de cada columna indican diferencias significativas entre tratamientos ($\alpha = 0,05$)

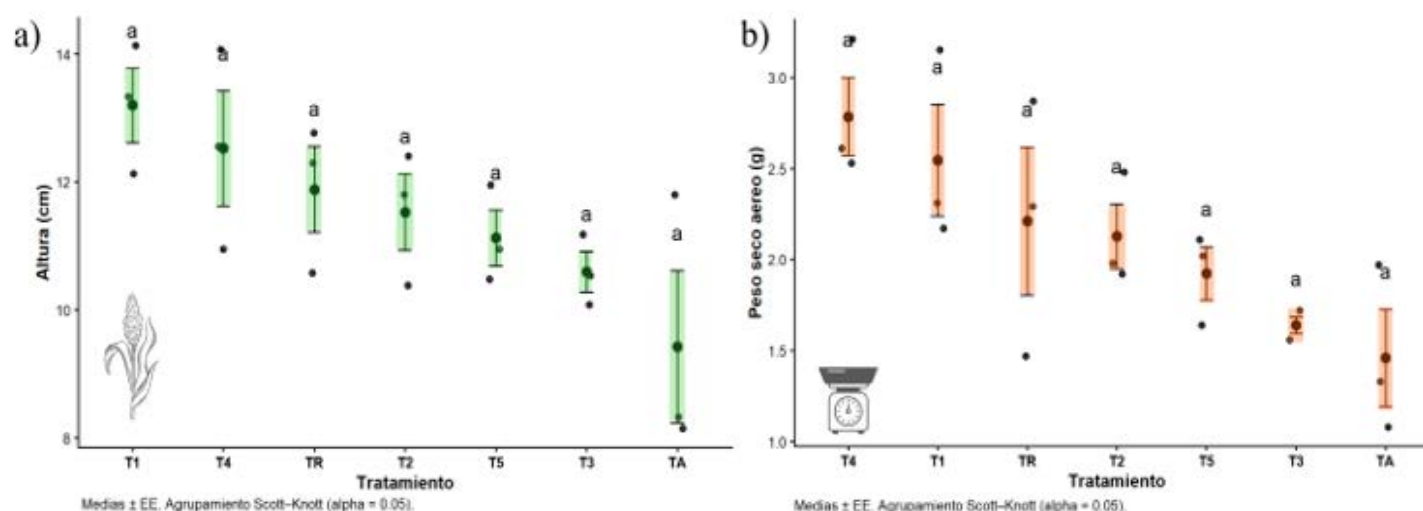


Figura 5. Agrupamiento de tratamientos mediante el algoritmo Scott-Knott para (a) altura de planta y (b) peso seco aéreo en sorgo.

Letras iguales sobre las medias indican ausencia de diferencias estadísticas entre tratamientos ($\alpha = 0.05$). Los tratamientos corresponden a: TA, sin aplicación de *A. vera*; TR, fertilización convencional sin aplicación de *A. vera*; T1, aplicación de 100 mL de gel de *A. vera* por kg de suelo; T2, 80 mL kg⁻¹; T3, 60 mL kg⁻¹; T4, 40 mL kg⁻¹; y T5, 20 mL kg⁻¹ de suelo.



Figura 6. Exposición general de todos los tratamientos de izquierda a derecha se observan los tratamientos con la aplicación de gel de *Aloe vera* L. (T1 hasta T5).

Discusión

Implicaciones sobre la solubilización del fósforo

La aplicación foliar del extracto de *Aloe vera* L., ha mostrado efectos positivos en distintos cultivos, incrementando el número y la longitud de raíces, el volumen radical y la altura de las plantas (Miranda et al., 2023). De forma consistente, Mirihagalla y Fernando (2020) y Tucuch-Hass et al. (2022) reportaron mejoras significativas en germinación, biomasa y arquitectura radicular cuando el gel se aplicó por vía foliar. En estos estudios, el efecto bioestimulante se explica porque los compuestos orgánicos y minerales son absorbidos directamente por el tejido vegetal, sin depender de la dinámica química del suelo.

Sin embargo, en el presente experimento donde el gel se incorporó directamente al suelo, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas en altura ni en peso seco respecto al testigo ni al tratamiento relativo. Esta diferencia en la respuesta puede atribuirse al contexto edáfico. El Andisol evaluado presentó pH ácido (5.1) y alta materia orgánica (11 %), condiciones que favorecen una elevada capacidad de retención de fósforo. En suelos ligeramente ácidos y con baja saturación de bases ($\approx 27\%$), la reactividad del aluminio (Al) y del hierro (Fe) aumenta, promoviendo la protonación de grupos superficiales ($\text{Al}-\text{OH}_2^+$ y $\text{Fe}-\text{OH}_2^+$) y su afinidad por el fosfato (H_2PO_4^-), lo que conduce a su adsorción específica o precipitación en formas poco disponibles (Gerke, 2024). La presencia de alófanos intensifica este proceso debido a su alta área superficial y elevada capacidad de retención de P (Mundschenk, 2024).

Adicionalmente, el contenido elevado de materia orgánica puede contribuir al mantenimiento de la acidez mediante procesos de mineralización y nitrificación que generan protones (H^+), reforzando el ambiente químico que favorece la inmovilización del fósforo (Bolan et al., 1991). En este escenario, aunque el gel de *A. vera* aporte potasio y compuestos orgánicos, la disponibilidad de fósforo (nutriente clave para el desarrollo radicular y la acumulación de biomasa) permanece limitada.

El contraste con un Entisol de pH cercano a la neutralidad (pH 7.1) y menor contenido de materia orgánica (5.1 %), donde la aplicación de *A. vera* se asoció con incrementos en peso y desarrollo radicular (Araque-Pérez, 2025), refuerza que la eficacia del gel depende del contexto edáfico. En suelos con menor acidez y menor capacidad de fijación fosfática, el efecto bioestimulante puede expresarse con mayor claridad; en cambio, en Andisoles ácidos con fuerte retención de fósforo, la respuesta del cultivo puede verse limitada por restricciones químicas inherentes al suelo.

En suelos volcánicos, la incorporación de residuos vegetales puede modificar de manera importante la dinámica del potasio en Andisoles. En estos suelos, la materia orgánica constituye una fuente directa de K que pasa rápidamente a la solución del suelo y al complejo de intercambio, incrementando su fracción intercambiable. Hirzel et al. (2025) demostraron que en Andisoles ácidos del sur de Chile la incorporación de residuos en sistemas de rotación elevó significativamente los niveles de K intercambiable, confirmando que los aportes orgánicos pueden actuar como fuente efectiva de este nutriente.

El potasio intercambiable representa la fracción retenida en el complejo de intercambio y potencialmente disponible para las plantas; sin embargo, en Andisoles (caracterizados por alta porosidad y, con frecuencia, elevada precipitación) el K^+ presenta mayor susceptibilidad a lixiviación debido a su naturaleza monovalente y menor energía de retención frente a cationes divalentes como Ca^{2+} y Mg^{2+} (Weil y Brady, 2017). Desde el punto de vista mineralógico, en Andisoles dominados por alófana el comportamiento del K difiere del observado en suelos con arcillas 2:1 (illita, vermiculita), donde puede fijarse en interláminas y pasar a formas no intercambiables. Las alófanas carecen de estructura laminar expansible, por lo que el K no experimenta fijación estructural, sino que se retiene principalmente por adsorción electrostática en superficies de carga variable dependiente del pH (Takahashi y Dahlgren, 2016). En consecuencia, los incrementos en K intercambiable tras la adición de *Aloe vera* L. podrían ser esperables en otros suelos Alofánicos.

Pruebas Biológicas (Alturas y Pesos)

Para la variable altura el tratamiento 1, supera en 2 cm al tratamiento relativo, en término agronómico no es representativo, en otros documentos como los de Almeida Zambrano (2010) mencionan que con el gel del *Aloe vera* en concentraciones del 4% al 6% mejoran la altura, en este estudio dosis con 80,60,40 y 20 ml del gel aplicados al suelo Andisol, obtuvieron los mismos resultados que el tratamiento relativo (TR), y todos contienen la misma cantidad de fertilizantes. No sería viable utilizar gel directamente en Andisoles. solo se reportan diferencias estadísticas al aplicar vía foliar (Tucuch-Hass., 2022; Miranda-Pérez et al. (2023).

Para el peso seco aéreo, el tratamiento T4 (2.78 g) registró el valor más alto, siendo significativamente superior al testigo absoluto ($TA = 1.46$ g; $\alpha = 0.05$). Pero sin diferencias frente al testigo relativo ($TR = 2.21$ g) ni al resto de tratamientos con *Aloe vera* L. (T1–T3, T5). De forma similar, la altura promedio fue mayor en T1 (13.20 cm), aunque estadísticamente equivalente a TR. Este patrón evidencia que el gel de *Aloe vera* no generó un efecto adicional al combinarse con el fertilizante. (Noufé et al. 2024) mejoran la germinación de semillas de tomates y destacan que la respuesta a extractos de *A. vera* es dependiente de la disponibilidad de nutrientes en los suelos o sustratos.

Dentro de las características del suelo analizado, clasificado como Andisol con textura franco arenosa y pH ligeramente ácido (5.9), se observa que su fertilidad está condicionada por la presencia de alófanas e imogolitas, minerales amorfos con alta capacidad de adsorción y fijación de fósforo (P), lo que reduce su disponibilidad para las plantas (Velásquez et al., 2016). Además, la baja saturación de bases (27.27%) y las concentraciones reducidas de magnesio (Mg), potasio (K), zinc (Zn) y cobre (Cu) evidencian un desequilibrio catiónico que limita la absorción de nutrientes esenciales y, por ende, el crecimiento vegetal (Mora et al., 2006).

Aunque la materia orgánica del suelo en el experimento (10.9%) contribuye positivamente a la estructura y retención de humedad, también puede favorecer la inmovilización del fósforo y de algunos micronutrientes, especialmente bajo condiciones de acidez moderada (Velásquez et al., 2016). Estas limitaciones químicas deben considerarse al evaluar la respuesta de cultivos tratados con gel de *Aloe vera* L. posiblemente en suelos con diferentes propiedades fisicoquímicas podrían observarse respuestas contrastantes respecto a las obtenidas en este estudio.

En base a los resultados se destaca que en la práctica es inviable aplicar *Aloe vera* L. en suelos Andisoles con características similares al ensayo, justificando que para ver diferencias significativas se requerirían 60,000 mil Litros del gel de *A. vera*, para 1 hectárea de suelo Andisol, además la investigación se centra en fases exploratorias se sugiere utilizar Hongos y Bacterias combinadas con el gel de Sábila que promuevan la solubilización del fósforo, quizás al aplicar dosis más pequeñas podría mejorar las poblaciones de microorganismos presente en el suelo y mejorar la solubilización del fósforo.

Conclusiones

El gel de *Aloe vera* L. aplicado directamente al suelo Andisol, no mostró un efecto significativo ni lineal en la incubación y disponibilidad del fósforo. Los valores de P disponible fueron muy similares entre el testigo absoluto (sin fertilizante ni gel), el testigo relativo (con fertilizante) y los tratamientos con gel, oscilando en un rango muy estrecho (1.25 a 1.47 ppm).

Esta falta de respuesta se atribuye a las propiedades inherentes del suelo Andisol, por su pH ligeramente ácido y la presencia de alófanas, que promueven una fuerte fijación de fósforo por el aluminio y el hierro. Por lo tanto, bajo las condiciones evaluadas, el gel carece de las propiedades quelantes necesarias para movilizar este nutriente, resultando poco viable para el manejo del P en este tipo de suelo. A pesar de la nula respuesta en la dinámica del fósforo, se observó que el gel de *A. vera* actúa como un reservorio de potasio (K), generando un incremento significativo y dosis-dependiente de este elemento en el suelo.

En cuanto al crecimiento de la planta y pesos secos, los tratamientos con gel mostraron una respuesta variable y marginal en comparación con el testigo fertilizado (TR). Aunque la dosis más alta (T1) resultó en la mayor altura y una dosis intermedia (T4) en la mayor biomasa seca, estas diferencias no fueron significativas frente al testigo relativo. Esto sugiere que el gel no aporta un beneficio bioestimulante adicional significativo al crecimiento de la planta cuando se aplica al suelo Andisol ya fertilizado.

Recomendaciones

Se recomienda evaluar diferentes formas de aplicación del *Aloe vera* L. comparando la incorporación directa al suelo con aplicaciones foliares, a fin de determinar si el efecto bioestimulante depende de la vía de absorción. Es pertinente extender los ensayos a suelos jóvenes como Entisoles e Inceptisoles, cuya menor capacidad de fijación de fósforo y menor complejidad mineralógica podrían permitir una mejor expresión del potencial del gel.

Debido a que la extracción manual del gel representó una limitante operativa, se sugiere explorar el uso de hojas trituradas como alternativa metodológica. Esta estrategia podría facilitar la estandarización del insumo, reducir tiempos de preparación y permitir ensayos a mayor escala, mejorando la reproducibilidad experimental.

Se recomienda incrementar el número de réplicas en los análisis químicos del suelo para permitir inferencias estadísticas robustas y reducir la naturaleza descriptiva de la incubación por una curva de absorción de elementos. Además, considerando la baja eficiencia del gel en la movilización de fósforo en Andisoles, futuras investigaciones deberían evaluar su combinación con microorganismos solubilizadores de fósforo (hongos y bacterias), bajo la hipótesis de que el gel podría actuar como sustrato o promotor de actividad microbiana.

Declaraciones

Fondos: Autofinanciado

Conflicto de intereses: No revelaron conflictos de intereses.

Cumplimiento de estándares éticos: No se realizó ningún experimento con animales mayores o personas.

Contribuciones de Autores: J.J.A.P.: Conceptualización, Metodología, Redacción, análisis de datos, Borrador Original. K.M.G.M.: Conceptualización, Metodología, toma de datos y Redacción de Borrador Original. I.D.S.C.: Conceptualización, Metodología, toma de datos y Redacción de Borrador Original. A.S.G.: Conceptualización, Metodología, toma de datos y Redacción de Borrador Original, Redacción, Revisión y Edición.

Disponibilidad de datos: Los conjuntos de datos están disponibles a través del autor correspondiente previa solicitud razonable

Agradecimientos

A la facultad escuela de estudios de postgrado (FAUSAC) por prestar las condiciones para realizar el experimento en laboratorio, al Centro experimental docente de agronomía (CEDA) por facilitarlos semillas y las instalaciones para llevar el experimento en invernadero.

Referencias bibliográficas

- Almeida Zambrano, D. M. (2010). Efecto del extracto de Aloe Vera L. en la producción de plántulas de *Solanum lycopersicum* L. (tomate), en condiciones de Cepellón [Tesis de grado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio Digital UTC. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/3528>
- Araque-Pérez, J. J. (2025). Bioestimulación con gel de *Aloe vera* L. para mejorar el crecimiento del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) en Entisoles. *Agronomía Costarricense*, 49(01). <https://doi.org/10.15517/jf7vyb11>
- Bertsch, F. (2003). Absorción de nutrimentos por los cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS), 307 p.
- Bolan, N. S., Hedley, M. J., y White, R. E. (1991). Processes of soil acidification during nitrogen cycling with emphasis on legume-based pastures. *Plant and Soil*, 134(1), 53–63. <http://www.jstor.org/stable/42937046>
- Carranza-Álvarez, C., Trinidad-García, K. L., Reyes-Hernández, H., Castillo-Pérez, L. J., y Fortanelli-Martínez, J. (2021). Efecto de extractos orgánicos naturales sobre la micropropagación de *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews (Orchidaceae). *Biotechnia*, 23(1), 5–12. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v23i1.805>
- Castiglione, A. M., Mannino, G., Contartese, V., Berteà, C. M., y Ertani, A. (2021). Microbial biostimulants as response to modern agriculture needs: Composition, role and application of these innovative products. *Plants*, 10(8), 1533. <https://doi.org/10.3390/plants10081533>
- Chowdhury, T., Chowdhury, M. A. H., Wang, Q., Enyoh, C. E., Wang, W., y Khan, M. S. I. (2021). Nutrient uptake and pharmaceutical compounds of Aloe vera as influenced by integration of inorganic fertilizer and poultry manure in soil. *Heliyon*, 7(7), Article e07464. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07464>
- Darini, M. T., y Amalia, F. (2017). Growth response and antioxidant content of *Aloe vera* L. plant under different types and dosage of green mulch in sandy soil. *International Journal of Advances in Science, Engineering and Technology*, 5(3), 59–63.
- De-Boer, M. A., Wolzak, L., y Slootweg, J. C. (2018). Phosphorus: Reserves, production, and applications. *Phosphorus recovery and recycling* (pp. 75–100). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8031-9_5

- Ehtesham Nia, A., Taghipour, S., y Siahmansour, S. (2021). Pre-harvest application of chitosan and postharvest *Aloe vera* gel coating enhances quality of table grape (*Vitis vinifera* L. cv. “Yaghouti”) during postharvest period. *Food Chemistry*, 347, Article 129012. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129012>
- Espinosa, J. (1996). Fijación de fósforo en suelos derivados de ceniza volcánica. *Informaciones Agronómicas*, 23, 1–5.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). FAO Food Price Index. <https://www.fao.org/worldfoodsituation/foodpricesindex/en/>
- Gerke, J. (2024). Improving phosphate acquisition from soil via higher plants while approaching peak phosphorus worldwide: A critical review of current concepts and misconceptions. *Plants*, 13(24), 3478. <https://doi.org/10.3390/plants13243478>
- Hamman, J. H. (2008). Composición y aplicaciones del gel de hojas de *Aloe vera*. *Molecules*, 13(8), 1599–1616. <https://doi.org/10.3390/molecules13081599>
- Hassan, H. M., y Hendi, D. M. (2021). Utilization of *Aloe vera* gel as growth enhancer on micropropagation of *Eucalyptus citriodora* Hook plant. *Scientific Journal of Flowers & Ornamental Plants*, 8(2), 155–165. <https://doi.org/10.21608/sjfor.2021.155059>
- Hirzel, J., Undurraga, P., Vera, C., Matus, I., y Schoebitz, M. (2025). Chemical properties of a volcanic soil are influenced by eight years of crop rotations with different levels of residue incorporation. *Plants*, 14(5), 764. <https://doi.org/10.3390/plants14050764>
- Jelihovschi, E. G., Faria, J. C., y Allaman, I. B. (2014). ScottKnott: A package for performing the Scott–Knott clustering algorithm in R. *Trends in Computational and Applied Mathematics*, 15(1), 3–17. <https://doi.org/10.5540/tema.2014.015.01.0003>
- Kunwar, V. S., Lamichhane, J., y Gauchan, D. P. (2018). Strategies to improve phosphorus availability in a sustainable agricultural system. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 3, 323–331.
- Ma, Y., Freitas, H., y Dias, M. C. (2022). Strategies and prospects for biostimulants to alleviate abiotic stress in plants. *Frontiers in Plant Science*, 13, Article 1024243. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1024243>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). (2000). *Primera aproximación al mapa de clasificación taxonómica de los suelos de la República de Guatemala*. <https://www.maga.gob.gt/download/clasificacion-suelo.pdf>
- Melenya, C., Logah, V., Aryee, D., Abubakari, A., Tuffour, H. O., y Yeboah, I. B. (2015). Sorption of phosphorus in soils in the semi deciduous forest zone of Ghana. *Applied Research Journal*, 1(3), 169–175.
- Miranda-Pérez, D., Maqueira Reyes, D., Díaz López, M. S., Ravelo Arteaga, Y., y Ravelo Pimentel, K. (2023). Efecto de un hidrogel natural a base de *Aloe vera* en diferentes dosis sobre parámetros de crecimiento del *Lycopersicum esculentum* L. *Ecovida. Revista científica sobre diversidad biológica y su gestión integrada*, 13(1), 1–8.
- Mirihagalla, M. K. P. N., y Fernando, K. M. C. (2020). Effect of *Aloe vera* gel for inducing rooting of stem cuttings and air layering of plants. *Journal of Dry Zone Agriculture*, 6(1), 13–26. <http://ir.lib.ruh.ac.lk/xmlui/handle/iruor/8814>
- Mora, M. L., Alfaro, M. A., Jarvis, S. C., Demanet, R., y Cartes, P. (2006). Soil aluminium availability in Andisols of southern Chile and its effect on forage production and animal metabolism. *Soil Use and Management*, 22(1), 95–101. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2006.00011.x>
- Mundschenk, E., Remus, R., Augustin, J., Wissuwa, M., Staudinger, C., Oburger, E., y George, E. (2024). Fertilizer addition modifies utilization of different P sources in upland rice on strongly P-fixing Andosols. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 24, 3537–3549. <https://doi.org/10.1007/s42729-024-01774-1>
- Nanzyo, M. (2002). Unique properties of ash volcanic soils. *Global Environmental Research*, 6, 99–112.
- Noufé, P. R., Tonessia, D. C., Soko, D. F., Soumahin, E. F., N’goran, K. D., y Akaffou, D. S. (2024). Influence of *Aloe vera* gel on germination and early growth of tomato (*Solanum lycopersicum*) seedlings in the nursery. *Journal of Experimental Agriculture International*, 46(10), 91–102. <https://doi.org/10.9734/jeai/2024/v46i102928>
- R-Core Team. (2025). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>

- Reynoso, L. (2003). *Efecto de la aplicación de fósforo en el cultivo de la caña de azúcar (Saccharum spp.) en primera soca, variedad PR-872080; en suelos Andisoles de la finca cañaverales del sur, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla* [Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-02204.pdf>
- Rouphael, Y., y Colla, G. (2020). Toward a sustainable agriculture through plant biostimulants: From experimental data to practical applications. *Agronomy*, 10(10), 1461.
- Takahashi, T., y Dahlgren, R. A. (2016). Nature, properties and function of aluminum–humus complexes in volcanic soils. *Geoderma*, 263, 110–121. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.032>
- Tucuch-Haas, C. J., Cen-Caamal, J. C., Kancab-Uc, R. A., y Tucuch-Haas, J. I. (2022). Uso de gel de *Aloe vera* en la producción de plántulas de *Capsicum chinense*. *Biotecnia*, 24(1), 116–121. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i1.1542>
- Velásquez, G., Calabi-Floody, M., Poblete-Grant, P., Rumpel, C., Demanet, R., Condron, L., y Mora, M. L. (2016). Fertilizer effects on phosphorus fractions and organic matter in Andisols. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 16(2), 294–304. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162016005000024>
- Villarreal, J., y Name, B. (1996). *Técnicas analíticas del laboratorio de suelos*. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP-Divisa).
- Weil, R. R., y Brady, N. C. (2017). *The nature and properties of soils* (15th ed.). Pearson. 1086 p.
- Zeljковиć, S., Parađiković, N., Davidović Gidas, J., Mladenović, E., y Vujosević, A. (2020). The effect of water extract of *Aloe vera* (L.) Burm. f. on germination and growth of scarlet sage. *Journal of Agricultural Sciences*, 15(3), 45-56. <https://doi.org/10.5937/jas20200345Z>.