



## Morfometría y biomasa radicular de vetiver (*Chrysopogon zizanioides L.*) bajo cinco tipos de sustratos en Cajamarca - Perú

*Morphometry and root biomass of vetiver (Chrysopogon zizanioides L.) under five types of substrates in Cajamarca-Peru*

Morfometria e biomassa radicular de vetiver (*Chrysopogon zizanioides L.*) sob cinco tipos de sustratos em Cajamarca-Peru

**Ismael Suárez<sup>1</sup>**


Universidad Nacional de Frontera, Sullana - Piura, Perú

 <https://orcid.org/0000-0001-5189-7282>

issuarezmedina1975@gmail.com (correspondencia)

**Lesly Manrique**

Universidad Nacional Autónoma de Chota,  
Chota - Cajamarca, Perú

 <https://orcid.org/0009-0009-0471-1639>

leslymanriqueros@gmail.com

**Brendy Uria**

Universidad Nacional de Frontera, Sullana - Piura, Perú

 <https://orcid.org/0000-0001-7075-3532>

brendyuriaceli@gmail.com

**Alex Huatay**

Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca - Cajamarca, Perú

 <https://orcid.org/0000-0002-0577-7375>

ahuatays@unc.edu.pe

DOI: <https://doi.org/10.35622/j.rca.2026.02.001>

Recibido: 29/12/2025 Aceptado: 28/02/2026 Publicado: 02/04/2026

### PALABRAS CLAVE

biomasa radicular,  
morfometría radicular,  
propagación vegetativa,  
vetiver.

**RESUMEN.** El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de cinco tipos de sustratos sobre la morfometría y la biomasa radicular del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides L.*) en la región de Cajamarca, Perú. El experimento se condujo bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cinco tratamientos (T0: tierra agrícola; T1: tierra agrícola + arena de río 1:1; T2: tierra agrícola + humus de lombriz 2:1; T3: arena de río + humus de lombriz 2:1; T4: tierra agrícola + arena de río + humus 2:2:1), con tres repeticiones. Se evaluaron variables de morfometría (prendimiento, altura y número de tallos, número de hojas, longitud y número de raíces) y biomasa radicular (materia seca de raíces - MSR). El análisis de varianza (ANOVA) mostró que los sustratos no causaron diferencias significativas en el prendimiento, tallos, hojas o materia seca de raíces (MSR). Sin embargo, sí hubo efectos significativos en la morfología. El T2 (tierra agrícola + humus 2:1) produjo la mayor altura de tallo (7,6 cm) y número de raíces (29,8). Por otro lado, el T1 (tierra agrícola + arena 1:1) resultó superior en la longitud de raíz (38,0 cm). Se concluye que los sustratos no

<sup>1</sup> Candidato a Doctor en Ciencias Ambientales por la Universidad Nacional de Trujillo, Perú.



modificaron la acumulación total de biomasa radicular, pero sí influyeron en los componentes morfológicos del sistema radical. La promoción de un desarrollo radicular óptimo por parte de los sustratos con humus (T2) y arena (T1) es relevante para la selección de material de propagación destinado al control de erosión en la sierra de Cajamarca.

#### KEYWORDS

root biomass, root morphometry, vegetative propagation, vetiver.

**ABSTRACT.** The objective of this research was to evaluate the effect of five types of substrates on the morphometry and root biomass of vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides* L.) in the Cajamarca region of Peru. The experiment was conducted under a completely randomized design (CRD) with five treatments (T0: agricultural soil; T1: agricultural soil + river sand 1:1; T2: agricultural soil + worm humus 2:1; T3: river sand + worm humus 2:1; T4: agricultural soil + river sand + humus 2:2:1), with three replicates. Morphometric variables (germination, height and number of stems, number of leaves, length and number of roots) and root biomass (dry root matter - DRM) were evaluated. Analysis of variance (ANOVA) showed that the substrates did not cause significant differences in germination, stems, leaves, or dry root matter (DRM). However, there were significant effects on morphology. T2 (agricultural soil + humus 2:1) produced the highest stem height (7.6 cm) and number of roots (29.8). On the other hand, T1 (agricultural soil + sand 1:1) was superior in root length (38.0 cm). It is concluded that the substrates did not modify the total accumulation of root biomass, but did influence the morphological components of the root system. The promotion of optimal root development by substrates with humus (T2) and sand (T1) is relevant for the selection of propagation material for erosion control in the Cajamarca mountains.

#### PALAVRAS-CHAVE

biomassa radicular, morfometria radicular, propagação vegetativa, vetiver.

**RESUMO.** O objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito de cinco tipos de sustratos sobre a morfometria e a biomassa radicular da grama vetiver (*Chrysopogon zizanioides* L.) na região de Cajamarca, Peru. O experimento foi conduzido sob um Desenho Completamente Aleatório (DCA) com cinco tratamentos (T0: solo agrícola; T1: solo agrícola + areia de rio 1:1; T2: solo agrícola + húmus de minhoca 2:1; T3: areia de rio + húmus de minhoca 2:1; T4: solo agrícola + areia de rio + húmus 2:2:1), com três repetições. Foram avaliadas variáveis de morfometria (enraizamento, altura e número de caules, número de folhas, comprimento e número de raízes) e biomassa radicular (matéria seca das raízes - MSR). A análise de variância (ANOVA) mostrou que os sustratos não causaram diferenças significativas no enraizamento, caules, folhas ou matéria seca das raízes (MSR). No entanto, houve efeitos significativos na morfologia. O T2 (terra agrícola + húmus 2:1) produziu a maior altura de caule (7,6 cm) e número de raízes (29,8). Por outro lado, o T1 (terra agrícola + areia 1:1) foi superior no comprimento da raiz (38,0 cm). Conclui-se que os sustratos não modificaram a acumulação total de biomassa radicular, mas influenciaram os componentes morfológicos do sistema radicular. A promoção de um desenvolvimento radicular ideal por parte dos sustratos com húmus (T2) e areia (T1) é relevante para a seleção de material de propagação destinado ao controle da erosão na serra de Cajamarca.

## 1. INTRODUCCIÓN

El vetiver (*Chrysopogon zizanioides* L.), una gramínea perenne originaria del Sur de la India (Holanda et al., 2021), es globalmente reconocido por su sistema radicular excepcional. Este sistema es masivo, denso y estructurado, con raíces capaces de alcanzar profundidades de 3 a 4 metros en el primer año (Teshome, 2016). La robustez de esta red radical confiere al vetiver una extrema tolerancia a la sequía y lo convierte en uno de los métodos naturales más eficaces y económicos para la protección ambiental (Silva et al., 2018). La eficacia del sistema vetiver en la estabilización de pendientes y el control de erosión se basa en sus atributos biofísicos: posee tallos erectos y rígidos que frenan el flujo superficial del agua, y una masa radicular que une y refuerza la estructura del suelo. De hecho, la resistencia a la tracción de las raíces del vetiver es comparable a 1/6 de la resistencia del acero dulce, lo que requiere una fuerza extraordinaria para desprender la planta (Truong & Thai,

2015). Estos atributos no solo facilitan la infiltración y aumentan la materia orgánica, sino que permiten a la planta prosperar en condiciones adversas, incluyendo suelos salinos, sódicos y ácidos (García et al., 2024).

Dada su morfología única, el vetiver se ha consolidado como una herramienta vital para la protección ambiental a nivel global (Campojo & Castillo, 2025). Sus características fisiológicas y morfológicas le permiten prosperar en condiciones extremas y tóxicas, tolerando altos niveles de salinidad, acidez y metales pesados (Torres et al., 2020). En aplicaciones de fitorremediación, ha demostrado la capacidad de acumular plomo en su biomasa y eliminar más del 90% de nitrógeno y fósforo en sistemas hidropónicos (Holanda et al., 2021; Keshewani et al., 2022). Debido a esta alta rusticidad y adaptabilidad, el vetiver es ampliamente utilizado como barrera viva para la gestión de cuencas, la estabilización de taludes y la mitigación de la degradación de suelos y procesos erosivos, problemas prevalentes en muchas regiones (Dorafshan et al., 2023; García et al., 2024).

El éxito en la aplicación del sistema vetiver depende de la calidad de las plántulas, lo que exige que los viveros produzcan grandes volúmenes de material de alta calidad a bajo costo (Kumar & Nikhil, 2016). Aunque la planta de vetiver es sumamente resistente en su etapa adulta, adaptándose a todo tipo de terrenos e incluso penetrando capas rocosas (Torres et al., 2020), el método de propagación vegetativa por esquejes deja a la plántula débil y vulnerable durante las primeras 6 a 8 semanas de crecimiento en vivero (Shimi & Anilkumar, 2014). Durante esta fase crítica, las condiciones subóptimas del sustrato incrementan significativamente la mortalidad y el estrés fisiológico, como la clorosis (Noorasyikin & Zainab, 2026). Por ello, la elección de un sustrato adecuado es crucial para garantizar el desarrollo eficiente de la morfometría radicular y producir plántulas de alta calidad (Kumar & Nikhil, 2016). Este manejo inicial es vital para asegurar el éxito del vetiver al ser usado posteriormente en el control de erosión. Para lograr un establecimiento exitoso y un rendimiento óptimo en campo, es crucial optimizar las condiciones iniciales de cultivo. La literatura actual se centra a menudo en los usos finales, dejando un vacío de conocimiento sobre la influencia directa del sustrato en el desarrollo inicial de la planta (Jayashree et al., 2014). Las características de suelo, clima y temperatura para el cultivo de vetiver son determinantes para un buen desarrollo de la planta y obtener mayor cantidad de materia seca radicular y/o biomasa (Garate et al., 2021).

El humus es un sustrato fundamental para optimizar las propiedades edáficas agrícolas (Mendoza et al., 2024), ya que, a diferencia de la arena, que solamente contribuye a la macroporosidad y al drenaje, pero reduce la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la retención hídrica (Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura [INTAGRI], 2021), mejora integralmente el suelo; puesto que, incrementa la disponibilidad de nutrientes, la actividad microbiana, la estructura y eleva la capacidad de retención de humedad y la CIC (Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA], 2016). Para el pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), la incorporación de humus resulta altamente beneficiosa, pues la mejora en las condiciones hídricas y nutricionales impulsa el desarrollo de su profundo sistema radicular, esencial para sus funciones de estabilización y fitorremediación (Truong, 2012; Mendoza et al., 2024).

La propagación del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) en vivero se realiza exclusivamente de forma asexual, principalmente mediante la división de los macollos de plantas madre bien desarrolladas y con una edad ideal de 4 a 6 meses, dado que la planta es estéril (Truong, 2012). El método más común y eficiente consiste en separar los esquejes individuales, recortando el follaje a una altura de 15-20 cm y las raíces a 5 cm para estimular la brotación de nuevas raíces más fuertes (Asociación Guatemalteca de Exportadores [AGEXPORT], 2021). Estos esquejes son inmediatamente plantados en bolsas de polietileno individuales o en

contenedores biodegradables que contengan un sustrato ligero para su enraizamiento y desarrollo inicial, lo cual asegura la supervivencia y facilita el trasplante al campo definitivo (INIA, 2016). Debido a que el éxito del vetiver en el control de la erosión radica en su sistema radicular, esta investigación se centró en métricas juveniles clave. El objetivo fue evaluar el efecto de cinco tipos de sustratos de cultivo sobre la morfometría y la biomasa radicular del vetiver propagado por esquejes, buscando determinar la formulación óptima para la producción eficiente de plántulas de alta calidad en Cajamarca, Perú.

## 2. MÉTODO

### Área de estudio y material biológico

El estudio se ejecutó en la comunidad de Llanduma Bajo, distrito de Cochabamba, provincia de Chota, Cajamarca, Perú, ubicado a 1 704 m s. n. m., entre las coordenadas UTM E735804S y N9283472; en un vivero de 42,845m<sup>2</sup> (Figura 1), cuya estructura fue construida con postes de *Eucalyptus globulus* y cubierta con malla raschel verde al 60% de luminosidad para optimizar las condiciones de crecimiento. Durante el periodo experimental (marzo a julio) se registraron temperaturas que oscilaron entre 30°C y 12°C, humedad relativa promedio de 71,4% y precipitación de 1,88 mm/día (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI-Cochabamba], 2024).

El material vegetal (vetiver, *Chrysopogon zizanioides* L.) se obtuvo a partir de la selección de plantas madre sanas, con una edad promedio de uno a año y medio. Tras la extracción cuidadosa y la limpieza para remover hojas secas, los esquejes se prepararon mediante la poda de hojas a una longitud aproximada de 20 cm y el corte de las raíces a 5 cm del cuello de la planta, utilizando una tijera desinfectada. Las raíces se lavaron con agua limpia y los esquejes se agruparon en paquetes de 50 a 80 unidades. Para prevenir la deshidratación, estos paquetes se envolvieron en papel periódico humedecido y se transportaron en cooler de plástico. Una vez en el vivero, los esquejes se colocaron en recipientes con agua bajo sombra por un lapso de 24 horas, con la finalidad de promover la formación de nuevas raíces y asegurar su viabilidad antes de la siembra.

### Tipo, nivel y diseño de la investigación

La investigación es de enfoque cuantitativo, nivel explicativo y de tipo aplicado, con miras a optimizar la propagación de vetiver. Se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA), compuesto por 5 tratamientos y 3 repeticiones, totalizando 15 unidades experimentales (UE). Cada UE se conformó por 25 esquejes, sumando 375 esquejes en total (Tabla 1). El experimento se instaló en un área total de 42,85 m<sup>2</sup>, con dimensiones de 7,81 m de largo por 5,49 m de ancho, donde cada unidad experimental ocupó 0,580 m<sup>2</sup>; las UE fueron acondicionadas en bolsas con sustrato colocadas a 20 cm de profundidad, y se delimitaron pasadizos de 0,60 m (verticales) y 0,50 m (horizontales) para el manejo (Figura 1).

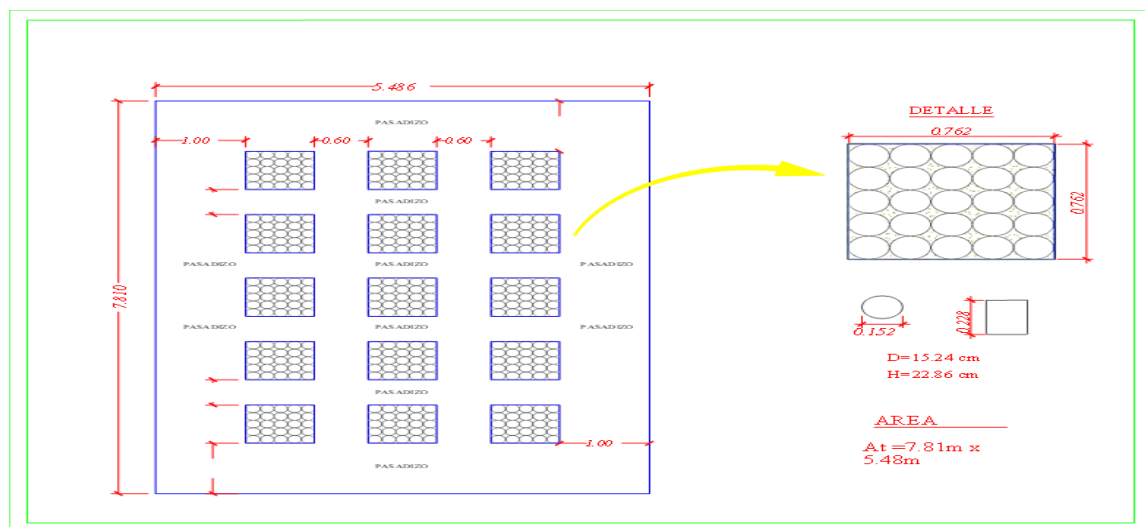
**Tabla 1**

*Composición y asignación de los tratamientos bajo un diseño completamente al azar*

Tratamientos	Tipo de sustrato	Proporción	Repeticiones	N° de esquejes/UE
T0	Tierra agrícola del lugar (Testigo)	1 (puro)	3	25
T1	Tierra agrícola + Arena de río	01:01	3	25
T2	Tierra agrícola + Humus de lombriz	02:01	3	25
T3	Arena de río + Humus de lombriz	02:01	3	25
T4	Tierra Agrícola + Arena de río + Humus de lombriz	02:02:01	3	25
Total				375

**Figura 1**

*Croquis del experimento*



### Origen, preparación y desinfección del sustrato

Los sustratos se compusieron de arena de río, suelo agrícola y humus de lombriz. La arena de río se recolectó en la quebrada Llanduma y el suelo agrícola se obtuvo del área adyacente al vivero. El humus de lombriz fue adquirido en SODIMAC-Chiclayo proveniente de RENEMAR S.A. Previo a su uso, el suelo agrícola y la arena se zarandearon para retirar impurezas. Luego, se desinfectaron con una solución de formol (40% a 250mL/10 L de agua) para eliminar patógenos y plagas. El sustrato se cubrió con plástico negro por 48 horas para la acción del gas. Finalmente, se aireó por 3 días antes de ser ensacado y distribuido a las unidades experimentales.

### Manejo e instalación del experimento

El experimento se instaló utilizando bolsas de polietileno negras de 6" x 9" x 2 mm, las cuales fueron llenadas con los sustratos correspondientes y dispuestas en cada parcela experimental. Previo a la siembra, se realizó el riego inicial para humedecer el sustrato, seguido de la hoyación con un repicador en el centro de cada bolsa, en la que se colocaron los esquejes. Después de la siembra, se procedió a la codificación de los tratamientos mediante placas de triplay por cada unidad experimental. El riego de mantenimiento se aplicó con regadera manual, con frecuencia interdiario durante el primer mes y, posteriormente, cada 4 días hasta el final del periodo.

de evaluación. Los deshierbo fueron manuales, eliminando las malezas dentro y fuera de las parcelas para evitar la competencia por nutrientes, agua y luz.

### Medición de variables morfométricas y biomasa radicular

La evaluación de variables morfométricas aéreas se realizó cada 30 días, durante cuatro meses, abarcando la totalidad de la muestra (375 esquejes). Las mediciones incluyeron: porcentaje de prendimiento (PP), calculado como la proporción de esquejes prendidos en cada unidad experimental (UE); número de hojas (NH) y número de macollos/tallos (NM), registrados por conteo simple; sin embargo, la altura de tallo (AT) se determinó midiendo el más alto y el más bajo en cada esqueje, desde la superficie del sustrato, para obtener el promedio por UE. Para las mediciones lineales se utilizó una regla milimétrica y un escalímetro (Israth & Anilkumar, 2019; Jayashree et al., 2014).

La longitud, número de raíces y la biomasa radicular se evaluaron al final del experimento (a los 120 días después de la siembra) mediante un muestreo destructivo. Se seleccionaron aleatoriamente cinco (5) plantas representativas de cada una de las 15 unidades experimentales, obteniendo un total de 75 muestras. Las plantas muestreadas se trasladaron al laboratorio. Utilizando una tijera de podar, se separó cuidadosamente la parte aérea de la raíz. Cada muestra vegetal fue codificada y colocada en sobres manila para su secado. Las muestras de raíz fueron secadas en una estufa de aire forzado a 70 °C durante 24 horas. Transcurrido este tiempo, se retiraron procediendo a determinar el peso seco de la raíz con una balanza analítica, registrando los datos.

### Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Los datos obtenidos fueron organizados y procesados inicialmente en Microsoft Excel. Para la comprobación de los supuestos del análisis de varianza (ANOVA), se verificó la normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Bartlett en el software RStudio. Una vez validados los supuestos, los datos fueron sometidos al ANOVA para determinar diferencias significativas entre tratamientos, utilizando la prueba de F a niveles de probabilidad del 1% y 5% ( $\alpha = 0.01$  y  $\alpha = 0.05$ ). La comparación de medias entre tratamientos se realizó posteriormente con la prueba de Tukey, utilizando el software Sisvar a los mismos niveles de significancia.

## 3. RESULTADOS

### Normalidad y homogeneidad de varianzas de variables morfométricas y biomasa radicular

Tabla 2

*Normalidad y homogeneidad de varianzas mediante los métodos de Shapiro Wilk y Bartlett*

Variables	Normalidad de datos	Homogeneidad de varianza
Porcentaje de prendimiento	p-value = 0,31	p-value = 0,97
Altura de tallo	p-value = 0,23	p-value = 0,24
Número de hojas	p-value = 0,91	p-value = 0,62
Número de tallos	p-value = 0,99	p-value = 0,65
Longitud de raíz	p-value = 0,56	p-value = 0,64
Número de raíces	p-value = 0,80	p-value = 0,60
Materia seca	p-value = 0,31	p-value = 0,10

Nota.  $p > \text{valor} > 0,05$ .

La Tabla 2 evidencia los datos de las variables porcentaje de prendimiento, altura del tallo, número de hojas, número de tallos, longitud de la raíz, número de raíces y materia seca de raíces en los diferentes sustratos si presentan normalidad y homogeneidad de varianzas, ya que los valores obtenidos en el Rstudio son mayores a 0,05. Por lo tanto, se procedió a realizar el análisis de varianza.

### Evaluación de variables morfométricas y biomasa radicular de *Chrysopogon zizanioides* L

**Tabla 3**

*Análisis de varianza del efecto de los sustratos en las variables morfométricas y biomasa*

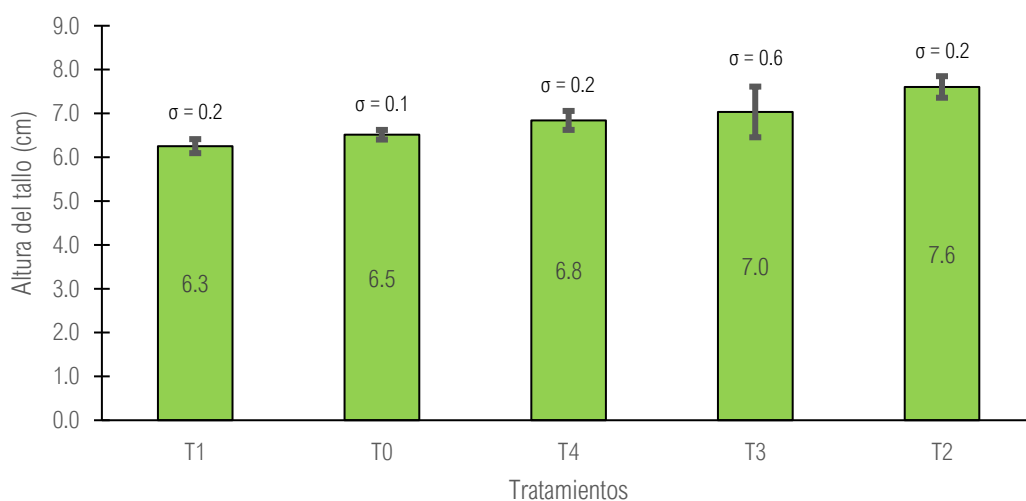
Variable	Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Pr > Fc	CV (%)
Porcentaje de prendimiento	Sustratos	4	132,3	33,1	0,8	0,05	7,05
Altura de tallo	Sustratos	4	3,2	0,8	8,4	0,003	4,52
Número de hojas	Sustratos	4	53,2	13,3	2,5	0,1	15,8
Número de macollos/tallos	Sustratos	4	1,9	0,5	1,7	0,2	19,2
Longitud de raíz	Sustratos	4	81,3	20,3	5,5	0,01	5,5
Número de raíces	Sustratos	4	181,1	45,3	4,9	0,02	11,6
Peso seco de raíces	Sustratos	4	2,1	0,5	0,4	0,8	16,6

*Nota.* GL: Grados de libertad; SC: Suma de cuadrados; CM: Cuadrados medios; Fc: F calculado; Pr>Fc: Probabilidad; CV: Coeficiente de variación;  $p < 0.05$  indica significancia estadística.

El análisis de varianza del efecto de los sustratos sobre las variables de crecimiento del vetiver reveló (Tabla 3) que las condiciones del medio influyeron significativamente en la morfometría de la planta, afectando su altura de tallo, longitud de raíz y número de raíces. Sin embargo, las variables de acumulación de biomasa y de vigor general, como el porcentaje de prendimiento, el número de hojas, el número de macollos/tallos y el peso seco de raíces, demostraron ser robustos e independientes del tipo de sustrato. Esto sugiere que las mezclas alteraron el patrón y la distribución del crecimiento radicular y aéreo, pero no afectaron la capacidad general del vetiver para acumular masa seca.

**Figura 2**

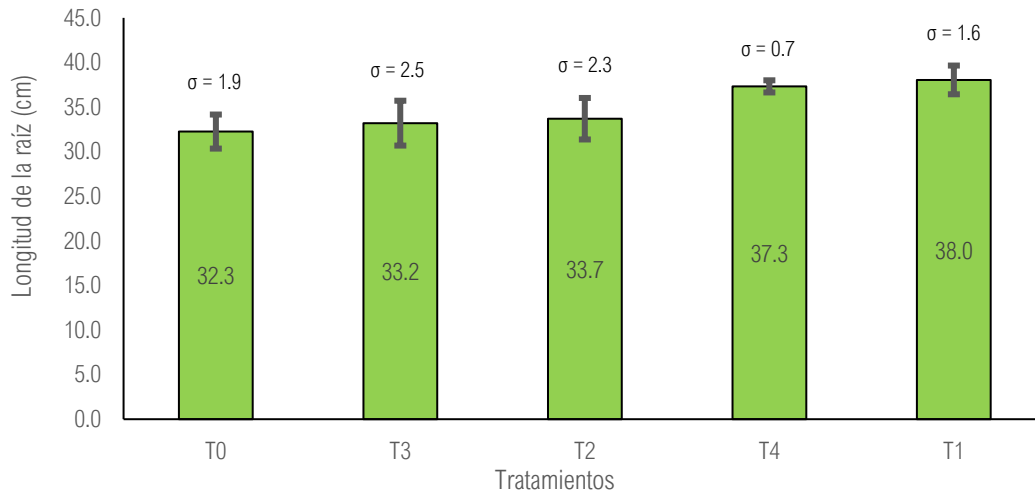
*Efecto de los sustratos sobre la altura de macollos/tallo*



El sustrato Tierra agrícola + Arena de río (T2) representa la formulación óptima para maximizar la altura del tallo en la etapa juvenil del vetiver. Este resultado subraya la importancia crítica del humus de lombriz como enmienda para el desarrollo vegetativo del *C. zizanioides*, superando los efectos beneficiosos del drenaje simple proporcionado por la arena.

### Figura 3

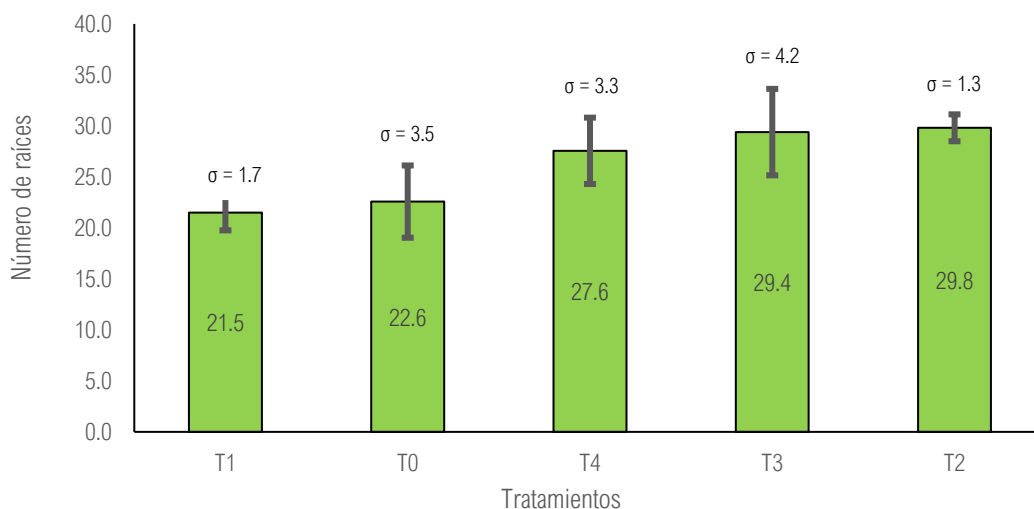
Efecto de los sustratos sobre longitud de raíces



Si bien la combinación simple de Tierra Agrícola y Arena (T1) estimuló la mayor longitud, el sustrato que integró los tres componentes (T4: Tierra Agrícola, Arena y Humus) ofreció el mejor rendimiento general. El T4 no solo promovió un crecimiento radicular sobresaliente, sino que, crucialmente, resultó en la mayor uniformidad entre las plántulas. Por consiguiente, la formulación T4 se establece como la alternativa óptima para la producción eficiente de plántulas de vetiver de alta calidad, asegurando un sistema radicular robusto y consistente, fundamental para el anclaje y la fitorremediación en condiciones de campo.

### Figura 4

Efecto de los sustratos sobre número de raíces



Los tratamientos enriquecidos con humus (T2 y T3) se establecieron como significativamente superiores en la estimulación de la rizogénesis, lo cual subraya el papel irremplazable de esta enmienda en la optimización nutricional y hormonal del sustrato. Considerando la producción de plántulas de alta calidad para el control de la erosión, el T4 (Tierra Agrícola + Arena + Humus) es la mejor formulación, ya que logra el equilibrio más robusto entre la cantidad y la longitud radicular, asegurando un sistema radicular complejo, denso y profundo, listo para el anclaje en campo.

**Tabla 4**

*Prueba de Tukey para altura de tallo, longitud y número de raíces*

Altura de tallo		
Sustratos	Proporción	Media
Tierra agrícola +arena de rio	2:1	6,3b
Tierra agrícola	1 (puro)	6,5b
Tierra agrícola+arena de rio+humus de lombriz	2:2:1	6,8ab
Arena de rio+humus de lombriz	2:1	7,0ab
Tierra agrícola+humus de lombriz	2:1	7,6a
Promedio		6,8
Longitud de raíces		
Sustratos	Proporción	Media
Tierra agrícola	1 (puro)	32,3b
Arena de rio+humus de lombriz	2:1	32,3ab
Tierra agrícola+humus de lombriz	2:1	33,7ab
Tierra agrícola+arena de rio+humus de lombriz	2:2:1	37,3ab
Tierra agrícola+arena de rio	2:1	38,0a
Promedio		34,9
Número de raíces		
Sustratos	Proporción	Media
Tierra agrícola +arena de rio	2:1	21,5b
Tierra agrícola	1 (puro)	22,6ab
Tierra agrícola+arena de rio+humus de lombriz	2:2:1	27,6ab
Arena de rio+humus de lombriz	2:1	29,4ab
Tierra agrícola+humus de lombriz	2:1	29,8a
Promedio		26,2

La prueba de Tukey demostró (Tabla 4) que el sustrato con Tierra agrícola más Humus de lombriz (2:1) fue el más eficaz para el desarrollo vertical y la ramificación, obteniendo la media más alta en altura de tallo (7,6 cm) y en número de raíces (29,8), siendo superior a los sustratos con menor o nulo contenido de humus. En contraste, el sustrato compuesto por tierra agrícola más arena de río (2:1) fue el que promovió la máxima longitud de raíz (38,0 cm), sugiriendo que la mejora en la estructura y el drenaje fue el factor limitante para la exploración profunda de la raíz, mientras que la adición de humus optimizó la biomasa total y la proliferación de raíces secundarias y tallos.

#### 4. DISCUSIÓN

El análisis del comportamiento del vetiver frente a los cinco sustratos reveló que la planta es robusta para la supervivencia, pero exigente en nutrientes para el crecimiento. En esa línea, el porcentaje de prendimiento no mostró diferencias estadísticas significativas, lo que confirma la alta adaptabilidad de *C. zizanioides* en la fase inicial, un hallazgo consistente con estudios previos (Siñani, 2012; Moula & Rahman, 2008; Moula et al., 2020). Numéricamente, los mejores resultados se observaron en Tierra Agrícola + Arena de Río (93,3% en promedio), atribuido al óptimo equilibrio entre aireación y retención de humedad (Rodríguez, 2016). La tendencia de valores ligeramente más bajos en las mezclas con humus se explica por la excesiva retención de humedad de esta enmienda, que pudo reducir marginalmente la aireación y crear condiciones ligeramente inhibitorias para el enraizamiento inicial (Gaspar et al., 2007; Murga, 2025). La alta viabilidad en el sustrato de Tierra Agrícola pura lo posiciona como la opción más económica y viable para la propagación inicial en Chota-Cajamarca.

Las variables de crecimiento se dividieron según el factor limitante del sustrato. La Longitud de Raíz fue significativamente maximizada por el sustrato Tierra Agrícola + Arena de Río, lo que subraya el papel dominante de la estructura física y el drenaje en la exploración radical profunda (Rodríguez, 2016; Islam et al., 2016). Este crecimiento profundo es vital para el anclaje y la protección contra la erosión (Islam et al., 2016; Campojo & Castillo, 2025; Chen et al., 2015). En contraste, la Altura de Tallo y el Número de Raíces fueron significativamente superiores en el sustrato Tierra Agrícola + Humus de Lombriz. Este hallazgo confirma que la fertilidad orgánica (NPK) y sus sustancias bioestimulantes impulsan la división celular y la elongación (Hussain et al., 2015; Cardoza et al., 2024; Colla et al., 2017). Variables no significativas como el Número de Hojas y Macollos siguieron esta misma tendencia numérica de respuesta al humus (Prisa, 2023; Quispe, 2009).

La ausencia de diferencias estadísticas en el peso seco de raíces ( $p > 0.05$ ) fue un hallazgo notable, a pesar de las diferencias significativas en la morfometría (longitud y número). Esto sugiere que el vetiver aplicó un mecanismo de compensación biológica: el mayor peso por profundidad (en sustratos con arena) fue equilibrado por la mayor densidad y ramificación (en sustratos orgánicos), resultando en una biomasa total radical equivalente en todos los tratamientos (Hussain et al., 2020). Esta dinámica, que prioriza la morfometría estructural para el anclaje y la morfometría nutricional para la densidad, es crucial para la estabilidad edáfica (Chávez, 2022; Hudek et al., 2017).

A pesar de los hallazgos significativos, es esencial reconocer las limitaciones inherentes al diseño; puesto que, la principal restricción fue el periodo de evaluación limitado a la fase de vivero, lo que solo refleja el crecimiento inicial y no permite extrapolar el rendimiento del vetiver a largo plazo en condiciones de campo, donde la exploración radical puede superar los 2 a 4 metros y las plantas enfrentan estrés ambiental real. Asimismo, la investigación se centró en la morfometría sin incluir el análisis de variables cruciales como el diámetro del tallo o el área foliar, lo que restringe la predicción de la biomasa aérea total. Finalmente, la ausencia de una caracterización fisicoquímica del suelo base y del contenido de NPK en el tejido vegetal final impide determinar la eficiencia de absorción de nutrientes y la tasa de agotamiento de cada sustrato, limitando una recomendación nutricional precisa para el productor de Cajamarca.

#### 5. CONCLUSIONES

El vetiver (*C. zizanioides*) es una planta notablemente robusta en el establecimiento (con un alto porcentaje de prendimiento en todos los medios), pero exigente en nutrientes para maximizar su crecimiento. El Análisis de

Varianza (ANOVA) confirmó que el tipo de sustrato afectó significativamente la altura de tallo, la longitud de raíz y el número de raíces; mientras que las variables de vigor general como el peso seco de raíces no fueron afectadas. La Prueba de Tukey demostró que el aporte nutricional es el motor del desarrollo aéreo y de la proliferación de raíces secundarias; mientras que el sustrato de Tierra Agrícola + Arena de Río promovió la máxima longitud de raíz, indicando que la estructura y el drenaje son el factor limitante para la exploración radical profunda.

Para la producción de plantones de vetiver en Chota - Cajamarca, se recomienda a los agricultores priorizar el sustrato de Tierra Agrícola enmendado con Humus de Lombriz (2:1) para maximizar la altura de tallo y el número de raíces, factores directamente relacionados con la biomasa aérea y la densidad radicular, lo cual optimiza la capacidad de la planta para la fitorremediación y la producción de material vegetativo. No obstante, para proyectos centrados en la estabilización de taludes arenosos, el sustrato de tierra agrícola con arena de río (1:1) es superior, ya que maximiza la longitud de raíz, mejorando el anclaje profundo. Se sugiere usar la Tierra Agrícola pura (testigo) solo para la fase inicial de propagación debido a su bajo costo y alta tasa de prendimiento.

#### **Conflicto de intereses/Competing interests:**

Los autores declaran que no incurren en conflicto de intereses.

#### **Rol de los autores/Authors roles:**

Ismael Suárez: análisis formal, metodología, supervisión, validación, visualización, escritura - preparación del borrador original, escritura -revisar & amp: edición.

Lesly Manrique: conceptualización, escritura - preparación del borrador original, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, administración del proyecto, recursos, software.

Brendy Uria: curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, recursos, software.

Alex Huatay: curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, recursos, software.

#### **Fuentes de financiamiento/Funding:**

Los autores declaran que no recibieron un fondo específico para esta investigación.

#### **Aspectos éticos/legales/Ethics/legals:**

Los autores declaran no haber incurrido en aspectos antiéticos, ni haber omitido aspectos legales en la realización de la investigación.

## **REFERENCIAS**

Asociación Guatemalteca de Exportadores. (2021). *Vetiver, vetiveria zizanioides*. AGEXPORT. <https://cutt.ly/vtA5Dm4p>

Campojo, J., & Castillo, S. (2025). *Análisis de la influencia del pasto vetiver en la estabilidad del talud bajo cargas estáticas del camino vecinal Puente Chico-Quiulacocha, Conchamarca, sector Km. 14+500.00 - Km. 14+680.00* [Tesis de pregrado, Universidad San Ignacio de Loyola]. <https://hdl.handle.net/20.500.14005/15603>

Cardoza, A., Arévalo, D., Javier, J., Peña, R., Chanduví, R., Quiroz, M., Álvarez, L., Galecio, M., Calero, M., & Morales, A. (2024). Alternative Organic Substrates in the Germination and Initial Growth of Corn (*Zea mays* L.) Seedlings Under Nursery Conditions. *Terra Latinoamericana*, 42, 1–11. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1867>

- Chavez, G. C. (2022). *Utilización de pasto vetiver (Chrysopogon Zizanioides) como alternativa para la estabilización de taludes* [Tesis de pregrado, Universidad católica Santo Toribio de Mogrovejo]. <http://hdl.handle.net/20.500.12423/5645>
- Chen, F., Zhang, J., Zhang, M., & Wang, J. (2015). Effect of *Cynodon dactylon* community on the conservation and reinforcement of riparian shallow soil in the three gorges reservoir area. *Ecological Processes*, 4(1), 2–8. <https://doi.org/10.1186/s13717-014-0029-2>
- Colla, G., Hoagland, L., Ruzzi, M., Cardarelli, M., Bonini, P., Canaguier, R., & Rouphael, Y. (2017). Biostimulant action of protein hydrolysates: Unraveling their effects on plant physiology and microbiome. *Frontiers in Plant Science*, 8(December), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02202>
- Dorafshan, M., Abedi, J., Eslamian, S., & Amiri, M. J. (2023). Vetiver Grass (*Chrysopogon zizanioides* L.): A Hyper-Accumulator Crop for Bioremediation of Unconventional Water. *Sustainability (Switzerland)*, 15(4), 2–16. <https://doi.org/10.3390/su15043529>
- Garate, J., Herrera, M., Julian, E., & Nieto, C. (2021). Growth and survivorship of *Vetiveria zizanioides* in degraded soil by gold-mining in the Peruvian Amazon. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 9(1), 3219–3225. <https://doi.org/10.15243/JDMLM.2021.091.3219>
- García, M., Mahler, C., Oliveira, M., Macedo, J., Silva, A., Ottoni, G., & Coura, R. (2024). Comparison Between *Vetiver* and *Brachiaria* Grass in Erosion Control in Tropical Climate. *Universal Wiser*, 5(2), 481–495. <https://doi.org/10.37256/sce.5220244925>
- Gaspar, C. M., Chalita, C., Nakagawa, J., & Aquino, C. (2007). Manutenção da umidade do substrato durante o teste de germinação de *Brachiaria brizantha*. *Revista Brasileira de Sementes*, 29(3), 52–60. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222007000300007>
- Holanda, F., Dias, K., Santos, L., Brito, C., De Melo, R., & Santos, S. (2021). Development and morphometric characteristics of vetiver grass under different doses of organic fertilizer. *Revista Caatinga*, 34(1), 20–30. <https://doi.org/10.1590/1983-21252021v34n103rc>
- Hudek, C., Sturrock, C., Atkinson, B., Stanchi, S., & Freppaz, M. (2017). Root morphology and biomechanical characteristics of high altitude alpine plant species and their potential application in soil stabilization. *Ecological Engineering*, 109, 228–239. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.05.048>
- Hussain, A., Zahir, Z., Ditta, A., Tahir, M., Ahmad, M., Mumtaz, M., Hayat, K., & Hussain, S. (2020). Production and implication of bio-activated organic fertilizer enriched with zinc-solubilizing bacteria to boost up maize (*Zea mays* L.) production and biofortification under two cropping seasons. *Agronomy*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/agronomy10010039>
- Instituto Nacional de Innovación Agraria. (2016). *La materia orgánica y su efecto como enmienda y mejorador de la productividad de los cultivos*. INIA. <https://cutt.ly/ttA5HplQ>
- Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura. (2021). *Importancia de humus en la fertilidad de los suelos*. INTAGRI. <https://cutt.ly/NtA5GNIA>
- Ishrath, P., Anil, A., & Nibin, P. (2019). Agrotechniques for quality planting material production in vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Nash. *Journal of Medicina Plants Studies*, 7(2), 211–213.

- Islam, M. S., Arif, M. Z. U., Badhon, F. F., Mallick, S., & Islam, T. (2016, noviembre). Investigation of vetiver root growth in sandy soil. En *Proceedings of the BUET-ANWAR ISPAT 1st Bangladesh Civil Engineering Summit 2016* (pp. 62–68). Bangladesh University of Engineering and Technology.
- Jayashree, S., Rathinamala, J., Turan, M., & Lakshmanaperumalsamy, P. (2014). Influence of Rooting Media on *Chrysopogon Zizanioides* (L.) Roberty. *Journal of Plant Nutrition*, 37(7), 965–978. <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.890218>
- Keshewani, B., Ravichandran, S., & Mazeed, A. (2022). Removal of nitrate loads pollution from drinking water by using different aromatic grasses: Green Technology. *International Journal of Environment and Climate Change*, 12(11), 806–816. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2022/v12i1131043>
- Kumar, D., & Nikhil, K. (2016). Vetiver grass for manifold uses: a critical review. *International Journal of Engineering & Technical Research (IJETR)*, 4(2), 146–1152.
- Mendoza, D. A., Mero V. F., & Alcívar B.R. (2024). Influencia del humus de lombriz en la calidad de los suelos agrícolas: un estudio de caso. *Revista Didáctica y Educación*, 15(3), 388-404. <https://revistas.ult.edu.cu/index.php/didascalía>
- Moula, M. G., & Rahman, M. S. (2008). Tiller Effects of Vetiver Grass (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash). [Bangladesh Forest Research Institute], 11(3), 191–194. <https://cutt.ly/JtUzF9yL>
- Moula, M. G., Dey, T., Mian, M. A. Q., & Bachar, B. K. (2020). Effect of NPK fertilizer on root, shoot and tiller increment of vetiver (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash). *Asian Journal of Crop, Soil Science and Plant Nutrition*, 3(1), 80–86. <https://doi.org/10.18801/ajcsp.030120.11>
- Murga, G. G. (2025). *Crecimiento de Chrysopogon Zizanioides (Vetiver) en tres suelos con diferentes clases texturales con insumos nutricionales en el distrito Hermilio Valdizán* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/3115>
- Prisa, D. (2023). Application of biohumus at different substrate replacement rates in the germination and cultivation of *Zea mays*. *GSC Advanced Research and Reviews*, 15(3), 193–200. <https://doi.org/10.30574/gscarr.2023.15.3.0237>
- Quispe, D. (2009). *Propagación de tres especies de Bambú a través de esquejes con diferentes dosis de Humus de lombriz, en la Zona de Tingo María* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/707>
- Rodríguez, J. L. (2016). *Efecto de diferentes sustratos en el prendimiento de esquejes de bambú guayaquil (Dendrocalamus Asper Schult. & Schult. F. Backer Ex K. Heyne) en Tingo María*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/1810>
- Shimi, G., & Anilkumar, A. (2014). Planting methods, subsurface drip fertigation and bioinoculants on growth and productivity of vetiver [*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash]. *Journal of Spices & Aromatic Crops*, 23(2), 276–279. <https://core.ac.uk/download/pdf/236024238.pdf>
- Silva, J., Souza, J., De Oliveira, L., De Jesus, J., Rodrigues, F., & Marino, R. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytic fungi on the biomass development of vetiver grass. *Revista Caatinga*, 31(3), 602–611. <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n308rc>

- Siñani, A. (2012). *Efecto de la altura de corte y el número de cepas sobre la producción del vetiver (chrysopogon zizanioides l.), en los yungas de La Paz*. [Tesis de pregrado, Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/7949>
- Teshome, J. Y. (2016). The status of vetiver grass as a technique for soil and water conservation in Lay Armachiho woreda. *Global Science Research Journals*, 4(1), 162–170. [https://vetiver.org/ETH\\_farmer-survey.pdf](https://vetiver.org/ETH_farmer-survey.pdf)
- Torres, J. A., Torres, R. J., Coromoto, J., Picón, R. A., Méndez, L, Calderas, R. J. (2020). Estudio experimental del sistema radicular del pasto vetiver sometido a esfuerzos de tracción. *Informes de la Construcción*, 72(560), 1-8. <https://doi.org/10.3989/ic.70923>
- Truong, P., & Thai, L. (2015). *The vetiver system for improving water quality. Prevention and treatment of contaminated water and land* (2<sup>nd</sup> Edition). The Vetiver Network International. [https://vetiver.org/TVN\\_waterQ\\_o.pdf](https://vetiver.org/TVN_waterQ_o.pdf)

