

Compost y humus en la remediación de suelos contaminados con *Solanum tuberosum*

*Compost and humus for remediation of contaminated soils using
Solanum tuberosum*

María Cecilia Katherine Falcón Núñez ^a 

✉ mfalconn@ucvvirtual.edu.pe

Carlos Antonio Pérez Calderón ^b 

Milagros Rocío Menacho Ángeles ^c 

Lily Marisol Pizarro Arancibia ^d 

Jean Carlos Ecurra Lagos ^e 

^a Universidad César Vallejo. Trujillo, Perú

^b Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú

^c Universidad Señor de Sipán. Lima, Perú

^d Universidad Privada Norbert Wiener. Lima, Perú

^e Universidad Tecnológica Latinoamericana en Línea. México D.F., México

Resumen

Palabras clave:

Biorremediación; Compost;
Contaminación del suelo;
Enmiendas orgánicas;
Humus

Keywords:

Bioremediation; Compost;
Humus; Organic
amendments; Soil
contamination

Cómo citar:

Falcón Núñez
MCK, Pérez Calderón CA,
Menacho Ángeles MR,
Pizarro Arancibia LM,
Ecurra Lagos JC.
Compost y humus en la
remediación de suelos
contaminados con
Solanum tuberosum. ALFA
Revista de Investigación
en Ciencias Agronómicas y
Veterinarias.
2026;10(29):01-12.
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v10i29.489>

Contexto: La contaminación del suelo constituye una problemática ambiental que afecta la productividad agrícola y requiere estrategias de recuperación sostenibles. Las enmiendas orgánicas como el compost y el humus representan alternativas potenciales para mejorar las condiciones físico-químicas del suelo y favorecer el desarrollo vegetal. **Objetivo:** Comparar el efecto de las enmiendas orgánicas compost y humus en suelo contaminado mediante indicadores de crecimiento de *Solanum tuberosum* y propiedades físico-químicas del suelo. **Métodos:** Se realizó un estudio aplicado, cuantitativo y experimental con diseño completamente al azar y siete tratamientos. Durante 90 días se evaluaron el peso y la altura de las plantas, así como el pH, la conductividad eléctrica, la humedad y la densidad aparente del suelo antes y después de la aplicación de las enmiendas. La normalidad se examinó con Shapiro-Wilk y, según la distribución, se emplearon las pruebas t de Student o de Wilcoxon, con un nivel de confianza del 95 %. **Resultados:** El tratamiento con la mayor dosis de humus (T3-H) alcanzó 48 g de peso y 30.60 cm de altura, mientras que el tratamiento equivalente con compost (T3-C) alcanzó 46 g y 28.60 cm. Los valores de pH fueron 7.45 en T3-H y 7.63 en T1-C. La conductividad eléctrica aumentó hasta 2.82 dS/m en T3-H y 4.90 dS/m en T3-C. En la comparación de altura, los valores p bilaterales fueron 0.064 para humus y 0.060 para compost. **Conclusiones:** El humus mostró una respuesta biológica descriptivamente más favorable; sin embargo, la ausencia de diferencias significativas en la prueba bilateral y el aumento de la conductividad eléctrica exigen interpretar con cautela su eficiencia de remediación.

Abstract

Contexto: Soil contamination poses a critical environmental challenge that jeopardizes agricultural productivity, necessitating the implementation of sustainable remediation strategies. Organic amendments, such as compost and humus, emerge as viable alternatives to optimize soil physicochemical properties and bolster plant development. **Objective:** To compare the effects of compost and humus organic amendments on contaminated soil using *Solanum tuberosum* growth indicators and soil physicochemical properties. **Methods:** An applied, quantitative, experimental study was conducted using a completely randomized design with seven treatments.

Plant weight and height, as well as soil pH, electrical conductivity, moisture, and bulk density, were evaluated before and after amendment application over 90 days. Normality was examined using the Shapiro-Wilk test; Student's t test or the Wilcoxon test was then applied according to data distribution, with a 95% confidence level. **Results:** The highest-dose humus treatment (T3-H) reached 48 g in weight and 30.60 cm in height, whereas the equivalent compost treatment (T3-C) reached 46 g and 28.60 cm. The pH values were 7.45 for T3-H and 7.63 for T1-C. Electrical conductivity increased to 2.82 dS/m in T3-H and 4.90 dS/m in T3-C. In the height comparison, two-sided p values were 0.064 for humus and 0.060 for compost. **Conclusions:** Humus produced a descriptively more favorable biological response; however, the lack of significant differences in the two-sided test and the increase in electrical conductivity require cautious interpretation of its remediation efficiency.

Introducción

La degradación del suelo constituye un problema ambiental persistente. Este recurso, fundamental para la vida, es frágil y su recuperación puede requerir cientos de años, por lo que se considera no renovable a escala humana ⁽¹⁾. La aceleración de este proceso, asociada al cambio climático y a la intensificación agrícola, amenaza la seguridad alimentaria mundial ⁽²⁾. El suelo sostiene procesos físicos, químicos y biológicos indispensables para los ecosistemas y la supervivencia humana; por ello, comprenderlos permite evaluar la calidad de los suelos agrícolas y orientar sistemas productivos más sostenibles ⁽³⁾.

A escala mundial, la degradación afecta aproximadamente al 33 % de la superficie terrestre; los bosques representan el 47 % de las áreas perjudicadas y las tierras agrícolas, el 18 % ⁽⁴⁾. Entre sus principales causas se encuentran el uso indiscriminado de fertilizantes, la deforestación, el monocultivo, la erosión, la disposición inadecuada de residuos y los efectos del cambio climático ^(5,6). En este contexto, preservar la fertilidad resulta esencial, debido a que pocos suelos pueden suministrar por sí solos todos los nutrientes requeridos por los cultivos ^(7,8).

En el Perú, el desconocimiento técnico y las presiones económicas han favorecido prácticas agrícolas inadecuadas que deterioran la biodiversidad edáfica y generan salinización y contaminación de tierras fértiles ⁽⁹⁾. Asimismo, en distintas regiones agrícolas se han identificado concentraciones crecientes de metales pesados vinculadas con actividades urbanas y con el uso intensivo de agroquímicos ⁽¹⁰⁾. En un distrito de La Libertad, la expansión de cultivos como piña, caña de azúcar, ají y alfalfa ha estado acompañada por un uso elevado de agroquímicos, situación que contribuye al deterioro del suelo y de otros componentes ambientales ⁽¹¹⁾.

Frente a esta situación, la biorremediación emplea microorganismos o plantas para transformar o inmovilizar contaminantes y reducir su peligrosidad ⁽¹²⁾. Las enmiendas orgánicas pueden disminuir la biodisponibilidad de metales pesados y favorecer la actividad microbiana del suelo ⁽¹³⁾. Por ello, estas estrategias se consideran alternativas ecológicas para mitigar la contaminación del agua y del suelo ^(14,15).

La contaminación agrícola del suelo exige soluciones sostenibles y una intervención articulada entre productores, investigadores, autoridades y sociedad civil. Este enfoque busca proteger el ambiente y la salud de la población, además de contribuir a la disponibilidad futura de alimentos. En países en desarrollo, las enmiendas orgánicas se han propuesto como una herramienta sostenible para recuperar la fertilidad de suelos sometidos a uso intensivo ⁽¹⁶⁾.

En este contexto, el compost y el humus constituyen alternativas de bajo costo que podrían mejorar las condiciones del suelo y favorecer el establecimiento de los cultivos. La pregunta de investigación fue la siguiente: ¿qué diferencias existen entre el compost y el humus, evaluados mediante *Solanum tuberosum* como bioindicador, en la respuesta de un suelo contaminado de un distrito del Perú durante 2026?

Entre los antecedentes, Paca Malca et al. ⁽¹⁷⁾ evaluaron la respuesta de la papa variedad Chaucha a diferentes abonos y observaron que el abono ovino produjo mayores alturas sin afectar negativamente las propiedades del suelo. Flores ⁽¹⁸⁾ analizó el efecto del humus en las características edáficas y en el rendimiento del maíz y el chile, e informó mejoras en el pH y la productividad, especialmente en el chile. Cruzado y León ⁽¹⁹⁾ demostraron la capacidad del humus de *Eisenia foetida* para remediar suelos contaminados con hidrocarburos mediante *Zea mays* como bioindicador, con reducciones de los hidrocarburos totales de petróleo después de aplicar distintas dosis. De manera complementaria, el vermicompost puede reducir la fracción soluble de metales como Pb, Cd y Zn en suelos contaminados ⁽²⁰⁾.

Estos antecedentes respaldan el estudio del compost y el humus como enmiendas para suelos contaminados. El suelo corresponde a la capa superior de la corteza terrestre y se organiza en horizontes con propiedades físicas y químicas diferenciadas; está compuesto por minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos ^(21,22).

La investigación se justifica teóricamente porque la contaminación del suelo, originada por actividades humanas e industriales, incorpora fertilizantes, plaguicidas y residuos no tratados que alteran la calidad ambiental. En este escenario, la agricultura orgánica y el uso de compost y humus pueden mejorar la estructura y la fertilidad del suelo, además de contribuir a reducir la biodisponibilidad de ciertos contaminantes ⁽²³⁾.

En el ámbito práctico, los agricultores del distrito estudiado podrían beneficiarse del uso de estas enmiendas si mejoran las condiciones del suelo y el desarrollo de cultivos como la papa. Los procesos microbianos asociados con el compost y el humus representan una alternativa de bajo impacto y costo accesible. Su aplicación ex situ, además, permite un mayor control del tratamiento ⁽²⁴⁾.

Desde el punto de vista metodológico, se aplicó un diseño experimental a muestras de suelo contaminado tratadas con compost y humus. La respuesta se evaluó mediante el crecimiento de *Solanum tuberosum*, variedad Única, y mediante cambios en propiedades físico-químicas del suelo.

La justificación económica se sustenta en la necesidad de contar con estrategias de remediación accesibles que reduzcan el empleo de insumos químicos costosos. El compost y el humus podrían replicarse en otros contextos agrícolas si su eficacia y seguridad se confirman. El objetivo general fue comparar ambas enmiendas mediante *Solanum tuberosum* como bioindicador de la respuesta del suelo contaminado. Los objetivos específicos fueron evaluar el peso y la altura de las plantas durante los 90 días posteriores a la siembra y analizar el pH, la conductividad eléctrica, la humedad y la densidad aparente antes y después de los tratamientos.

La hipótesis alternativa planteó que la aplicación de humus o compost produce una respuesta favorable en los indicadores evaluados del suelo contaminado; la hipótesis nula estableció que dichas enmiendas no generan cambios estadísticamente significativos.

Materiales y métodos

La investigación fue de tipo aplicado, pues utilizó conocimientos disponibles para evaluar una alternativa de intervención frente a un problema concreto y generar evidencia susceptible de aplicación práctica ⁽²⁵⁾.

Se adoptó un enfoque cuantitativo, basado en la recolección y el análisis de datos numéricos correspondientes a variables previamente definidas ⁽²⁶⁾. La validez y la confiabilidad de este enfoque dependen del uso adecuado de instrumentos y de la consistencia en la recolección de datos ⁽²⁷⁾. Se aplicó un diseño experimental, con manipulación deliberada del tipo y la dosis de enmienda para analizar sus efectos

sobre el crecimiento vegetal y las propiedades del suelo ⁽²⁸⁾. Para fortalecer la validez interna, los tratamientos se distribuyeron mediante un diseño completamente al azar (DCA) ⁽²⁹⁾.

La población estuvo constituida por el suelo contaminado del distrito estudiado, entendido como el conjunto de unidades con características relevantes para la investigación ⁽³⁰⁾. La muestra experimental estuvo conformada por 63 kg de suelo extraído del lugar de estudio y distribuido entre las unidades experimentales ⁽³¹⁾. Se empleó un muestreo no probabilístico, basado en criterios definidos por los investigadores y en las características del sitio, sin selección aleatoria de las unidades de origen ⁽³²⁾.

Los instrumentos se seleccionaron de acuerdo con las variables y las hipótesis del estudio, con el propósito de registrar datos objetivos y comparables ⁽³³⁾. La investigación científica requiere procedimientos sistemáticos para resolver problemas mediante la generación de conocimiento pertinente ⁽³⁴⁾; por ello, la estandarización de los registros fue fundamental para favorecer la objetividad del estudio ⁽³⁵⁾.

Se utilizó la observación experimental para registrar la respuesta de las unidades bajo condiciones controladas. Esta técnica combina la percepción directa con el análisis sistemático del fenómeno estudiado ⁽³⁶⁾. La información se consignó cronológicamente en una guía de observación diseñada conforme a los objetivos y las hipótesis.

Los materiales incluyeron una libreta de campo, un lapicero, una wincha, una pala, una balanza, una regla, una aplicación GPS, una cámara, dos sacos plásticos de 50 kg, siete macetas rectangulares de madera recubiertas con plástico azul doble, catorce tubérculos-semilla de papa variedad Única, 63 kg de suelo contaminado y 4 050 g de cada enmienda orgánica. Se establecieron siete tratamientos mediante un diseño completamente al azar. El peso y la altura de *Solanum tuberosum* se evaluaron durante 90 días. Las mediciones iniciales se realizaron el 3 de enero de 2026 y las finales, el 3 de abril del mismo año.

Los datos se analizaron con IBM SPSS, con un nivel de confianza del 95 %, y Microsoft Excel 2024 se utilizó para elaborar tablas comparativas. La normalidad se evaluó mediante Shapiro-Wilk. Según el valor p y la distribución de cada variable, se seleccionó la prueba t de Student o la prueba de Wilcoxon. La elección de la prueba estadística se realizó de acuerdo con la naturaleza y la distribución de los datos ⁽³⁷⁾.

Durante el estudio se observaron los principios de veracidad, objetividad y colaboración. Los registros se conservaron de manera íntegra y se utilizaron exclusivamente para responder los objetivos de la investigación.

Resultados

Al concluir el periodo experimental de 90 días, se contó con registros de crecimiento de *Solanum tuberosum* y de las propiedades físico-químicas del suelo correspondientes a los siete tratamientos establecidos. Las mediciones abarcaron el peso y la altura de las plantas, además del pH, la conductividad eléctrica, la humedad y la densidad aparente. Para cada indicador se compararon los valores obtenidos antes y después de la aplicación de las enmiendas. La síntesis de los resultados se centró en los tratamientos que presentaron las mayores variaciones dentro de cada parámetro, de modo que la Tabla 1 reúne los valores más representativos de la respuesta experimental.

En el análisis del crecimiento vegetal se observaron incrementos tanto en el peso como en la altura al finalizar el ensayo. El peso promedio pasó de 32 g en el pretratamiento a 40 g en el postratamiento. Esta diferencia correspondió a un aumento absoluto de 8 g y a un cambio relativo del 25 % con respecto al valor inicial. La altura promedio aumentó de 7.38 cm a 22.76 cm, lo que representó una diferencia absoluta de 15.38 cm y un incremento relativo de 208.40 %. Por tanto, la magnitud del cambio fue mayor en la altura que en el peso cuando ambos indicadores se expresaron como variación porcentual.

La Tabla 1 también muestra que el tratamiento con el valor más alto no fue el mismo para todas las propiedades del suelo. El pH máximo correspondió a T1-C; la mayor conductividad eléctrica se registró en T3-C; la mayor humedad se observó en T2-C; y la densidad aparente más alta entre los valores reportados correspondió igualmente a T2-C. En cambio, T3-H concentró los valores máximos de los dos indicadores de crecimiento. Esta distribución permitió describir por separado la respuesta vegetal y los cambios físico-químicos del suelo, sin asumir un patrón único para todos los parámetros.

Tabla 1. Variación reportada en los indicadores de crecimiento y en las propiedades físico-químicas del suelo.

Parámetro	Tratamiento	Variación reportada (%)	Resultado principal
Peso	T3-H	33	48 g
Peso	T3-C	24	46 g
Altura	T3-H	291	30.60 cm
Altura	T3-C	258	28.60 cm
pH	T3-H	41	7.45
pH	T1-C	45	7.63
Conductividad eléctrica	T3-H	353	2.82 dS/m
Conductividad eléctrica	T3-C	688	4.90 dS/m
Humedad	T3-H	4	19.00 %
Humedad	T2-C	36	25.00 %
Humedad	T2-H	15	—
Densidad aparente	T2-C	3	1.31 g/cm ³

Nota. Los porcentajes corresponden a la variación informada entre el pretratamiento y el postratamiento. En la conductividad eléctrica, un aumento no implica necesariamente una mejora, pues puede indicar mayor salinidad.

En el peso, T3-H registró una variación de 33 % en la Tabla 1 y un valor final de 48 g. T3-C presentó una variación de 24 % y un valor de 46 g. La distancia entre los porcentajes redondeados de la tabla fue de 9 puntos porcentuales, mientras que la diferencia entre los valores finales fue de 2 g. Los dos tratamientos T3, por tanto, mostraron resultados próximos en unidades absolutas, aunque la variación relativa fue más alta en el tratamiento con humus.

La altura presentó variaciones porcentuales de mayor magnitud que el peso. T3-H registró 291 % y T3-C, 258 % en la Tabla 1, con valores finales de 30.60 cm y 28.60 cm, respectivamente. La diferencia entre los porcentajes redondeados fue de 33 puntos porcentuales y la diferencia absoluta de altura fue de 2 cm. Al comparar estos resultados con la media final de 22.76 cm, ambos tratamientos se ubicaron por encima del promedio general registrado al término del ensayo.

En cuanto al pH, T3-H presentó un valor postratamiento de 7.45 y una variación reportada de 41 %. T1-C alcanzó un pH de 7.63 y una variación de 45 %. La diferencia entre ambos valores finales fue de 0.18 unidades de pH y la diferencia entre las variaciones reportadas fue de 4 puntos porcentuales. De esta manera, T1-C presentó el valor más alto para este parámetro, mientras que T3-H ocupó la segunda posición entre los tratamientos destacados en la tabla.

La conductividad eléctrica mostró las variaciones porcentuales más elevadas de las propiedades físico-químicas incluidas en la Tabla 1. T3-H alcanzó 2.82 dS/m, con una variación de 353 %, y T3-C llegó a 4.90 dS/m, con una variación de 688 %. La diferencia entre ambos valores finales fue de 2.08 dS/m, mientras que la distancia entre los porcentajes reportados fue de 335 puntos porcentuales. Además, T3-H superó en 1.01 dS/m el valor de 1.81 dS/m registrado para T0 y en 1.86 dS/m el valor de 0.96 dS/m de T1-H. Por su parte,

T3-C superó a T0 en 3.09 dS/m y a T1-H en 3.94 dS/m. Estos datos muestran que la conductividad presentó una amplitud mayor entre los tratamientos que los demás parámetros edáficos informados.

Para la humedad, T2-C presentó el mayor valor final, con 25 %, y una variación reportada de 36 %. T3-C alcanzó 22 %, mientras que T3-H registró 19 % y una variación de 4 %. En consecuencia, T2-C superó a T3-C en 3 puntos porcentuales de humedad y a T3-H en 6 puntos porcentuales. T3-C, a su vez, se ubicó 3 puntos porcentuales por encima de T3-H. La Tabla 1 también consigna una variación de 15 % para T2-H; sin embargo, el valor absoluto final de humedad de ese tratamiento no se encontraba disponible en la información original, por lo que se mantuvo únicamente el porcentaje reportado.

En la densidad aparente, el valor más alto informado correspondió a T2-C, con 1.31 g/cm³ y una variación aproximada de 3 %. A diferencia del peso, la altura, el pH, la conductividad y la humedad, la tabla no presentó un segundo tratamiento de comparación para este parámetro. Por esta razón, la descripción de la densidad aparente se limitó al valor y a la variación disponibles, sin calcular diferencias entre tratamientos.

En conjunto, la Tabla 1 permitió establecer un orden descriptivo específico para cada variable. T3-H ocupó la primera posición en peso y altura; T1-C presentó el pH más alto; T3-C mostró la mayor conductividad eléctrica; y T2-C alcanzó los valores máximos de humedad y densidad aparente. Por tanto, los datos no concentraron todos los máximos en una sola enmienda o dosis. Los resultados se distribuyeron entre tratamientos con humus y compost según el indicador considerado.

Después de describir los valores de crecimiento y las propiedades del suelo, se evaluó la distribución de los datos para seleccionar las pruebas estadísticas. Debido a que el número de observaciones por comparación fue menor de 50, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk. Las variables con valores p superiores a 0.05 se consideraron compatibles con una distribución normal y se analizaron mediante procedimientos paramétricos. Cuando el valor p fue inferior a 0.05, se recurrió a la prueba no paramétrica correspondiente. Para la variación de altura presentada en la Tabla 2 se utilizó la prueba t de Student.

En la comparación de la altura, el tratamiento con compost presentó una media de 13.01750 cm, una desviación estándar de 8.83031 cm y un error estándar de 4.41515 cm. El tratamiento con humus alcanzó una media de 14.10000 cm, una desviación estándar de 9.80873 cm y un error estándar de 4.90437 cm. La diferencia entre las medias fue de 1.08250 cm, con el valor más alto en humus. Asimismo, la desviación estándar fue 0.97842 cm mayor en humus y el error estándar superó al de compost en 0.48922 cm.

El intervalo de confianza del 95 % para compost se extendió de -1.03349 a 27.06849 cm, con una amplitud de 28.10198 cm. Para humus, el intervalo se situó entre -1.50788 y 29.70788 cm, con una amplitud de 31.21576 cm. En ambos casos, el límite inferior fue negativo y el límite superior positivo, por lo que los intervalos incluyeron el valor cero. El intervalo del humus fue 3.11378 cm más amplio que el del compost y también presentó el límite superior más elevado.

El estadístico t fue de 2.948 para compost y de 2.875 para humus, con 3 grados de libertad en ambos análisis. La diferencia entre los estadísticos fue de 0.073. En las pruebas unilaterales se obtuvieron valores p de 0.030 para compost y de 0.032 para humus. En las pruebas bilaterales, los valores p fueron de 0.060 y 0.064, respectivamente. La distancia entre los valores p bilaterales fue de 0.004, lo que mostró resultados próximos entre las dos enmiendas.

Al aplicar el criterio bilateral y un nivel de significancia de 0.05, los valores p de compost y humus se ubicaron por encima del umbral establecido. En consecuencia, para la variación de altura no se rechazó la hipótesis nula en ninguno de los dos análisis. Las medias descriptivas mostraron una diferencia a favor del humus, pero la comparación bilateral no alcanzó significancia estadística. Los detalles de las medias, medidas de dispersión, intervalos de confianza, estadísticos y niveles de significación se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Prueba *t* de Student para la variación de altura de *Solanum tuberosum* a los 90 días, según enmienda.

	Media	Desviación estándar	Error estándar	IC 95 % Inferior	IC 95 % Superior	t	gl	Significación p unilateral	Significación p bilateral
Tratamiento									
Compost	13.01750	8.83031	4.41515	-1.03349	27.06849	2.948	3	0.030	0.060
Humus	14.10000	9.80873	4.90437	-1.50788	29.70788	2.875	3	0.032	0.064

La lectura conjunta de las dos tablas mostró que los máximos descriptivos de crecimiento correspondieron a T3-H, pero que la comparación inferencial de la variación de altura no identificó diferencias significativas al utilizar valores *p* bilaterales. Este resultado diferenció dos niveles de análisis: por una parte, los valores finales y porcentajes de cambio observados en cada tratamiento; por otra, la evidencia obtenida mediante la prueba *t* de Student. La descripción de los datos conservó ambos niveles para evitar que los incrementos absolutos o porcentuales se confundieran con una diferencia estadísticamente demostrada.

Los datos físico-químicos también presentaron comportamientos diferenciados. El mayor pH se observó con compost en T1-C; la mayor conductividad, con compost en T3-C; y los valores más altos de humedad y densidad aparente, con compost en T2-C. El humus destacó principalmente en los indicadores de crecimiento mediante T3-H y registró un pH de 7.45. En consecuencia, la respuesta experimental dependió del parámetro analizado y de la combinación entre tipo de enmienda y tratamiento.

Finalmente, la información disponible permitió establecer comparaciones completas para peso, altura, pH y conductividad eléctrica; comparaciones parciales para humedad; y una descripción puntual para densidad aparente. La ausencia del valor absoluto de humedad de T2-H y de valores comparativos adicionales de densidad aparente se indicó de forma explícita en la tabla y en el texto. No se estimaron datos faltantes ni se incorporaron valores externos al experimento. De este modo, la ampliación de los resultados se mantuvo circunscrita a los registros originales y a diferencias aritméticas derivadas directamente de ellos.

Discusión

El compost y el humus se evaluaron como enmiendas orgánicas para mejorar la respuesta de un suelo agrícola contaminado. Su incorporación aumenta el aporte de materia orgánica y puede modificar las propiedades físico-químicas del sustrato ⁽³⁸⁾. Asimismo, estas enmiendas suministran nutrientes, favorecen su retención y estimulan el crecimiento vegetal ⁽³⁹⁾. Estudios recientes señalan que los abonos orgánicos incrementan la capacidad de intercambio catiónico y mejoran la estructura del suelo, con efectos favorables sobre la disponibilidad de nutrientes ⁽⁴⁰⁾.

Con respecto al objetivo general, los porcentajes de variación permitieron comparar descriptivamente la respuesta de los tratamientos. T3-H presentó los mayores valores de peso y altura, además de un pH cercano a la neutralidad; no obstante, T3-C mostró el mayor incremento de conductividad eléctrica, condición que puede asociarse con mayor salinidad. En conjunto, estos resultados indican que una dosis alta de humus produjo la respuesta biológica más favorable, en concordancia con estudios que describen efectos más consistentes de las enmiendas orgánicas en suelos degradados cuando se aplican en dosis suficientes ⁽⁴¹⁾.

La interpretación de la eficiencia requiere distinguir entre un cambio porcentual y una mejora agronómica. Un incremento del peso o de la altura representa una respuesta vegetal favorable, mientras que el aumento de la conductividad eléctrica puede reflejar acumulación de sales. Por ello, la comparación entre compost y humus debe considerar simultáneamente la magnitud del cambio, el sentido agronómico de cada indicador y la significancia estadística de las diferencias.

Díaz ⁽⁴²⁾ informó que la incorporación de enmiendas puede mejorar las propiedades físicas y la calidad de suelos alterados, independientemente del material y del método de aplicación. Este antecedente es compatible con la respuesta observada en T3-H, aunque los resultados del presente estudio no permiten afirmar una remediación integral. Entre las principales limitaciones se encuentran la dificultad logística para obtener y acondicionar las muestras, el número reducido de unidades experimentales y la ausencia de una medición directa de la concentración de contaminantes antes y después del tratamiento. En consecuencia, la eficiencia se infirió mediante indicadores de crecimiento y propiedades del suelo.

Desde una perspectiva aplicada, el uso de humus y compost podría reducir la dependencia de insumos sintéticos y favorecer prácticas agrícolas más sostenibles. Sin embargo, estos beneficios potenciales dependen de la calidad de las enmiendas, de su dosificación y de las características iniciales del suelo. Por tanto, su adopción debe acompañarse de análisis físico-químicos y de un seguimiento de la salinidad y de los contaminantes de interés.

En relación con el primer objetivo específico, se evaluaron el peso y la altura de *Solanum tuberosum* durante 90 días. Como referencia, se ha señalado que, cuando los tubérculos alcanzan aproximadamente el 80 % de su desarrollo, su peso puede variar entre 40 y 60 g y la altura de la planta entre 10 y 25 cm ⁽⁴³⁾. En este estudio, el peso promedio aumentó de 32 g en el pretratamiento a 40 g en el postratamiento, mientras que la altura promedio pasó de 7.38 a 22.76 cm.

Los valores obtenidos se aproximaron a los rangos descritos en antecedentes para evaluaciones realizadas a los 90 días. Los máximos correspondieron a T3-H y T3-C, lo que sugiere una respuesta favorable a las dosis más altas de ambas enmiendas, con ventaja descriptiva para el humus. Entre las limitaciones se encontró la falta de control detallado del volumen de riego, condición que pudo influir en la descomposición de los tubérculos; además, fue necesario reemplazar uno que no germinó. Dada la importancia económica y alimentaria de la papa en el Perú, estos resultados justifican estudios con mayor número de repeticiones y un control más estricto del manejo agronómico.

Para el segundo objetivo específico se analizaron el pH, la conductividad eléctrica, la humedad y la densidad aparente. Se ha propuesto un pH de 6.5 a 7.0 como intervalo favorable para numerosos suelos agrícolas; además, valores de conductividad inferiores a 0.35 dS/m se consideran no salinos y aquellos superiores a 1.15 dS/m, muy salinos. En cuanto a la densidad aparente, se han descrito intervalos de 1.3 a 1.4 g/cm³ para suelos francos, de 1.6 a 1.7 g/cm³ para suelos arenosos y de 1.0 a 1.2 g/cm³ para suelos arcillosos ⁽⁴⁴⁾. Para la humedad se ha recomendado un intervalo de 20 % a 27 % ⁽⁴⁵⁾. En el postratamiento, el pH fue 7.45 en T3-H y 7.63 en T1-C. La menor conductividad entre los tratamientos con enmienda correspondió a T1-H, con 0.96 dS/m, mientras que T3-H y T3-C alcanzaron 2.82 y 4.90 dS/m, respectivamente. T2-C y T3-C presentaron 25 % y 22 % de humedad, valores comprendidos en el intervalo citado.

La mayor densidad aparente reportada correspondió a T2-C, con 1.31 g/cm³. Considerados en conjunto, los resultados no identifican un único tratamiento superior para todas las propiedades: T3-H favoreció principalmente el crecimiento vegetal, T1-C presentó el pH más alto y T2-C alcanzó los mayores valores de humedad y densidad aparente. De manera similar, un estudio con *Helianthus annuus* no encontró diferencias significativas en la absorción de metales pesados al aumentar el porcentaje de compost ⁽⁴⁶⁾, lo que evidencia que una mayor dosis no garantiza una remediación superior para todos los indicadores.

Por otra parte, la aplicación de humus de lombriz en suelos contaminados con petróleo produjo una respuesta favorable después de un mes, especialmente con una dosis de 7.5 kg ⁽¹⁹⁾. Este antecedente coincide con la mejor respuesta biológica observada con humus en el presente estudio. No obstante, el acceso limitado al laboratorio y la disponibilidad de agua destilada condicionaron el análisis y el riego de las unidades experimentales. La aplicación de compost y humus puede contribuir a recuperar suelos agrícolas, pero su

eficacia debe confirmarse mediante la cuantificación del contaminante objetivo, ensayos con más repeticiones y seguimiento durante periodos más prolongados.

Conclusiones

En términos descriptivos, T3-H produjo la respuesta biológica más favorable, con mayores valores de peso y altura y un pH cercano a la neutralidad. Sin embargo, los valores p bilaterales de la comparación de altura fueron superiores a 0.05, por lo que no se demostró una diferencia estadísticamente significativa para humus o compost. Los hallazgos respaldan el potencial del humus como acondicionador del suelo, pero no permiten afirmar una superioridad concluyente en la remediación, debido a que no se midió directamente la concentración de contaminantes.

A los 90 días, T3-H alcanzó 48 g de peso y 30.60 cm de altura, equivalentes a variaciones informadas de 33.33 % y 291.30 %, respectivamente. T3-C alcanzó 46 g y 28.60 cm, con variaciones de 24.32 % y 258.40 %. La prueba t de Student presentó valores p bilaterales de 0.064 para humus y 0.060 para compost; por tanto, los incrementos observados deben interpretarse como tendencias descriptivas. La pregerminación de los tubérculos puede favorecer un establecimiento más uniforme en futuros ensayos.

En las propiedades del suelo, T3-H y T1-C registraron valores de pH de 7.45 y 7.63, respectivamente. La conductividad eléctrica alcanzó 2.82 dS/m en T3-H y 4.90 dS/m en T3-C; estos incrementos, aunque porcentualmente altos, indican la necesidad de vigilar la salinidad y no deben interpretarse por sí solos como mayor eficiencia. La humedad fue de 19 % en T3-H y de 22 % en T3-C, mientras que T2-C registró una densidad aparente de 1.31 g/cm³. Se recomienda evaluar previamente la calidad y la salinidad del compost y del humus, estandarizar las dosis y medir el contaminante específico antes y después del tratamiento para establecer con mayor precisión la eficiencia de remediación.

Acerca de

Financiamiento: El autor declara que no recibieron financiamiento para esta investigación.

Conflicto de interés: El autor declara no tener conflicto de intereses.

Certificación ética: La presente investigación no requirió la aprobación de un Comité de Ética en Investigación, debido a que no involucró participantes humanos ni animales de experimentación. El estudio se realizó mediante el análisis de suelo contaminado, enmiendas orgánicas y material vegetal de *Solanum tuberosum*.

Historia del artículo: Artículo recibido 20 de mayo 2026 | Aceptado 25 de junio 2026 | Publicado 05 de agosto 2026.

Referencias

1. Silva Arroyave SM, Correa Restrepo FJ. Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. Medellín: Universidad de Medellín; 2009. <http://www.scielo.org.co/pdf/seec/v12n23/v12n23a2.pdf>
2. Lehmann J, Bossio DA, Kögel-Knabner I, Rillig MC. The concept and future prospects of soil health. Nat Rev Earth Environ. 2020;1(10):544-553. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>
3. CIAO. Manejo integrado de suelos para la agricultura orgánica familiar. Buenos Aires: CIAO; 2016. [https://www.ciaorganico.net/documypublic/773_Sintesis_Foro_Suelos_FINAL_\(1\).pdf](https://www.ciaorganico.net/documypublic/773_Sintesis_Foro_Suelos_FINAL_(1).pdf)

4. FAO. Estado Mundial del Recurso Suelo. Roma: FAO; 2015. <https://www.fao.org/3/i5126s/i5126S.pdf>
5. Ahmand N, Pandey P. Assessment and monitoring of land degradation using geospatial technology in Bathinda district, Punjab, India. *Soil Discuss.* 2018;9:75. <https://se.copernicus.org/articles/9/75/2018/>
6. Reyes-Palomino S, Cano Ccoa D. Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad. *Rev Investig Altoandinas.* 2022;24(1). <https://doi.org/10.18271/ria.2022.328>
7. FAO. La contaminación del suelo: Una realidad oculta. Informe FAO. Roma: FAO; 2019. <https://openknowledge.fao.org/items/30b955f2-9989-4629-9782-b67dfa518841>
8. Feller C, Blanchart E, Bernoux M, Lal R, Manlay R. Conceptos de fertilidad del suelo en los últimos dos siglos: la importancia atribuida a la materia orgánica del suelo en países desarrollados y en desarrollo. *Arch Agron Soil Sci.* 2012;58(Supl 1):S3–S21. <https://doi.org/10.1080/03650340.2012.693598>
9. MIDAGRI. Problemas en la agricultura peruana. Lima: MIDAGRI; 2020. <https://www.midagri.gob.pe/portal/22-sector-agrario/vision-general/190-problemas-en-la-agriculture-peruana>
10. Anaya-Raymundo MA, Ruíz-Janje A, Blas-Montenegro LP, Angulo-Valdivia RM, De la Cruz Cámaco DP. Origen, distribución y dinámica de metales pesados en suelos agrícolas: implicaciones edáficas y ambientales. *Manglar.* 2025;22(2). <https://doi.org/10.57188/manglar.2025.030>
11. Guerrero Padilla A, Florián Florián J, Florián Guerrero J. Uso de fertilizantes y plaguicidas en el distrito de Trujillo-La Libertad, 2013. *Sciendo.* 2013;16(1). <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/SCIENDO/article/view/634>
12. Torres Rodríguez D. El papel de los microorganismos en la biodegradación de compuestos tóxicos. *Ecosistemas.* 2003;12(2). <https://www.redalyc.org/pdf/540/54012219.pdf>
13. Mehboob Alam, Zawar Hussain, Anwarzeb Khan, Muhammad Amjad Khan, Abdur Rab, Muhammad Asif, Muhammad Azhar Shah, Asim Muhammad. The effects of organic amendments on heavy metals bioavailability in mine impacted soil and associated human health risk. *Scientia Horti.* 2020;262:109067. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109067>
14. Núñez Cuartas DC, Paredes Cuervo D, Cubillos Vargas J. Bioremediation for degradation of total hydrocarbons present in the sediments of a fuel service station. *Rev Técnica Fac Ingeniería Univ Zulia.* 2014;37(1). http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702014000100004
15. Wang X, Yu G, Lin H, Jiang P, Zhang Y, Liu Y, Wang Z. Advances in bioremediation of cadmium-contaminated soils. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci.* 2020;508:012006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/508/1/012006>
16. Scotti R, Bonanomi G, Scelza R, Zoina A, Rao MA. Organic amendments as sustainable tool to recovery fertility in intensive agricultural systems. *J Soil Sci Plant Nutr.* 2015;15(2):333-352. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162015005000031>
17. Paca Malca JH, Arcos Torres JF, Caballero Naranjo DN. Respuesta del cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad chaucha a la aplicación de cuatro tipos de abonos en tres dosis [tesis]. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2011. <https://agris.fao.org/search/en/providers/125028/records/674898067625988a371e3185>
18. Flores Chávez A. Efectividad Biológica del Humus de Lombriz en el Cultivo de Maíz y Chile en el Estado de Aguascalientes [tesis]. Aguascalientes: Universidad Autónoma de Aguascalientes; 2012. <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/11317/872/395014.pdf>
19. Cruzado Chicoma AA, León Muñoz LA. Aplicación de humus de *Eisenia foetida* en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos, usando *Zea mays* como indicador, en la ciudad de Piura, 2021 [tesis]. Trujillo: Universidad Privada del Norte; 2022. <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/33109/Cruzado%20Chicoma%20Alexandra%20Ana%20hi%20%20Leon%20Mu%c3%b1oz%20Lourdes%20Aracelly.pdf>

20. Kuei-San Chen, Hung-Yu Lai. Mitigating cadmium and nickel uptake in lettuce through sulfur-enriched vermicompost: Impacts on soil fertility and sulfur compounds. *Scientia Hort.* 2025;346:114178. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2025.114178>
21. GENCAT. Concepto suelo. Barcelona: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya; 2024. <https://www.icgc.cat/es/Administracion-y-empresa/Servicios/Suelos/Concepto-suelo>
22. INIA Tacuarembó. Semana de la Ciencia y Tecnología. Tacuarembó: INIA; 2015. <https://ainfo.inia.uy/consulta/busca?b=ad&biblioteca=vazio&busca=assunto%3ASUELO&id=54812&paginaAtual=9&paginacao=t&qFacets=assunto%3ASUELO&sort=ano-publicacao&utm>
23. Bebbier DP, Richards VR. A meta-analysis of the effect of organic and mineral fertilizers on soil microbial diversity. *Appl Soil Ecol.* 2022;175:104450. <https://doi.org/10.1016/J.APSSOIL.2022.104450>
24. Volke Sepúlveda T, Velasco Trejo JA. Tecnologías de la remediación para Suelos Contaminados. México: Instituto Nacional de Ecología; 2002. <http://www.ecopuerto.com/Bicentenario/informes/TecnologiasRemediacion.pdf>
25. Murillo W. La investigación científica. Monografías; 2008. <https://www.monografias.com/trabajos15/invest-cientifica/invest-cientifica>
26. Hernández-Sampieri R, Mendoza Torres CP. Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. México: McGraw-Hill Interamericana Editores; 2018. <https://bellasartes.upn.edu.co/wp-content/uploads/2024/11/METODOLOGIA-DE-LA-INVESTIGACION-Sampieri-Mendoza-2018.pdf>
27. Heale R, Twycross A. Validez y fiabilidad en estudios cuantitativos. *Enferm Basada Evid.* 2015;18(3):66–67. <https://doi.org/10.1136/eb-2015-102129>
28. Ramos Galarza C. Diseños de investigación experimental. *CienciAmérica.* 2021;9(1):1–6. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7890336.pdf>
29. Sarduy Domínguez Y. El análisis de información y las investigaciones cuantitativa y cualitativa. *Rev Cubana Salud Pública.* 2007;33(3). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=21433320>
30. Pineda E, Alvarado E, Canales F. Metodología de la investigación: manual para el desarrollo de personal de salud. Washington, D.C.: Organización Panamericana de la Salud; 1994. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/3132?locale-attribute=es>
31. Castro M. Bioestadística aplicada en investigación clínica: conceptos básicos. *Rev Méd Clín Las Condes.* 2019;30(1):53–63. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0716864019300045>
32. López P. Población, muestra y muestreo. *Rev Inst Med Sucre.* 2004;69(124):33-37. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012
33. Mejía E. Técnicas e instrumentos de investigación. Lima: UNMSM; 2005. <http://online.aliat.edu.mx/adistancia/InvCuantitativa/LecturasU6/tecnicas.pdf>
34. Rojas Crotte IR. Elementos para el diseño de técnicas de investigación: una propuesta de definiciones y procedimientos en la investigación científica. *Tiempo Educar.* 2011;12(24):277-297. <https://www.redalyc.org/pdf/311/31121089006.pdf>
35. Estrada Illán G, Caravantes Estrada J. Instrumentos de investigación. México: UTP; 2018. <https://tecnocientifica.com.mx/libros/Instrumentos-de-investigaci%C3%B3n-1.pdf>
36. Arias Gonzáles JL. Técnicas e instrumentos de investigación científica: Para ciencias administrativas, aplicadas, artísticas, humanas. Puno: Enfoques Consulting EIRL; 2020. <https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w26118w/Tecnicas%20e%20instrumentos.pdf>
37. Flores-Ruiz E, Miranda-Novales MG, Villasís-Keever MA. El protocolo de investigación VI: cómo elegir la prueba estadística adecuada. *Estadística inferencial. Rev Alerg Mex.* 2017;64(3):364-370. <https://doi.org/10.29262/ram.v64i3.304>

38. Campos Félix W. Efecto del abonamiento orgánico en el rendimiento del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Amarilis, en condiciones edafoclimáticas de Huacrachuco – Marañón [tesis]. Huánuco: Universidad Nacional Hermilio Valdizán; 2018. <https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/3300/TAG%2000734%20C24.pdf>
39. Ramos D, Terry E. Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Trop.* 2014;35(4):52-59. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193232493007>
40. Paula Lillo, María del Mar Delgado, Miguel Ángel Porcel, Sara Sánchez-Moreno. Organic amendments drive agroecosystem multifunctionality and soil micro-food web short-term dynamics. *Agric Ecosyst Environ.* 2025;388:109657. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2025.109657>
41. Laís Carvalho Vicente, Emanuela Forestieri Gama-Rodrigues, Antonio Carlos Gama-Rodrigues, Cláudio Roberto Marciano. Organic carbon within soil aggregates under forestry systems and pasture in a southeast region of Brazil. *Catena.* 2019;182:104139. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104139>
42. Díaz Muegue LC. Remediación de suelos alterados por actividad de minería del carbón a cielo abierto, mediante aplicación de biochar procedente de residuos biomásicos de la palma de aceite en la zona carbonífera del departamento del Cesar [tesis]. Medellín: Universidad de Antioquia; 2017. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/9684/1/DiazLuis_2017_RemedacionSuelosAlterados.pdf
43. Torres L, Montesdeoca F, Andrade-Piedra J. Oferta y demanda de innovaciones tecnológicas en un contexto de mercado, caso CONPAPA. Guaranda: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) / CIP; 2011. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4484>
44. Castillo C. Selección y calibración de indicadores locales y técnicos para evaluar la degradación de los suelos laderas, en la microcuenca Cuscamá el Tuma-La Dalia Matagalpa, 2005 [tesis]. Managua: Universidad Nacional Agraria; 2005. <https://repositorio.una.edu.ni/1094/>
45. Carvajal A, Cevallos R, Carvajal D, Vega E. Incidencia del grado de humedad en suelos en textura franco limoso, ante la aplicación de las labores de arado y rastrado. *Conciencia Digital.* 2019;2(3.1):6-19. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7164419.pdf>
46. Armas Silva SR, Ramírez Vela DE. Aplicación del compost, para la absorción de metales pesados usando girasol (*Helianthus annuus* L.) en suelos procedentes del distrito de Irazola, Perú [tesis]. Pucallpa: Universidad Nacional de Ucayali; 2020. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNU_c358e2f91860dd20a306796b495318bc