

Estado de la publicación: El preprint ha sido enviado para publicación en revista

Efecto de tres coberturas vivas (*Pueraria phaseoloides*, *Vigna radiata* y *Crotalaria juncea*) en la interfase planta-suelo de una plantación clonal de *Tectona grandis* L.f.

David Carvajal, Monica Lisbeth Cortes Cortes, Fernando Ramírez Muñoz, Rafael Murillo Cruz,
Diana Mora Campos

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.12185>

Enviado en: 2025-06-07

Postado en: 2025-06-12 (versión 1)

(AAAA-MM-DD)

Efecto de tres coberturas vivas (*Pueraria phaseoloides*, *Vigna radiata* y *Crotalaria juncea*) en la interfase planta-suelo de una plantación clonal de *Tectona grandis* L.f.

Effect of three live covers (*Pueraria phaseoloides*, *Vigna radiata* and *Crotalaria juncea*) on the plant-soil interface of a clonal plantation of *Tectona grandis* L.f.

**David Antonio Carvajal Arroyo¹, Mónica Lizbeth Cortes Cortes²
Fernando Ramírez Muñoz³, Rafael Murillo Cruz⁴, Diana Mora Campos⁴**

Resumen

[Introducción]: El uso de coberturas vivas para el manejo de plantas arvenses es una estrategia agroecológica que influye en las propiedades físicas, biológicas y químicas del suelo. **[Objetivo]:** Este estudio evaluó el efecto de tres coberturas vivas en una plantación clonal de *Tectona grandis* en Pocosol, San Carlos, Costa Rica. Se analizaron tres aspectos del agroecosistema: supresión de arvenses, desarrollo de árboles clonales de teca y propiedades fisicoquímicas del suelo. **[Metodología]:** Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se establecieron tres especies de cobertura: *Pueraria phaseoloides* (kudzu), *Crotalaria juncea* (crotalaria) y *Vigna radiata* (frijol mungo). El experimento se inició en 2021, y en 2024 se evaluaron macro y micronutrientes, penetrabilidad, densidad aparente, cromatografía de suelos, crecimiento de árboles y cobertura de arvenses. **[Resultados]:** Se observó un aumento en carbono, materia orgánica, pH y saturación de calcio, junto con una disminución en saturación de acidez, fósforo y cobre. La combinación de *V. radiata* y *C. juncea* mostró los mayores valores en altura y diámetro de los árboles. **[Conclusiones]:** *P. phaseoloides* es la única especie de cobertura viva que se mantuvo en el sitio ejerciendo control de arvenses, sin embargo, se requiere de un manejo adecuado en los primeros años de siembra y la determinación de la densidad óptima de siembra.

Palabras clave: agroecología, agroforestería, manejo de arvenses, dinámica de nutrientes, malezas, sostenibilidad

Abstract

[Introduction]: The use of cover crops for weed management is an agroecological strategy that influences the physical, biological, and chemical properties of the soil. **[Objective]:** This study evaluated the effect of three cover crop species in a clonal *Tectona grandis* plantation in Pocosol, San Carlos, Costa Rica. Three aspects of the agroecosystem were analyzed: weed suppression, development of clonal teak trees, and soil physicochemical properties. **[Methodology]:** A randomized complete block design with four replications was used. Three cover crop species were established: *Pueraria phaseoloides* (kudzu), *Crotalaria juncea* (crotalaria), and *Vigna radiata* (mung bean). The experiment began in 2021, and in 2024, evaluations were conducted for macro- and micronutrients, soil penetrability, bulk density, soil chromatography, tree growth, and

¹Ingeniero en Ciencias Forestales, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional, Costa Rica. david.carvajal.arroyo@una.cr, <https://orcid.org/0000-0002-4090-2485>

²Ingeniera en Ciencias Forestales, Escuela de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional, Costa Rica. monicacortes360@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7261-340X>

³Académico, Instituto Regional de Estudio en Sustancias Tóxicas, Universidad Nacional, Costa Rica. fernando.ramirez.munoz@una.ac.cr, <https://orcid.org/0000-0003-0904-0204>

⁴Académico (a), Instituto de Investigación y Servicios Forestales, Universidad Nacional de Costa Rica. rafael.murillo.cruz@una.ac.cr, <http://orcid.org/0000-0002-5326-3563>; diana.mora.campos@una.ac.cr, <https://orcid.org/0000-0002-9335-016X>

weed cover. [Results]: Increases were observed in carbon, organic matter, pH, and calcium saturation, along with a decrease in acidity saturation, phosphorus, and copper. The combination of *V. radiata* and *C. juncea* showed the highest values in tree height and diameter. [Conclusions]: *P. phaseoloides* was the only cover crop species that remained on-site, effectively controlling weeds. However, proper management during the early years of establishment and determination of the optimal planting density are required.

Keywords: agroecology, agroforestry, weed management, nutrient dynamics, weeds, sustainability

1. Introducción

El uso de coberturas vivas es una práctica agroecológica ampliamente utilizada para el control de arvenses, la mejora de las propiedades fisicoquímicas del suelo y el incremento de la biodiversidad (Osorio-Espinoza *et al.*, 2023; Kocira *et al.*, 2020; Pérez y Figueroa, 2021). Estos cultivos, al cubrir el suelo, reducen la erosión, aumentan el contenido de materia orgánica, y favorecen la fijación de nitrógeno en el caso de leguminosas (Delgado *et al.*, 2021; Caicedo y Figueroa Del Castillo, 2021; Yauri, 2019). Otros beneficios que las coberturas vivas ofrecen son la creación de condiciones más favorables para el crecimiento de los cultivos principales y la reducción del uso de agroquímicos, lo cual genera un impacto positivo en la salud de los trabajadores (Guzmán-Plazola *et al.*, 2016; Alvarado-Prado *et al.*, 2022; López-Rojas, 2019).

El aspecto anterior es de especial importancia en Costa Rica, donde el uso de herbicidas sintéticos en cultivos agrícolas y forestales fue de 3.28 millones de kg de ingrediente activo (i.a.)/ha/año para el periodo 2012-2021, siendo uno de los consumos por área más altos en el mundo (Vargas-Castro, 2022). Por esta razón, la búsqueda de estrategias que reduzcan la carga química de los suelos es indispensable para la sostenibilidad de la producción agrícola y forestal. Los herbicidas químicos de mayor uso en el país han sido el glifosato (grupo ácido fosforoso), paraquat (bipiridilo), 2,4-D (hormonal) y diuron (urea) (Alvarado-Prado *et al.*, 2022), con ellos se han obtenido mejores rendimientos en cuanto a crecimiento de especies forestales, pero con un alto impacto ambiental (Cortes-Cortes *et al.*, 2025b). En plantaciones forestales el manejo de arvenses para el establecimiento del cultivo es indispensable, ya que de otro modo las malezas no permiten que la plántula se establezca debido a la supresión ejercida por la arvense.

Diversas investigaciones han evaluado los efectos de coberturas vivas de especies como *Pueraria phaseoloides*, *Crotalaria juncea* y *Vigna radiata* en diferentes sistemas agrícolas y forestales de Honduras y México. Los resultados de dichas investigaciones evidenciaron el potencial de estas especies para aumentar la biomasa seca sobre el suelo, enriquecer el contenido de carbono y mejorar los niveles de nutrientes en el suelo, especialmente en regiones tropicales (Zambrana, 2020; Zavala-Sierra *et al.*, 2018; Lok *et al.*, 2019). Sin embargo, pocos estudios han abordado los efectos de coberturas vivas en plantaciones de *Tectona grandis*, especialmente en lo que respecta a su interacción con la dinámica del crecimiento arbóreo y el manejo de arvenses en sistemas de alta competencia (Guevara-Bonilla *et al.*, 2021; Cortes-Cortes *et al.*, 2025).

Para la evaluación del efecto de las coberturas vivas sobre el suelo, se utiliza el análisis químico, biológico y físico de suelo que puede acompañarse con métodos cualitativos como

la cromatografía radial de Pfaffner. En esta investigación se evaluaron los efectos de tres coberturas vivas, *P. phaseoloides*, *C. juncea* y *V. radiata*, en una plantación de teca clonal de tres años, momento en el que ya no se requiere de un manejo de arvenses, debido a que el cierre del dosel en la plantación impide la entrada de luz solar, necesaria para el desarrollo de las arvenses. Basado en lo anteriormente expuesto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de estas coberturas sobre el crecimiento de los árboles de teca, la supresión de arvenses y la composición química (macronutrientes, micronutrientes, materia orgánica, carbono, nitrógeno y pH) y física del suelo (densidad aparente, penetrabilidad y temperatura).

2. Metodología

2.1 Área de estudio

La investigación se desarrolló en una plantación forestal clonal de *T. grandis* ubicada en el distrito de Pocosol, cantón de San Carlos, provincia de Alajuela, Costa Rica, entre julio de 2021 y agosto de 2024. El sitio pertenece a la zona de vida de Holdridge de bosque húmedo tropical, el cual se caracteriza por presentar una temperatura entre 24 y 30 °C y una precipitación entre 2 000 y 4 000 mm anuales ([Instituto de Desarrollo Rural de Costa Rica \[INDER\], 2015](#)). El suelo es del orden ultisoles, caracterizado por ser ácido (pH < 7,0) debido al alto contenido de aluminio extraíble, bajo en calcio, profundo, con presencia de arcillas (principalmente caolinita) y óxidos de hierro y aluminio ([Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria \[INTA\], 2014](#)).

2.2 Establecimiento del ensayo y diseño experimental

En el 2021 se estableció un experimento con seis tratamientos (parcelas) repetidos en cuatro bloques completos al azar. Los tratamientos consistieron en la siembra de las especies *V. radiata* (frijol mungo), *C. juncea* (crotalaria) y *P. phaseoloides* (kudzú) de manera individual y en combinaciones (**Cuadro 1**). La combinación de *P. phaseoloides*, *V. radiata* y *C. juncea* como coberturas vivas se basa en su complementariedad: mientras *Pueraria* y *Vigna* cubren rápidamente el suelo y controlan malezas en etapas tempranas, *Crotalaria* aporta biomasa aérea, mejora la estructura del suelo y contribuye a la fijación de nitrógeno. Juntas, estas leguminosas ofrecen una cobertura eficaz, mejoran la fertilidad y protegen el suelo contra la erosión.

Previamente, en cada parcela se plantaron sembraron 36 árboles de teca clonal con una altura aproximada entre 10 a 15 cm (10 semanas de edad), a un distanciamiento de cuatro m entre árboles y entre filas (576 m² por parcela); estos fueron llevados del Vivero-UNA La Amapola al campo. Entre los árboles se sembraron cinco filas de las coberturas vivas señaladas, con ayuda de un espeque según cada tratamiento, con un distanciamiento entre filas de 50 cm y de 15 cm entre puntos de siembra, manteniendo una distancia con respecto al árbol de 1 m. Se incorporó un testigo absoluto, donde se mantuvo la vegetación sin intervención (**Cuadro 1**). En los tratamientos combinados del *V. radiata* con *C. juncea* y *P. phaseoloides* con *C. juncea*, se sembraron cuatro filas de *V. radiata* o *P. phaseoloides* y una fila al centro de *C. juncea*.

Cuadro 1. Tratamientos y cantidad de semillas plantadas de cada una de las coberturas vivas.

Código	Tratamiento	Semillas Kg/ha	Semillas por hoyo
T1C	<i>Crotalaria juncea</i>	3.5	3
T2P	<i>Pueraria phaseoloides</i>	13.5	6
T3V	<i>Vigna radiata</i>	16	2
T4P+C*	<i>Pueraria phaseoloides</i> + <i>Crotalaria juncea</i>	0.3 + 0.74	6 + 3
T5V+C*	<i>Vigna radiata</i> + <i>Crotalaria juncea</i>	0.6 + 0.74	2 + 3
T	Testigo	-	-

* Tratamiento combinado de 4 filas de *P. phaseoloides* o *V. radiata* más 1 fila de *C. juncea*.

2.3 Manejo Silvicultural

Previo al establecimiento de los árboles y de la cobertura, se realizó un subsolado y 15 días después se aplicó herbicida sobre todo el terreno, con una dosis de 0,712 Kg ia/ha de glifosato más 0,012 kg de metsulfuron-metil /ha. Durante la siembra de los árboles se aplicaron 50 g de cal dolomita y 80 g de fertilizante químico 10-30-10 (N-P-K).

A los 24 meses después de la siembra (mds) se realizó una nueva aplicación de los mismos herbicidas con las mismas dosis, pero en bandas, en todos los tratamientos, debido a la presencia de arvenses.

2.4 Variables de respuesta

Se recolectó, durante el tercer año de establecimiento del experimento (agosto de 2024), información sobre características dasométricas, supresión de arvenses (porcentaje de cobertura) y las propiedades fisicoquímicas del suelo. Para evaluar el crecimiento dasométrico, se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) utilizando una cinta diamétrica, y la altura total de los árboles con un clinómetro digital Suunto. Estas mediciones se realizaron en los 16 árboles ubicados en el centro de cada parcela (4 repeticiones), para un total de 64 árboles por tratamiento. Los árboles en los bordes no fueron medidos con el fin de minimizar la influencia entre tratamientos debido a su proximidad.

Para determinar la supresión de arvenses, se evaluó el porcentaje de cobertura. Para esto se utilizaron 16 marcos de 50 cm × 50 cm (0.25 m²) por tratamiento. Las evaluaciones incluyeron la medición de la cobertura total, la cobertura específica de *V. radiata*, *P. phaseoloides* y *C. juncea*, además de la cobertura de arvenses de hoja ancha y angosta. Para determinar las propiedades fisicoquímicas se realizó un muestreo compuesto de suelo, con 4 submuestras por tratamiento tomadas a 5 cm de profundidad, en julio de 2022 (un año después de establecida la plantación) y en julio de 2024. En total se tomaron 96 submuestras por tratamiento para obtener un total de 24 muestras, que fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos y Foliar del Instituto de Investigación y Servicios Forestales (LASAF) de la Universidad Nacional, Costa Rica. Los parámetros químicos analizados fueron las concentraciones de fósforo, calcio, potasio, magnesio, manganeso, cobre, zinc, acidez, hierro, pH, el porcentaje de materia orgánica, nitrógeno y carbono.

Adicionalmente, en 2024, se realizó un muestreo de densidad aparente (DA), temperatura de suelo y penetrabilidad. La densidad aparente fue determinada mediante el método del

volumen conocido utilizando cilindros colocado en la superficie del suelo (Almeida, 2019). Los cilindros fueron al LASAF y fueron llevados al horno a 105 °C hasta alcanzar un peso constante, luego se determinó el volumen de cada uno midiendo el diámetro y la altura interna con un pie de rey.

La temperatura fue determinada con un termómetro de suelos marca Weksler y la resistencia a la penetración con un penetrómetro marca Eijkelkamp con la punta de 5 cm². La medición de penetrabilidad se realizó por medio de 6 puntos de muestreo por parcela.

Con el propósito de identificar la calidad biológica, química y estructural del suelo, se realizó un análisis cualitativo por cromatografía de suelos (Pfaffner) en cada tratamiento, a los tres años de establecido el experimento. El análisis se realizó en la Estación Experimental Los Juncos, en Vázquez de Coronado, utilizando el procedimiento descrito por Restrepo y Pinheiro (2015).

2.5 Procesamiento de la información

Para las mediciones dasométricas, también se calculó el incremento medio anual (IMA) y el volumen total por ha, utilizando un factor de forma de 0.55 (Aguilar, 2017). Los datos de cobertura se transformaron mediante el arcoseno de los valores originales para cumplir con los supuestos estadísticos. Para las propiedades edáficas, se calculó el valor promedio de cada tratamiento y se determinó la variación entre los resultados obtenidos en 2022 y 2024. En el caso de variables como penetrabilidad, densidad aparente y temperatura del suelo, el análisis comparativo se realizó únicamente para los datos recolectados en 2024.

Para el análisis de cromatografía de suelos, se utilizó como base el libro “Cromatografía: Imágenes de vida y destrucción del suelo” y estudios similares en cuanto al método de la cromatografía (Medina et al., 2018; Restrepo y Pinheiro, 2015; Gallardo, 2001). Además, se realizó una medición con un pie de Rey (vernier) de cada parte de cromatograma separándose por la zona externa (zona enzimática), zona intermedia (zona de materia orgánica), zona interna (zona mineral) y zona central.

2.6 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) y pruebas de comparación de medias, empleando la prueba de Tukey para datos paramétricos y la prueba de Kruskal-Wallis para datos no paramétricos, utilizando el software R-Studio con un nivel de significancia del 5 %. Las variables analizadas incluyeron las características dasométricas, la cobertura vegetal y las propiedades físicoquímicas del suelo.

3. Resultados y Discusión

3.1 Supresión de arvenses

La permanencia de las tres coberturas vivas en el experimento fue variable, debido a sus características de crecimiento, por lo que a los tres años después de sembradas, solamente se registró cobertura de *P. phaseoloides*. En el caso de *C. juncea* y *V. radiata*, se observaron con cobertura hasta los 12 meses después de sembradas, debido a su condición de especies

anuales. Por tanto, hay que considerar que la supresión de arvenses la realiza *P. phaseoloides* solamente de manera física, mientras que *C. juncea* y *V. radiata* pueden generar un efecto más amplio de supresión.

Al año tres, se observó en el área experimental un porcentaje de cobertura total promedio de 54.6 %, de la cual poco más de la mitad correspondió a arvenses de hoja ancha (55.2 %), un 24.4 % a arvenses de hoja angosta y un 20.4 % a la cobertura viva (*P. phaseoloides*). En plantaciones forestales de la región Huetar Norte de Costa Rica, existe una alta diversidad de especies de hoja ancha asociadas al cultivo, siendo *Spermacoce* sp., *Clidemia hirta*, *Mimosa pudica*, *Sida rhombifolia* y *Stygmaphyllum* sp., las de mayor abundancia, mientras que de hoja angosta son *Scleria pterota*, *Panicum maximum*, *Rottboellia cochinchinensis* e *Ischaemun* sp. (Carvajal, 2021).

Los tratamientos con menor cobertura vegetal total fueron el T1C (40.0 %) y el T3V (40.9 %), mientras que el de mayor cobertura fue el T2P (70.9 %). El elevado valor de cobertura en el T2P (*P. phaseoloides*) se debe principalmente a que en este tratamiento se registró un menor crecimiento de los árboles, lo que impidió el cierre completo del dosel y permitió el ingreso de luz al suelo. Diversos estudios han demostrado que una mayor entrada de luz al suelo favorece la germinación y crecimiento de malezas, lo cual coincide con los resultados del presente estudio (Guevara-Bonilla *et al.*, 2021; Lazo y Ascencio, 2010). Además, en el T2P el control de arvenses representó el 38 % del total, en contraste con los T1C y T3V, donde las especies plantadas ya no están presentes; en estos últimos, el mayor crecimiento en altura reduce significativamente la entrada de luz.

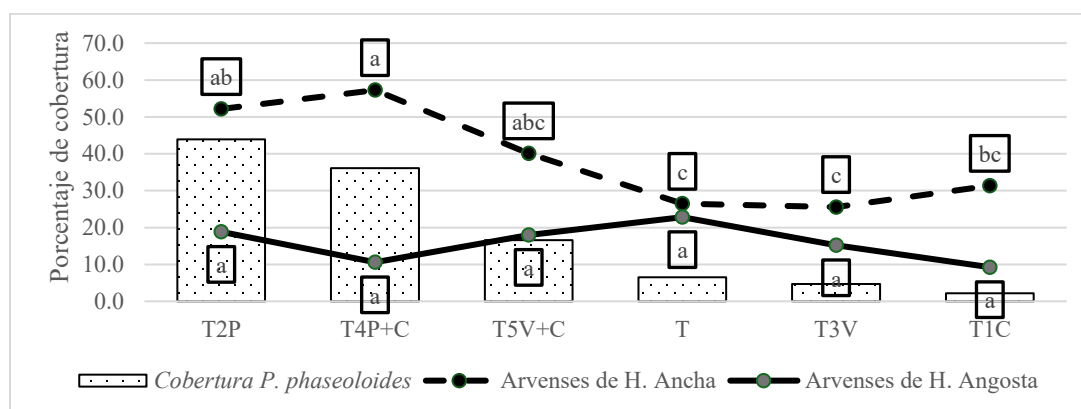


Figura 1. Porcentaje de cobertura del suelo tres años después de establecidas las cultivos de cobertura, Pocosol, 2024.

En cuanto al control ejercido según el tipo de arvense, se registró un mayor porcentaje de especies de hoja ancha en los tratamientos con mayor presencia de *P. phaseoloides* (Figura 1). La presencia de arvenses de hoja angosta en todos los tratamientos fue similar, sin diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$), aunque en el T2P y en el testigo, los valores fueron más altos (20 %). En el T2P la cobertura viva fue en promedio de 43.9 %, sin embargo, a los 13 meses de establecido, la cobertura alcanzaba un promedio de 80 % y en algunos bloques fue de hasta el 100 % (Cortes-Cortes *et al.*, 2025).

3.2 Características químicas del suelo

Los resultados del análisis químico del suelo evidenciaron que, a los tres años, todos los tratamientos se comportaron de manera similar y no existieron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre ellos. No obstante, al comparar los resultados químicos iniciales (2022) con respecto a los del 2024, hubo aumentos en la concentración de variables fundamentales para el óptimo desarrollo de *T. grandis*, así como una mejora generalizada del suelo. Esto indica que las coberturas vivas influyeron en la dinámica de nutrientes en el suelo durante el periodo evaluado (Zambrana, 2020; Zavala-Sierra et al., 2018; Lok et al., 2019).

Las variables que registraron un aumento significativo fueron el porcentaje de carbono, la materia orgánica, el pH, el calcio y el zinc, mientras que otras variables como la acidez, el fósforo y el cobre, disminuyeron significativamente en algunos tratamientos ($p < 0.05$). Por su parte el nitrógeno, la capacidad de intercambio catiónico, el magnesio, potasio, manganeso y hierro no registraron diferencias en el tiempo.

En el caso de la materia orgánica y el carbono, hubo un aumento del 19 % en el tratamiento que combinó la siembra de *V. radiata* con *C. juncea*, al comparar lo obtenido en 2022 con respecto al 2024 (Figura 2). En los tratamientos T1C, T3V y T4P+C también hubo incremento de entre un 3 % y 9 % en estas variables, aunque no fueron estadísticamente significativas. En cuanto al nitrógeno, el mayor contenido se registró en el tratamiento T2P (*P. phaseoloides*) con un aumento del 5 % entre el año uno y el tres de establecida la cobertura viva, lo cual es común al utilizar leguminosas (Delgado et al., 2021; Caicedo y Figueroa Del Castillo, 2021; Yauri, 2019).

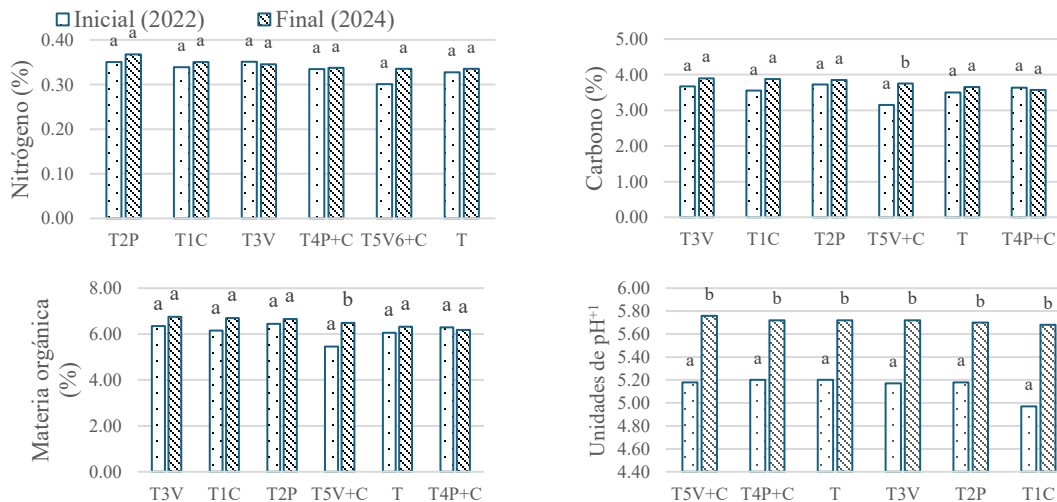


Figura 2. Efectos de las coberturas vivas sobre el porcentaje de nitrógeno, carbono, materia orgánica y pH del suelo, Pocosol, 2024.

Los resultados de aumento de la materia orgánica y del carbono en el suelo, coinciden con investigaciones previas, como las realizadas en Honduras, donde se destacó el potencial de *V. radiata* y *C. juncea* para aportar biomasa e incrementar la materia orgánica del suelo (Zambrana, 2020). De manera similar, estudios en México y otras regiones tropicales han documentado que las leguminosas, incluidas especies relacionadas como *V. radiata*, incrementaron la producción de biomasa, favorecen la fijación de nitrógeno y mejorando los

niveles de carbono en el suelo (Zavala-Sierra et al., 2018; Lok et al., 2019). Aunque no siempre se cuantifica la magnitud de estos cambios, el aumento de 19 % registrado en este experimento en la cantidad de materia orgánica proporciona evidencia concreta del impacto positivo de estas especies en la calidad del suelo, con beneficios en los sistemas forestales tropicales sostenibles.

Además, el uso de coberturas vivas de leguminosas también ha demostrado tener un efecto positivo en la mejora del pH del suelo. En el presente estudio, el pH aumentó significativamente con 3 años de coberturas, cambiando de un promedio inicial general de 5.15 a 5.72; el mayor aumento se obtuvo en el T1C (14 %). En un estudio sobre coberturas de leguminosas en cultivos de plátano (*Musa* spp.), se observó que su incorporación mejoró la fertilidad del suelo, incluyendo un aumento en el pH (Gutiérrez et al., 2002).

De manera similar, investigaciones sobre el comportamiento de leguminosas como cobertura en plantaciones de palma aceitera, evidenciaron mejoras en la productividad y en las propiedades químicas del suelo, incluido el pH (Barrios-Maestre, 2011). Esto se debe, en parte, a la capacidad de las leguminosas para fijar nitrógeno atmosférico y liberar cationes básicos durante su descomposición, neutralizando la acidez (Benites-Jump, 2020). Además, la exudación de compuestos orgánicos a través de las raíces desempeña un papel clave en la estimulación de la microbiología del suelo, al proveer fuentes de carbono fácilmente disponibles para microorganismos benéficos (Seitz et al., 2022). Esta interacción favorece la actividad biológica y, con ello, mejora la fertilidad del suelo de forma natural.

Para obtener una alta productividad en plantaciones de teca se requiere principalmente de altos contenidos de P disponible, Ca y Mg, así como valores de pH superiores a 5.5 (Zhou et al., 2017; Alvarado, 2012). Además, según Alvarado y Fallas (2004), el IMA en altura en teca está directamente relacionado con la saturación de acidez y de calcio en el suelo.

Cuadro 3. Efectos de las coberturas vivas en la concentración de acidez, calcio, magnesio, potasio y la capacidad de intercambio catiónico, Pocosol, 2024.

Tratamiento	Inicial (2022)					Final (2024)				
	Acidez	Ca	Mg	K	CICE	Acidez	Ca	Mg	K	CICE
Unidades					(cmol/L)					
T2P	0.25 ^a	4.39 ^a	1.99 ^a	0.17 ^a	6.79 ^a	0.28 ^a	5.05 ^a	2.00 ^a	0.18 ^a	7.51 ^a
T3V	0.23 ^a	4.17 ^a	1.70 ^a	0.23 ^a	6.32 ^a	0.32 ^a	4.68 ^a	2.08 ^a	0.25 ^a	7.27 ^a
T1C	0.35 ^a	3.93 ^a	1.80 ^a	0.19 ^a	6.26 ^a	0.28 ^a	4.55 ^a	1.85 ^a	0.28 ^a	6.95 ^a
T4P+C	0.75 ^a	4.36 ^a	1.81 ^a	0.30 ^a	7.23 ^a	0.28 ^a	4.60 ^a	1.75 ^a	0.25 ^a	6.87 ^a
T5V+C	0.90^a	3.54^a	1.59 ^a	0.16 ^a	6.19 ^a	0.25^b	4.40^b	1.90 ^a	0.21 ^a	6.76 ^a
T	0.80 ^a	3.75 ^a	1.84 ^a	0.15 ^a	7.15 ^a	0.32 ^a	4.28 ^a	1.88 ^a	0.16 ^a	6.63 ^a
Promedio	0.65	4.02	1.79	0.20	6.66	0.29	4.59	1.91	0.22	7.00

Las letras en superíndice indican diferencias entre año 1 y 3; no se compararon entre tratamientos.

En el presente estudio se observó que al utilizar la combinación de *V. radiata* con *C. juncea* la concentración de Ca aumentó un 24 %, mientras que la acidez disminuyó en un 72 % siendo estadísticamente significativa la diferencia ($p < 0,05$) entre los periodos de medición (Cuadro 3). Además, se registraron aumentos de la saturación de Ca en los tratamientos T5V+C y el T2P. La mayor diferencia entre lo obtenido en 2022 y 2024 se registró al utilizar *P. phaseoloides* como cobertura viva, cambiando la saturación de Ca de 54 % en la primera

medición a 67 % en la segunda. Este valor final es muy similar a lo reportado por Alvarado y Fallas (2004), quienes determinaron un mejor crecimiento en altura de teca cuando el suelo contiene al menos un 68 % de saturación de Ca y 3 % o menos de saturación de acidez.

A pesar de que no hay información que sustente que el uso de coberturas vivas, como las leguminosas, influyan en la concentración de Ca, es posible que estas especies absorban Ca del subsuelo y lo acumulen en su biomasa. Al descomponerse, este Ca es liberado nuevamente al suelo, aumentando su disponibilidad en los perfiles menos profundos. Además, con la fijación de N atmosférico, se mejora el balance nutricional del suelo y facilita la absorción de otros nutrientes, incluido el Ca (Martínez-Díaz, 2019; Barrios-Maestre, 2011). No obstante, se requiere de un estudio más específico para determinar la influencia de las leguminosas en la dinámica de absorción de Ca.

Otra posible razón del aumento del Ca en el tratamiento T5V+C es la reducción de la acidez y el aumento de los valores de pH. Según Alvarado (2012), en plantaciones de teca, cuando los suelos presentan altos niveles de acidez, existen deficiencias de Ca, Mg y K por lo que no están disponibles para las plantas, afectando la nutrición natural que aporta el suelo.

Cuadro 4. Diferencia absoluta (mg/l) y relativa (%) en la concentración de fosforo, zinc, hierro, cobre y manganeso entre el año uno y el año tres en plantaciones clonales de *Tectona grandis*, Pocosol, 2024.

Tratamiento	Fosforo		Zinc		Hierro		Cobre		Manganeso	
	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%
T1C	0.45	29.15	0.54	23.30	23.58	21.60	-2.20	-24.44	10.42	28.28
T2P	-0.37	-19.75	0.70	33.33	20.52	20.53	-1.70	-21.25	19.69	53.14
T4P+C	-1.20	-54.55	0.49	23.22	3.21	2.44	-2.40	-28.24	18.59	52.85
T	0.18	15.00	0.54	23.04	29.93	23.97	-2.90	-31.87	2.93	7.64
T3V	0.09	5.32	0.91	41.43	-10.11	-6.89	-1.80	-21.18	9.62	26.80
T5V+C	-0.80	-38.10	0.71	33.19	24.58	20.37	-2.70	-29.35	-6.85	-11.68

En cuanto a micronutrientes, se obtuvieron aumentos de Zn en el tratamiento T2P y reducciones significativas de P en el T4P+C y el T5V+C; además hubo una reducción en la concentración de Cu en todos los tratamientos. La reducción de Cu promedio en los tratamientos fue de 2.28 mg/l equivalentes a un 26 % siendo el testigo y el T5V+C los de mayor efecto. En relación con el P, hubo una reducción de su concentración en tres de los seis tratamientos de manera que, en el T2P, el T4P+C y el T5V+C disminuyó el P disponible en el suelo mientras que, en los T1C, T3V y el testigo, aumentó.

3.3 Características físicas del suelo

La densidad aparente y la resistencia a la penetración son indicadores clave de la calidad física del suelo; valores bajos de densidad y resistencia indican suelos más porosos y bien estructurados que favorecen el crecimiento radicular. En contraste, valores altos reflejan compactación, lo que limita la infiltración de agua, la aireación y el desarrollo de las raíces, afectando negativamente la productividad. Los resultados en Pocosol señalan a la combinación de *P. phaseoloides* con *C. juncea* como el tratamiento con mejores resultados

en estas variables (**Cuadro 5**). En cuanto a temperatura no hubo diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0.05$).

Cuadro 5. Características físicas de suelo sembrado con coberturas vivas en una plantación de clonal de tres años de *Tectona grandis*, Pocosol, 2024.

Tratamiento	Densidad aparente (g/cm ³)			Penetrabilidad (kg/cm ²)			Temperatura (°C)		
	Mín.	Promedio	Máx.	Mín.	Promedio	Máx.	Mín.	Promedio	Máx.
T4P+C	0.87	0.92 ± 0.03 ^a	0.94	80.0	89.7 ± 7.6 ^a	99.7	22.0	23.0 ± 1.2 ^a	25.0
T5V+C	0.85	0.92 ± 0.04 ^a	0.96	115.3	132.0 ± 13.2 ^b	151.3	22.0	22.8 ± 0.8 ^a	24.0
T	0.82	0.92 ± 0.07 ^a	1.02	78.0	97.5 ± 19.9 ^{ab}	124.0	22.0	23.8 ± 1.1 ^a	25.0
T2P	0.81	0.93 ± 0.07 ^a	0.98	92.0	125.2 ± 19.4 ^{ab}	140.0	23.0	24.5 ± 1.1 ^a	26.0
T1C	0.93	0.96 ± 0.02 ^a	0.99	85.3	115.2 ± 17.6 ^{ab}	130.7	23.0	23.3 ± 0.4 ^a	24.0
T3V	0.91	0.99 ± 0.05 ^a	1.04	107.3	115.9 ± 7.4 ^{ab}	127.7	23.0	24.3 ± 0.8 ^a	25.0
General	4.0	9.8 ± 1.9	14.5	390.0	562.5 ± 105.8	756.7	22.0	23.6 ± 1.2	26.0

El tratamiento T4P+C mostró una densidad aparente significativamente menor ($p < 0.05$) y una penetrabilidad más favorable en comparación con los demás tratamientos, resultados que coinciden con investigaciones previas sobre el uso de leguminosas como coberturas vivas en sistemas tropicales (Zambrana, 2020; Kocira et al., 2020). La combinación de *P. phaseoloides* y *C. juncea* parece haber generado un efecto sinérgico al combinar la descomposición rápida de *C. juncea* con el aporte constante de materia orgánica de *P. phaseoloides*. Estas interacciones no solo mejoraron la estructura del suelo, sino que también pudieron haber incrementado la actividad microbiana y la fijación de nitrógeno, como se ha observado en suelos tropicales manejados con leguminosas (Barrios-Maestre, 2011).

3.4 Cromatografía de suelos

El análisis cualitativo sugiere que todos los tratamientos presentan una estructura del suelo favorable, caracterizada por una adecuada porosidad y estabilidad de los agregados, sin indicios de compactación que pudieran afectar la infiltración de agua, el desarrollo radicular o la actividad microbiana (Restrepo y Pinheiro, 2015). Este método cualitativo permite identificar cambios en la actividad enzimática, la acumulación de materia orgánica y la diversidad mineral del suelo, ofreciendo una visión integral de las condiciones edáficas (Restrepo y Pinheiro, 2015). Aplicaciones recientes de la cromatografía en sistemas agrícolas, incluyendo frutales, han demostrado su utilidad para comparar diferentes prácticas de manejo, proporcionando evidencia visual y cuantitativa de los impactos de estas en la salud del suelo (Medina et al., 2018; Arteaga-Barrueta et al., 2021; Santos et al., 2024).

En el centro de los cromatogramas, se observa un color crema que se difumina gradualmente hacia las zonas circundantes, las cuales también muestran una integración armónica entre sí (**Figura 3**). En la mayoría de los cromatogramas (más del 90 %), la zona intermedia exhibe tonalidades de café claro que se mezclan con áreas ricas en materia orgánica o proteica, lo que evidencia una diversidad mineral asociada a una buena disponibilidad de materia orgánica para las plantas. Esta integración es resultado de una activa microbiología del suelo, reflejada en tonalidades doradas (Restrepo y Pinheiro, 2015).

Además, las radiaciones y ondulaciones observadas indican una actividad enzimática y proteica robusta, acorde con las características ideales para suelos que no han experimentado alteraciones drásticas en su composición. Estos resultados concuerdan con lo obtenido por Arteaga-Barrueta *et al.* (2021) en cultivo de mango en Cuba con más de 40 años de no intervención antrópica y difieren con lo registrado en suelos con exceso de fertilizantes nitrogenados que se encuentran mineralizados, con la materia orgánica destruida y sin actividad biológica (Medina *et al.*, 2018; Restrepo y Pinheiro, 2015; Gallardo, 2001).

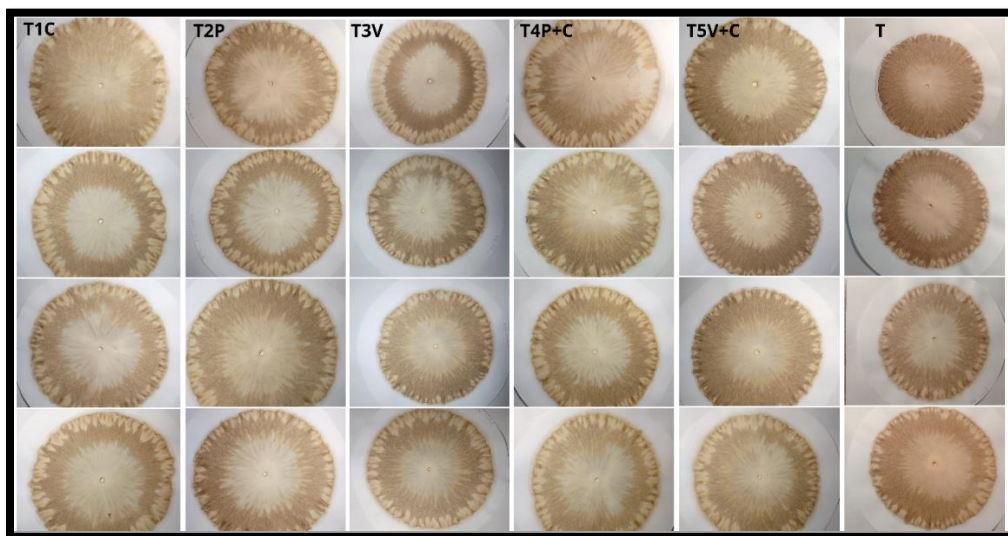


Figura 3. Cromatogramas del ensayo de coberturas vivas en plantaciones forestales, Pocosol, 2024.

Una causa por la que la plantación forestal de teca mantiene estas condiciones, es debido probablemente al uso de coberturas vivas, aunque también a que el manejo silvicultural histórico de este cultivo no ha sido tan intensivo y agresivo con el suelo. En condiciones comerciales, el ciclo de producción de teca es de entre 17 y 22 años, es común el uso de herbicidas durante los primeros tres años y la aplicación de pocas fertilizaciones nitrogenadas; además, de no existir factores que puedan generar compactación significativa al suelo (Palma y Delgado, 2022; Herrera, 2024).

A pesar de que en todos los tratamientos se observan buenas condiciones en cuanto a las interacciones de la materia orgánica, los minerales y las enzimas, se registraron algunas diferencias en coloración y diámetros de cada zona del cromatograma, lo que evidencia la influencia de las coberturas vivas sobre el suelo. En el tratamiento testigo, tres de los cuatro cromatogramas presentaron una coloración de la zona mineral más oscura con respecto a los demás tratamientos, lo que sugiere la existencia de un proceso de descomposición un poco más lento, donde comienza a prevalecer la mineralización (Arteaga-Barrueta *et al.*, 2021; Restrepo y Pinheiro, 2015).

En cuanto a los radios de los cromatogramas, en el testigo se registró la menor longitud (0.8 cm) de zona enzimática mientras que los tratamientos con *P. phaseoloides* y *V. radiata* la longitud del radio fue mayor (1.8 cm). En la zona de materia orgánica el T5V+C fue el de mayor radio, mientras que la zona mineral fue mayor en el tratamiento de *P. phaseoloides*

(Figura 4). Estas diferencias entre tratamientos no fueron significativas, pero señalan la influencia de las coberturas en la integración de la materia orgánica en los primeros tres años, la zona enzimática y mineral del suelo.

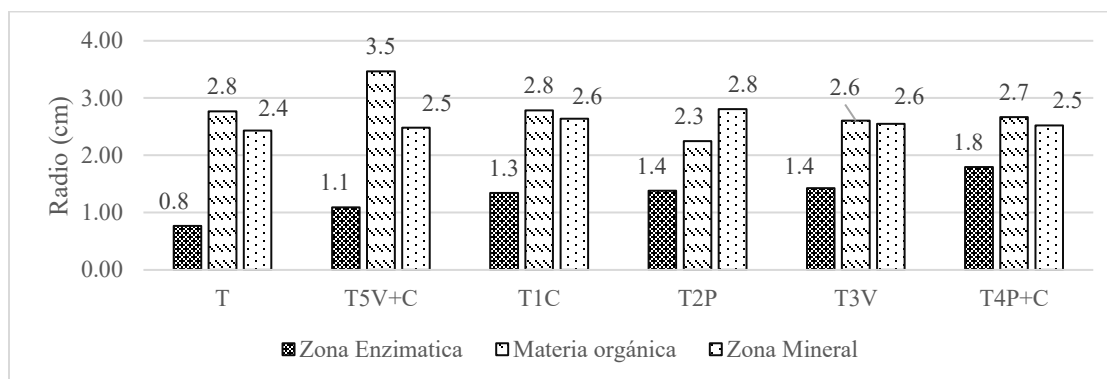


Figura 4. Mediciones del radio promedio por zona de los cromatogramas según tratamiento de cobertura viva, a los 3 años Pocosol, 2024.

3.5 Crecimiento dasométrico

El DAP y la altura total promedio fueron de 9.8 cm y 9.2 m respectivamente, siendo los tratamientos T5V+C y T1C los de mayor crecimiento y T4P+C y T2P los de menor crecimiento. Con respecto al testigo, el uso de *V. radiata* + *C. juncea* (T5V+C) registró un 10 % más de altura y un 5 % más de DAP, mientras que el uso de *C. juncea* (T1C) generó un 9 % más de altura y un 4 % en DAP (**Cuadro 2**). En volumen total por hectárea, el T5V+C presentó en promedio 5.1 m³ más, en contraste con el testigo, sin diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).

En comparación con investigaciones que emplearon herbicidas, los resultados del presente estudio con coberturas vivas fueron inferiores. Esto se debe a que, probablemente al eliminar el 100 % de la cobertura vegetal del suelo, la teca tiene acceso sin restricciones a los recursos disponibles. Así, al contrastar estos hallazgos con un estudio realizado en la misma zona y con el mismo material genético, se observa una diferencia de hasta un 10.8 % menos en el IMA en altura y un 9.8 % en el IMA del DAP ([Cortés-Cortés et al., 2025](#)).

No obstante, la eliminación total de la cobertura vegetal incrementa significativamente la erosión, ya que el suelo queda expuesto al impacto directo de las gotas de lluvia y al efecto del viento, lo que desagrega sus partículas y facilita su arrastre ([Huerta-Olague et al., 2018](#); [Heras-Heras et al., 2024](#)). Como consecuencia, se pierde la capa superior del suelo, rica en nutrientes y materia orgánica, reduciendo su fertilidad, capacidad de infiltración y retención de agua ([Heras-Heras et al., 2024](#)). Además, la ausencia constante de cobertura agrava la degradación de la biodiversidad, ya que destruye hábitats naturales y afecta la macrofauna y microbiología del suelo ([Castillo-Trejo, 2023](#)).

Cuadro 2. Características dasométricas de árboles de *T. grandis* de tres años en parcelas experimentales sembradas con coberturas vivas, Pocosol, 2024.

Tratamiento	árboles	DAP (cm)			Altura total (m)			Volumen total (m ³ ha ⁻¹)*		
		Mín.	Promedio	Máx.	Mín.	Promedio	Máx.	Mín.	Promedio	Máx.
T5V+C	60	4.5	10.3 ± 1.8 ^a	13.6	6.0	9.9 ± 1.4 ^a	12.8	19.3	28.1 ± 6.1 ^a	35.4
T1C	62	6.3	10.2 ± 1.5 ^a	12.8	6.0	9.8 ± 1.4 ^a	12.1	21.6	27.8 ± 3.9 ^a	31.5
T3V	60	5.2	9.9 ± 1.6 ^{ab}	13.4	4.5	9.8 ± 1.5 ^a	12.1	17.5	25.9 ± 5.1 ^a	31.2
T	58	4.0	9.8 ± 1.8 ^{ab}	13.8	2.7	8.9 ± 1.8 ^b	12.1	15.6	23.0 ± 6.5 ^a	31.5
T4P+C	56	5.1	9.5 ± 1.9 ^{bc}	14.0	4.3	8.7 ± 1.7 ^{bc}	12.3	9.1	20.4 ± 8.7 ^a	33.1
T2P	59	4.4	8.9 ± 2.0 ^c	14.5	4.6	8.0 ± 1.9 ^c	12.3	7.4	18.1 ± 10.4 ^a	33.5
General	355	4.0	9.8 ± 1.9	14.5	2.7	9.2 ± 1.8	12.8	7.4	23.9 ± 8.0	35.1

Mín.= mínimo, Máx.= máximo, ha= hectárea. *el valor de n en el ANDEVA fue de 4.

Tres años después del inicio del experimento, *P. phaseoloides*, empleada en los tratamientos T4P+C y T2P, se consolidó como la única especie activa en el control de arvenses en el sitio, lo cual se atribuye a su carácter perenne, a diferencia de las especies anuales *C. juncea* y *V. radiata*. No obstante, los tratamientos con *P. phaseoloides* presentaron un crecimiento de los árboles significativamente inferior al testigo y a los demás tratamientos ($p < 0.05$). Con respecto al tratamiento con mejor altura (T5+C), el T2P registró un 19.2 % menos de altura y 13.6 % de DAP; en contraste con el testigo la diferencia fue menor, ya que se obtuvo un 10.0 % menos en altura y un 8.7 % en DAP.

4. Conclusiones

El uso de coberturas vivas de *V. radiata* en combinación con *C. juncea* demostró ser una estrategia eficaz para mejorar las características fisicoquímicas del suelo, aumentando el porcentaje de materia orgánica, carbono, concentración de calcio, y disminuyendo significativamente su acidez. Por otro lado, se evidenció que *P. phaseoloides* propició aumentos en los contenidos de nitrógeno del suelo, disminuyó la resistencia a la penetrabilidad y aumentó de la saturación de calcio, promoviendo valores óptimos para el desarrollo de *T. grandis*. Los cromatogramas muestran una integración armónica de la materia orgánica, la zona enzimática y los minerales, reflejando una microbiología activa y una buena disponibilidad de nutrientes. A pesar de las variaciones en la coloración y los diámetros de las zonas, las diferencias entre tratamientos no fueron significativas, aunque evidencian la influencia positiva de las coberturas vivas en la dinámica del suelo.

5. Agradecimientos

Agradecemos sinceramente a las empresas que nos facilitaron el acceso a sus fincas para el establecimiento de los ensayos con coberturas vivas, cuya colaboración fue fundamental para la realización de este estudio. Asimismo, extendemos nuestro agradecimiento a la Revista de Ciencias Ambientales por brindarnos el espacio para la difusión de estos resultados, y a los revisores externos por sus valiosos comentarios y sugerencias, los cuales contribuyeron significativamente a mejorar la calidad y el alcance del manuscrito.

6. Ética y conflicto de intereses

Las personas autoras declaran que han cumplido totalmente con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en la producción del manuscrito; que no hay conflictos de intereses de ningún tipo; que todas las fuentes financieras se mencionan completa y claramente en la sección de agradecimientos; y que están totalmente de acuerdo con la versión final editada del artículo.

7. Referencias bibliográficas

- Aguilar- Rodríguez, C., Sequeira-Guillen, A. y Peralta-Tercero, E. (2017). Factor de forma para la *Tectona grandis* L.F, empresa MLR-Forestal, Siuna, Costa Caribe Norte de Nicaragua. *Revista Ciencia e interculturalidad*, 21 (2), 74-84. 10.5377/rci.v21i2.5602
- Almeida, E. M., Campelo-Júnior, J. H. y Finger, Z. (2010). Determinação do estoque de carbono em teca (*Tectona grandis*L. f.) em diferentes idades. *Ciência Florestal Santa Maria*, 20(4), 559-56.
- Alvarado A (2012) Nutrición y fertilización de *Tectona grandis* Linn. F. En 'Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales'. (Eds A Alvarado, J Raigosa) págs. (Asociación Costarricense de las Ciencias del Suelo: San José, Costa Rica)
- Alvarado, A. y Fallas J.L. (2004) La saturación de acidez y el encalado sobre el crecimiento de la teca (*Tectona grandis* Lf) en suelos ácidos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28, 81–87.
- Alvarado-Prado, R., Salazar-Ugalde, M., Montero-Chaves, Y. y Fallas-Valencia, I. (2022). Diagnóstico de personas afectadas por patologías, dolencias y accidentes vinculados al uso, exposición, lixiviación, dispersión, bioacumulación, consumo indirecto y directo de plaguicidas en costa rica y sus tratamientos. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. <https://impactoplaguicidas.cr/wp-content/uploads/2022/04/salud-2022-final-con-nota.pdf>
- Arteaga-Barrueta, M., Yesca-Jarquín, C., Álvarez-González, A., Otaño-Corona, L., Pino-Roque, J. A., Evangelista, Alejandro. C. y Reyes-Rodríguez, R. (2021). Radial chromatography for systemic monitoring of soils with different management. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 30(3),
- Barrios-Maestre, Renny, Fariñas, José, Silva-Acuña, Ramón, & Sanabria, Damelys. (2011). Comportamiento de cinco especies de leguminosas como cobertura viva en palma aceitera en el estado Monagas, Venezuela. *Idesia (Arica)*, 29(2), 29-37. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292011000200004>
- Benites-Jump, J.R. (2020). Las leguminosas en la alimentación y en la fertilidad de los suelos. *LEISA Revista de Agroecología*, 36(4), 10-12. https://leisa-al.org/web/revista/volumen-36-numero-04/las-leguminosas-en-la-alimentacion-y-en-la-fertilidad-de-los-suelos/?utm_source=chatgpt.com
- Castillo-Trejo, Eric Yanuario, Flota-Bañuelos, Carolina, Alcudia-Pérez, Julia, Fraire-Cordero, Silvia, Rosales-Martínez, Verónica, & Quej-Chí, Víctor Hugo. (2023). Macrofauna edáfica y calidad del suelo en agroecosistemas agrícolas y pecuarios de Campeche. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 14(3), 413-424.

- Cortes-Cortes, M.L., Murillo-Cruz, R.A., Ramírez-Muñoz, F., Rigg-Aguilar, P., Zalar-Ruiz, A.G y Carvajal-Arroyo, D.A. (2025a). Efecto de las coberturas *Crotalaria juncea* L., *Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth. y *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek sobre el control de plantas arvenses en una plantación clonal de *Tectona grandis* L. f. en Costa Rica. En prensa.
- Cortes-Cortes, M.L. (2025b). Reducción del área de aplicación de herbicida como estrategia agroecológica para el manejo de plantas competidoras en plantaciones clonales de *Tectona grandis*. En prensa.
- Delgado, J. A., Mosquera, V. H. B., Alwang, J. R., Villacis-Aveiga, A., Ayala, Y. E. C., Neer, D., ... & López, L. O. E. (2021). Potential use of cover crops for soil and water conservation, nutrient management, and climate change adaptation across the tropics. *Advances in Agronomy*, 165, 175-247.
- FAO. (2004). The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustainable agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gallardo, L. J. 2001. Mineralización y humificación de la materia orgánica del suelo: consecuencias sobre la contaminación. Medellín, Colombia. In: X Congreso de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- Guevara-Bonilla, M., Briceño-Elizondor, E., Esquivel-Segura, E., Arguedas, M., y Arias-Aguilar, D. (2021). Cover Crops As A Weed Control Method And Their Effect On The Initial Growth Of A *Tectona Grandis* Plantation. *Floresta*, 51(1).
- Gutiérrez, I. R., Pérez, G., Benega, R. y Gómez, L. (2002). COBERTURAS VIVAS DE LEGUMINOSAS EN EL PLÁTANO (*Musa* sp.) FHIA 03. *Cultivos Tropicales*, 2002, vol. 23, no. 3, p. 11-17.
- Guzmán-Plazola, P., Guevara-Gutiérrez, R.D., Olguín-López, J. L. y Mancilla-Villa, O. R. (2016). Perspectiva campesina, intoxicaciones por plaguicidas y uso de agroquímicos. *IDESIA* (Chile), 34(3), 69-80. <https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v34n3/art09.pdf>
- Heras-Heras, M. C., Moreno-López, J.A., Quevedo-Amay, D.V. y Cuichan-Paucar, S. H. (2024). Pérdida de cobertura vegetal y los cambios de uso del suelo en la Amazonia ecuatoriana. *Agroecología Global. Revista Electrónica de Ciencias del Agro y Mar*, 6(10), 89-104. Epub 30 de junio de 2024. <https://doi.org/10.35381/a.g.v6i10.3579>
- Hernández-Rodríguez, P. (2017). Efecto De Diferentes Métodos De Control De Arvenses En Las Propiedades Del Suelo, En Plantaciones De Teca, *Tectona Grandis* (L.F.). [Tesis de Licenciatura]. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.
- Huerta-Olague, J.J, Oropeza Mota, J.L., Guevara Gutiérrez, R. D., Ríos Berber, J.D., Martínez Menes, M.R., Barreto García, O.A., Olguín López, J.L. y Mancilla Villa, O.R. (2018). Efecto de la cobertura vegetal de cuatro cultivos sobre la erosión del suelo. *Idesia (Arica)*, 36(2), 153-162. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292018005000701>
- INDER [Instituto de Desarrollo Rural]. (2015). Informe de Caracterización Básica: Territorio San Carlos-Peñas Blancas-Río Cuarto. Oficina Subregional de San Carlos. Dirección Huetar Norte, Costa Rica. <https://www.inder.go.cr/san-carlos-penas-blancas-rio-cuarto/Caracterizacion-San-Carlos-Penas-Blancas-Rio-Cuarto.pdf>

- INTA [Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria]. (2016). Suelos de Costa Rica, orden Ultisol. Boletín técnico 1. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Av-1604.PDF>
- Kocira, A., Staniak, M., Tomaszewska, M., Kornas, R., Cymerman, J., Panasiewicz, K. y Lipińska, H. (2020). Legume cover crops as one of the elements of strategic weed management and soil quality improvement. A review. *Agriculture*, 10(9), 394.
- Lok, S., Torres, V. y Sarmiento, M. (2019). Efecto de las leguminosas en la dinámica edáfica en áreas ganaderas del occidente de Cuba. *Avances en Investigación Agropecuaria*, vol. 23, núm. 1, pp. 57-77, 2019.
- López-Rojas, M. (2019). Evaluación de los efectos en la salud por el uso de plaguicidas en la agricultura de pequeños productores parcelarios del cantón de La Cruz, Guanacaste, Costa Rica. [Tesis de grado]. Universidad Técnica Nacional. <https://repositorio.utn.ac.cr/handle/20.500.13077/337>
- Martínez Díaz, G. (2019). Efecto de la maleza como cobertera en la fertilidad del suelo y rendimiento de nogal pecanero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(1), 123-130. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1729>
- Medina-Saavedra, T-, Arroyo-Figueroa, G., y Peña-Caballero, V. 2018. Cromatografía De Pfaiffer En El análisisde Suelos De Sistemas Productivos. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas* 9 (3). México, ME:665-73. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i3.1223>
- Osorio-Espinoza, H., Leyva-Galan, A., Toledo-Toledo, E. y Marroquin-Agreda, F. J. (2023). Influence of live and dead covers on weeds, in an agroecosystem with rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) in Mexico/Influencia de las coberturas vivas y muertas sobre las arvenses, en un agroecosistema con rambutan (*Nephelium lappaceum* L.), en Mexico. *Cultivos Tropicales*, 44(4), 1d-1d.
- Palma, L. A. y Delgado, A. (2022). Producción y rentabilidad en una plantación de teca (*Tectona grandis*) en Costa Rica. [Tesis de Licenciatura]. Universidad Nacional, Costa Rica.
- Pérez, P. y Figueroa, L. (2021). Evaluación de *Canavalia ensiformis* y *Vigna radiata* como abonos verdes, sobre la dinámica microbiana del suelo de la finca El Plan de Burras, en el municipio de El Espino, Boyacá, Colombia. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*. 17. 27-40. 10.18359/rfcb.5433.
- Restrepo Rivera, J., & Pinheiro, S. (2015). *Cromatografía: Imágenes de vida y destrucción del suelo*. Permacultura América Latina.
- Santos, HKS, Vagmakre, RG, Felix, SA de O., Morais, RG de, Oliveira, TS de, Duarte Junior, MA, Polese, V., Oliveira, IA de, & Freitas, L. de. (2024). Calidad del suelo bajo cultivo de hortalizas determinada por cromatografía Pfeiffer en agricultura familiar en Vale do Jamari-RO. *Cuaderno Pedagógico*, 21 (7), e5976.
- Seitz VA, McGivern BB, Daly RA, Chaparro JM, Borton MA, Sheflin AM, Kresovich S, Shields L, Schipanski ME, Wrighton KC, Prenni JE. 2022. Variation in Root Exudate Composition Influences Soil Microbiome Membership and Function. *Appl Environ Microbiol* 88:e00226-22.<https://doi.org/10.1128/aem.00226-22>

Washington State University (WSU). (2018). *Soil health in orchards*. Tree Fruit Research & Extension Center. <https://treefruit.wsu.edu/salud-del-suelo-en-los-huertos/>.

Yauri, C.J. (2019). Uso De Tres Especies De Leguminosas Canavalia Ensiformes, Centrosema Macrocarpum, *Pueraria Phaseoloides* en la Recuperación De Suelos Degradados en el Distrito De Luyando. [Tesis de Licenciatura]. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú.

Zambrano, E. (2020). Evaluación de cuatro leguminosas como cultivos de cobertura en Zamorano, Honduras. [Tesis de licenciatura]. Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.

Zavala-Sierra, Daniela., Rodríguez-Ortiz, J., Jáuregui, A., Ruiz-Espinoza, F., Mancillas, R., Rodríguez, H., y Delgado-Sánchez, P. (2018). Potencial de cinco especies de leguminosas como abonos verdes en la zona altiplano de San Luis Potosí, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 9(20), 4323-4330.

Zhou, Z., Liu, S., Liang, K. *et al.* Growth and mineral nutrient analysis of teak (*Tectona grandis*) grown on acidic soils in south China. *J. For. Res.* **28**, 503–511 (2017). <https://doi.org/10.1007/s11676-016-0324-0>

8. Contribución del autor

David Antonio Carvajal Arroyo

Diseño experimental, levantamiento de información, redacción del manuscrito

Mónica Lizbeth Cortes Cortes

Diseño experimental, levantamiento de información, redacción del manuscrito

Fernando Ramírez Muñoz

Diseño experimental y redacción del manuscrito
--

Rafael Ángel Murillo Cruz

Diseño experimental, levantamiento de información.
--

Diana Mora Campos

Redacción del manuscrito

Este preprint fue presentado bajo las siguientes condiciones:

- Los autores declaran que son conscientes de que son los únicos responsables del contenido del preprint y que el depósito en SciELO Preprints no significa ningún compromiso por parte de SciELO, excepto su preservación y difusión.
- Los autores declaran que se obtuvieron los términos necesarios del consentimiento libre e informado de los participantes o pacientes en la investigación y se describen en el manuscrito, cuando corresponde.
- Los autores declaran que la preparación del manuscrito siguió las normas éticas de comunicación científica.
- Los autores declaran que los datos, las aplicaciones y otros contenidos subyacentes al manuscrito están referenciados.
- El manuscrito depositado está en formato PDF.
- Los autores declaran que la investigación que dio origen al manuscrito siguió buenas prácticas éticas y que las aprobaciones necesarias de los comités de ética de investigación, cuando corresponda, se describen en el manuscrito.
- Los autores declaran que una vez que un manuscrito es postado en el servidor SciELO Preprints, sólo puede ser retirado mediante solicitud a la Secretaría Editorial deSciELO Preprints, que publicará un aviso de retracción en su lugar.
- Los autores aceptan que el manuscrito aprobado esté disponible bajo licencia [Creative Commons CC-BY](#).
- El autor que presenta el manuscrito declara que las contribuciones de todos los autores y la declaración de conflicto de intereses se incluyen explícitamente y en secciones específicas del manuscrito.
- Los autores declaran que el manuscrito no fue depositado y/o previamente puesto a disposición en otro servidor de preprints o publicado en una revista.
- Si el manuscrito está siendo evaluado o siendo preparando para su publicación pero aún no ha sido publicado por una revista, los autores declaran que han recibido autorización de la revista para hacer este depósito.
- El autor que envía el manuscrito declara que todos los autores del mismo están de acuerdo con el envío a SciELO Preprints.