



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), marzo-abril 2025,
Volumen 9, Número 2.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2

EVALUACIÓN DE LA FIJACIÓN DE NITRÓGENO EN SUELOS POR CAESALPINIA SPINOSA (TARA) EN DIFERENTES TIPOS DE SUELO EN CAJAMARCA, PERÚ

**EVALUATION OF NITROGEN FIXATION IN SOILS BY
CAESALPINIA SPINOSA (TARA) IN DIFFERENT SOIL TYPES
IN CAJAMARCA, PERU**

Julio Aquino Vilca

Dirección Regional de Agricultura Cajamarca, Perú

Mario Ruiz Ramos

Universidad Nacional de Jaén, Perú

Segundo Sánchez Tello

Universidad Nacional de Jaén, Perú

Gustavo Adolfo Martínez Sovero

Universidad Nacional de Jaén, Perú

Luis Arturo Gil Ramírez

Universidad Nacional de Jaén, Perú

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2.17299

Evaluación de la Fijación de Nitrógeno en Suelos por *Caesalpinia Spinosa* (Tara) en Diferentes Tipos de Suelo en Cajamarca, Perú

Julio Aquino Vilca¹vilcaaj@yahoo.com<https://orcid.org/0000-0002-6021-5797>Dirección Regional de Agricultura Cajamarca
Perú**Mario Ruiz Ramos**ruiz_ramos@unj.edu.pe<https://orcid.org/0000-0002-9955-3064>Universidad Nacional de Jaén
Perú**Segundo Sánchez Tello**Segundo.sanchez@unj.edu.pe<https://orcid.org/0000-0003-4031-9430>Universidad Nacional de Jaén
Perú**Gustavo Adolfo Martínez Sovero**gustavo.martinez@unj.edu.pe<https://orcid.org/0000-0002-2030-3004>Universidad Nacional de Jaén
Perú**Luis Arturo Gil Ramírez**lus.gil@unj.edu.pe<https://orcid.org/0000-0002-7323-0566>Universidad Nacional de Jaén
Perú

RESUMEN

Este estudio evalúa la capacidad de *Caesalpinia spinosa* (tara) para fijar nitrógeno en tres tipos de suelos (arenisca, calcáreo y volcánico) en la región de Cajamarca, Perú. Bajo la hipótesis de que la tara tiene la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico a través de mecanismos biológicos, se recolectaron muestras de suelo en tres distancias laterales desde el tronco del árbol (150, 350 y 550 m) y a tres profundidades (0.10 m, 0.25 m y 0.50 m). Se seleccionaron cuatro árboles adultos por cada tipo de suelo y se incluyó un control de muestras de suelo fuera de la influencia radicular de los árboles. Las muestras fueron analizadas en laboratorio para determinar la concentración de nitrógeno total. Los resultados revelaron que en suelos calcáreos se registraron las mayores concentraciones de nitrógeno a 0.25 m de profundidad y a 350 m del tronco, en comparación con los suelos de arenisca y volcánico. En general, se observó una disminución en el contenido de nitrógeno conforme aumenta la distancia del árbol y la profundidad. Estos resultados sugieren que *Caesalpinia spinosa* contribuye significativamente a la fijación de nitrógeno, especialmente en suelos calcáreos.

Palabras clave: actinorrizas, fijación biológica de nitrógeno, leguminosa, nitrógeno, rizobias

¹ Autor principal

Correspondencia: vilcaaj@yahoo.com

Evaluation of Nitrogen Fixation in Soils by *Caesalpinia spinosa* (Tara) in Different Soil Types in Cajamarca, Peru

ABSTRACT

This study evaluates the nitrogen-fixing capacity of *Caesalpinia spinosa* (tara) in three soil types (sandstone, calcareous, and volcanic) in the Cajamarca region of Peru. Hypothesizing that tara has the capacity to fix atmospheric nitrogen through biological mechanisms, soil samples were collected at three lateral distances from the tree trunk (150, 350, and 550 m) and three depths (0.10 m, 0.25 m, and 0.50 m). Four adult trees were selected for each soil type, and a control sample of soil outside the root influence of the trees was included. The samples were analyzed in the laboratory to determine total nitrogen concentrations. The results revealed that the highest nitrogen concentrations were recorded in calcareous soils at 0.25 m depth and 350 m from the trunk, compared to sandstone and volcanic soils. In general, a decrease in nitrogen content will be observed with increasing distance from the tree and depth. These results suggest that *Caesalpinia spinosa* contributes significantly to nitrogen fixation, especially in calcareous soils.

Keywords: actinorhiza, biological nitrogen fixation, legume, nitrogen, rhizobia

*Artículo recibido 20 marzo 2025
Aceptado para publicación: 15 abril 2025*



INTRODUCCIÓN

La fijación biológica de nitrógeno (FBN) es un proceso clave en los ecosistemas naturales y agrícolas, en el cual las plantas, en simbiosis con microorganismos específicos, capturan nitrógeno atmosférico (N_2) y lo transforman en formas asimilables por otros organismos, como el amonio (NH_4^+). Este proceso es fundamental para la sostenibilidad de los suelos, ya que mejora su fertilidad sin la necesidad de fertilizantes sintéticos, los cuales pueden tener efectos negativos en el medio ambiente, como la contaminación de aguas subterráneas y el aumento de gases de efecto invernadero (Ladha et al., 2016). Las leguminosas (Fabaceae) son el grupo más destacado en la fijación de nitrógeno debido a su asociación con bacterias del género *Rhizobium*, que se alojan en las raíces de las plantas y facilitan la fijación de nitrógeno. Sin embargo, la capacidad de fijar nitrógeno no se limita exclusivamente a las leguminosas, ya que otras familias de plantas, conocidas como actinorrizas, establecen asociaciones simbióticas con bacterias del género *Frankia* (Dawson, 2008).

Caesalpinia spinosa, también conocida como tara, es una leguminosa nativa de los Andes que ha despertado interés por su potencial en la fijación de nitrógeno, aunque hasta la fecha no existen estudios concluyentes que lo confirmen de manera fehaciente (Zahran, 1999). A pesar de ser una leguminosa, la capacidad de *Caesalpinia spinosa* para fijar nitrógeno aún no ha sido ampliamente investigada. Algunos estudios sugieren que ciertas especies del género *Caesalpinia* pueden fijar nitrógeno bajo ciertas condiciones, pero estas afirmaciones necesitan más investigación (Chen et al., 2020).

La fijación biológica de nitrógeno no solo mejora la fertilidad de los suelos, sino que también desempeña un papel importante en la regeneración de áreas degradadas y la promoción de la biodiversidad (Mitsch et al., 2013). En sistemas agrícolas, esta capacidad es particularmente relevante para reducir la dependencia de fertilizantes químicos, los cuales, a largo plazo, pueden afectar negativamente la calidad del suelo y contribuir a la pérdida de biodiversidad (Saha et al., 2017).

En este estudio, se plantea la hipótesis de que *Caesalpinia spinosa* tiene la capacidad de fijar nitrógeno, lo que podría contribuir a mejorar la calidad del suelo en los ecosistemas donde se encuentra. Para evaluar esta posibilidad, se realizaron análisis de suelos en rodales de tara en la región de Cajamarca, Perú, en tres tipos de suelos: arenisca, calcáreo y volcánico.



Se midieron los niveles de nitrógeno en distintas profundidades y distancias laterales del árbol para determinar si existe evidencia clara de fijación de nitrógeno.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo de estudio

Este fue un estudio de **corte transversal** con un enfoque experimental, diseñado para evaluar la fijación biológica de nitrógeno (FBN) en *Caesalpinia spinosa* (tara) en diferentes tipos de suelo en la región de Cajamarca, Perú. Se midió la concentración de nitrógeno en suelos en distintos momentos, profundidades y distancias laterales respecto al tronco de los árboles.

Área de estudio

El trabajo de investigación se realizó en las provincias de San Pablo y Cajamarca, en el departamento de Cajamarca, Perú. La ubicación de los sitios de muestreo fue determinada mediante el uso de cartografía de base combinada con cartografía temática y verificación en campo. Las áreas seleccionadas representaron tres tipos de material parental del suelo: arenisca, calcáreo y volcánico.

Diseño experimental

El estudio se basó en la hipótesis de que *Caesalpinia spinosa* contribuye a la fijación biológica de nitrógeno en los suelos, influenciada por las características del material parental del suelo. Se seleccionaron cuatro árboles adultos por cada tipo de suelo, utilizando los siguientes criterios: árboles jóvenes de porte vigoroso, crecimiento en rodales naturales y suelos mínimamente perturbados.

El diseño experimental incluyó tres tratamientos, cada uno con cuatro repeticiones, donde cada árbol constituía una unidad experimental (parcela). Se incluyó un control en cada sitio, recolectando muestras de suelos fuera de la influencia radicular de los árboles de tara.

Los tratamientos fueron los siguientes

- Tratamiento 1: Muestras de suelo de 4 árboles que crecen en suelos de origen arenisca, más un testigo sin influencia radicular.
- Tratamiento 2: Muestras de suelo de 4 árboles en suelos de origen calcáreo, más un testigo sin influencia radicular.
- Tratamiento 3: Muestras de suelo de 4 árboles en suelos de origen volcánico, más un testigo sin influencia radicular.

Justificación de distancias y profundidades

Las distancias laterales (1,50 m, 3,50 m y 5,50 m) y las profundidades (0,10 m, 0,25 m y 0,50 m) fueron seleccionadas para representar la variación en la concentración de nitrógeno en función de la proximidad al árbol y el área de exploración radicular. La selección de estas distancias se basó en estudios previos que indican que la fijación de nitrógeno por leguminosas está más concentrada cerca del tronco, donde se espera que las raíces absorban mayor cantidad de nutrientes (Ladha et al., 2016). La profundidad de 0,10 m se eligió para evaluar el aporte de materia orgánica superficial, mientras que las profundidades de 0,25 m y 0,50 m reflejan el rango de actividad radicular activa y la zona de fijación de nitrógeno (Mitsch et al., 2013).

Muestreo de suelos

Se recolectaron muestras de suelo en cuatro direcciones alrededor de cada árbol (en la pendiente: arriba y abajo; y horizontalmente: derecha e izquierda) a tres distancias laterales del tronco: 1,50 m, 3,50 m y 5,50 m. Además, se tomaron muestras a tres profundidades: 0,10 m, 0,25 m y 0,50 m (Figura 1.1 y Figura 1.2).

Por cada combinación de distancia lateral y profundidad, se recolectaron cuatro muestras por árbol, las cuales fueron mezcladas para obtener una sola muestra representativa. En total, se recolectaron 9 muestras por cada árbol (3 profundidades y 3 distancias), además de 3 muestras adicionales correspondientes a las áreas control (sin influencia radicular).

Análisis de laboratorio

Las muestras fueron procesadas en el laboratorio de la Estación Experimental Baños del Inca, parte del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Se utilizó el método de Kjeldahl para medir la cantidad total de nitrógeno en las muestras, un método estándar para cuantificar el nitrógeno tanto en su forma orgánica como inorgánica.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existían diferencias significativas en la concentración de nitrógeno entre los tratamientos, las distancias laterales y las profundidades. Para identificar diferencias específicas entre los grupos, se aplicó la prueba post-hoc de Tukey. Se consideró un valor de $p < 0,05$ como estadísticamente significativo.

RESULTADOS

Los análisis de nitrógeno total realizados en las muestras de suelo, tanto dentro como fuera de la influencia del sistema radicular de *Caesalpinia spinosa* (testigos), proporcionaron datos importantes sobre la fijación de nitrógeno. Los porcentajes de nitrógeno total para los tres tipos de material parental del suelo (arenisca, calcáreo y volcánico) se presentan en las Tablas 1, 2, 3 y 4, a diferentes distancias laterales desde el tronco del árbol y profundidades.

En los suelos de origen arenisca, los valores de nitrógeno fueron generalmente más bajos, y se observó que el contenido de nitrógeno tiende a disminuir conforme se aleja la distancia lateral del árbol y aumenta la profundidad (Tabla 2). Sin embargo, los valores del testigo fueron superiores en todos los casos, lo que sugiere una posible anomalía en la toma de muestras o baja eficiencia de fijación en estos suelos. A 0,25 metros de profundidad y a una distancia de 1,50 metros, el testigo registró un 0,20% de nitrógeno, en comparación con el 0,17% en los rodales de los árboles. A mayor profundidad (0,50 m), los valores del rodal y el testigo se acercaron más, sin grandes diferencias.

En los suelos de origen calcáreo, los resultados fueron más favorables para la fijación de nitrógeno por *Caesalpinia spinosa* (Tabla 3). A una profundidad de 0,25 metros y a 3,50 metros de distancia lateral, se registró un 0,25% de nitrógeno en los rodales, superando al testigo, que solo alcanzó un 0,11%. Los valores en profundidad también demostraron una mayor concentración de nitrógeno en los rodales en comparación con los testigos en todos los niveles.

En los suelos de origen volcánico, los porcentajes de nitrógeno fueron generalmente menores en comparación con los otros tipos de suelos (Tabla 4). Sin embargo, los rodales de *Caesalpinia spinosa* presentaron mayores concentraciones de nitrógeno que los testigos. A 0,25 metros de profundidad y a 1,50 metros de distancia lateral, los rodales registraron un 0,13% de nitrógeno, mientras que el testigo solo alcanzó un 0,08%.

El coeficiente de variabilidad para los suelos de origen arenisca fue de 14,4%, mientras que para los suelos de origen calcáreo fue de 12,4%. En el caso de los suelos de origen volcánico, el coeficiente de variabilidad fue de 9,25%.

Nota: A continuación, se describen los resultados mediante tablas y figuras:



Tabla 1. Porcentajes de nitrógeno total, determinados por material parental a diferentes distancias laterales a partir del tronco del árbol y a diferentes profundidades por cada distancia lateral.

Material parental	Profundidad (m)	Distancias laterales a partir del tronco del árbol					
		1,50 m		3,50 m		5,50 m	
		Testigo	Rodal.	Testigo	Rodal	Testigo	Rodal
Arenisca	0,10	0,43	0,24	0,43	0,23	0,43	0,19
	0,25	0,20	0,17	0,20	0,15	0,20	0,13
	0,50	0,12	0,14	0,12	0,11	0,12	0,11
Calcáreo	0,10	0,22	0,30	0,22	0,28	0,22	0,22
	0,25	0,11	0,19	0,11	0,25	0,11	0,18
	0,50	0,10	0,13	0,10	0,15	0,10	0,14
Volcánico	0,10	0,17	0,17	0,17	0,16	0,17	0,14
	0,25	0,08	0,13	0,08	0,10	0,08	0,11
	0,50	0,06	0,10	0,06	0,10	0,06	0,09

El coeficiente de variabilidad para los suelos de origen arenisca fue de 14,4%, mientras que para los suelos de origen calcáreo fue de 12,4%. En el caso de los suelos de origen volcánico, el coeficiente de variabilidad fue de 9,25%.

Tabla 2. Porcentajes de nitrógeno total, a diferentes distancias laterales a partir del tronco del árbol y a diferentes profundidades por cada distancia lateral, en suelos de origen arenisca.

Profundidad: m	Distancias laterales a partir del tronco del árbol					
	1,50 m		3,50 m		5,50 m	
	Testigo	Rodal	Testigo	Rodal	Testigo	Rodal
0,25	0,20	0,17	0,20	0,15	0,20	0,13
0,50	0,12	0,14	0,12	0,11	0,12	0,11

Tabla 3: Coeficiente de variabilidad por tipo de material parental

Origen del material parental del suelo	Coeficiente de variabilidad (%)
Arenisca	14,4
Calcáreo	12,4
Volcánico	9,25

Tabla 4. Porcentajes de nitrógeno total, a diferentes distancias laterales a partir del tronco del árbol y a diferentes profundidades por cada distancia lateral, en suelos de origen arenisca.

Profundidad: m	Distancias laterales a partir del tronco del árbol					
	1,50 m		3,50 m		5,50 m	
	Testigo	Rodal	Testigo	Rodal	Testigo	Rodal
0,25	0,20	0,17	0,20	0,15	0,20	0,13
0,50	0,12	0,14	0,12	0,11	0,12	0,11

Tabla 5. Porcentajes de nitrógeno total, a diferentes distancias laterales a partir del tronco del árbol y a diferentes profundidades por cada distancia lateral en suelos de origen calcáreo

Profundidad: m	Distancias laterales a partir del tronco del árbol					
	1,50 m		3,50 m		5,50 m	
	Testigo	Rodal	Testigo	Rodal	Testigo	Rodal
0,25	0,11	0,19	0,11	0,25	0,11	0,18
0,50	0,10	0,13	0,10	0,15	0,10	0,14

Tabla 6. Porcentajes de nitrógeno total, a diferentes distancias laterales a partir del tronco del árbol y a diferentes profundidades por cada distancia lateral, en suelos de origen volcánico.

Profundidad: m	Distancias laterales a partir del tronco del árbol					
	1,50 m		3,50 m		5,50 m	
	Testigo	Rodal	Testigo	Rodal	Testigo	Rodal
0,25	0,08	0,13	0,08	0,10	0,08	0,11
0,50	0,06	0,10	0,06	0,10	0,06	0,09

Figura 1. Profundidades para cada distancia lateral donde se tomaron las muestras.

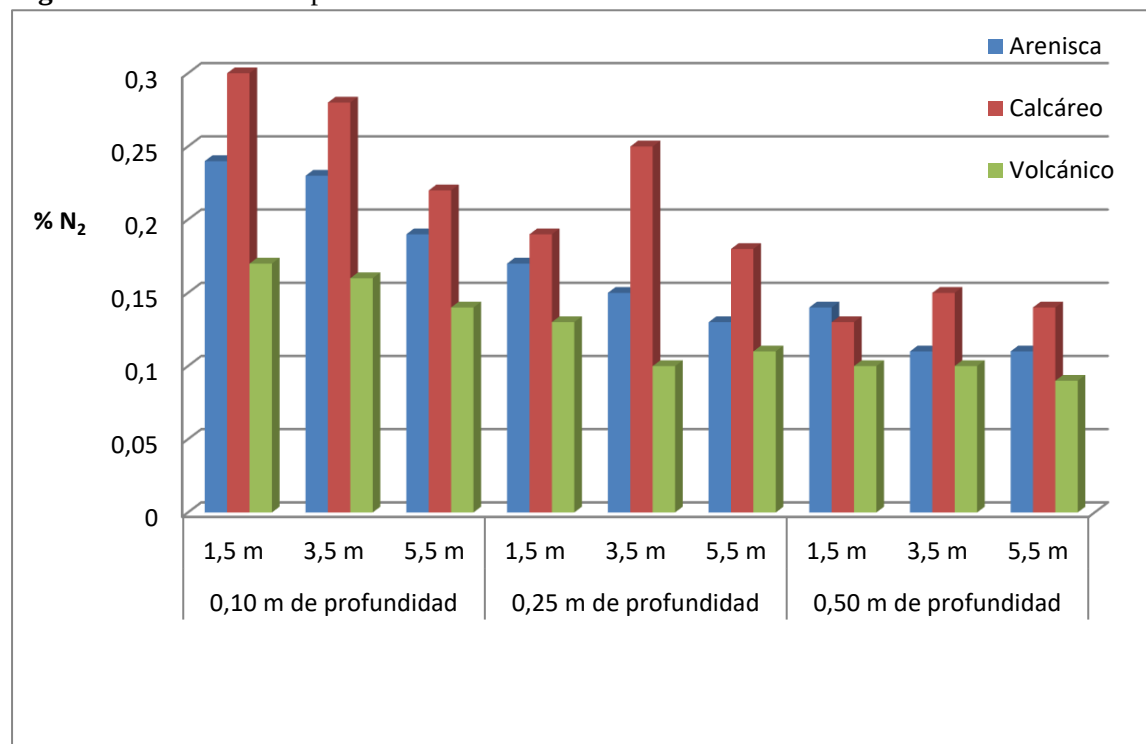


Figura 2. Porcentaje de contenido de nitrógeno en 3 tipos de material parental del suelo, diferentes distancias laterales a partir del árbol y a diferentes profundidades.

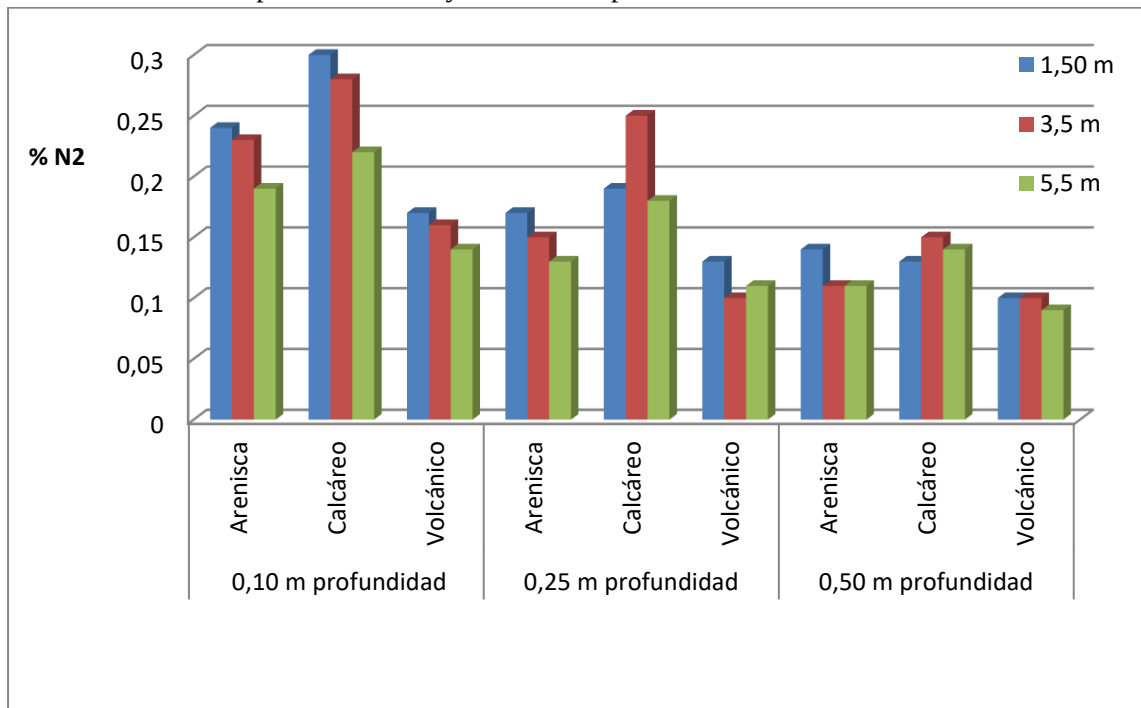


Figura 3. Porcentaje de contenido de nitrógeno en diferentes distancias laterales a partir del árbol y a diferentes profundidades en 3 tipos de material parental del suelo.

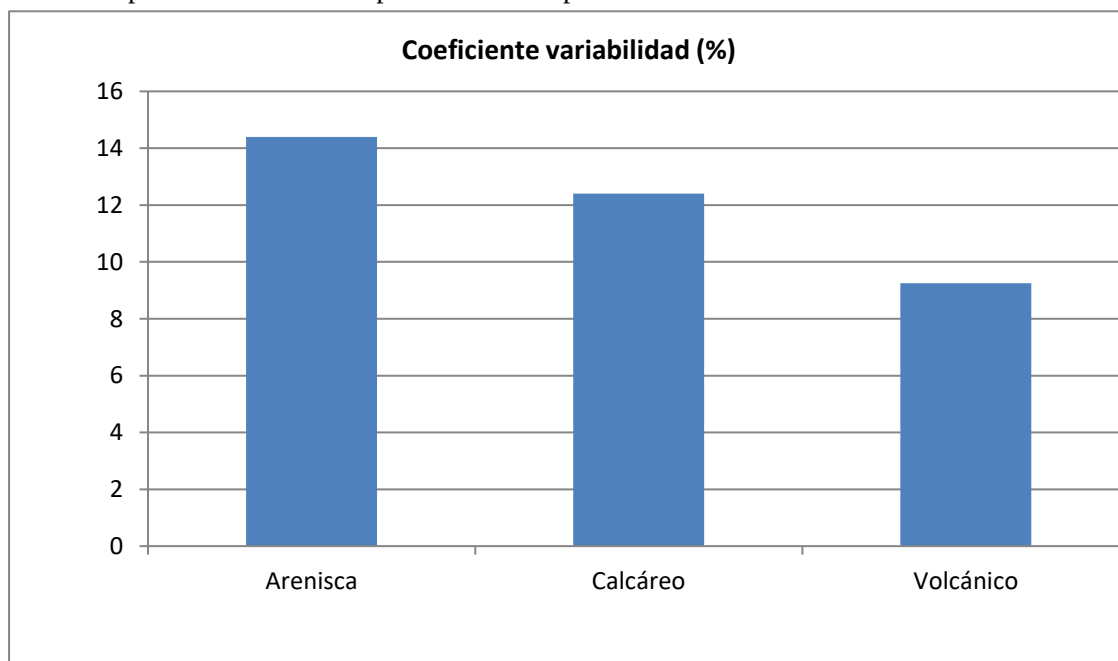


Figura 4. Coeficiente de variabilidad del contenido de nitrógeno por tipo de material parental.

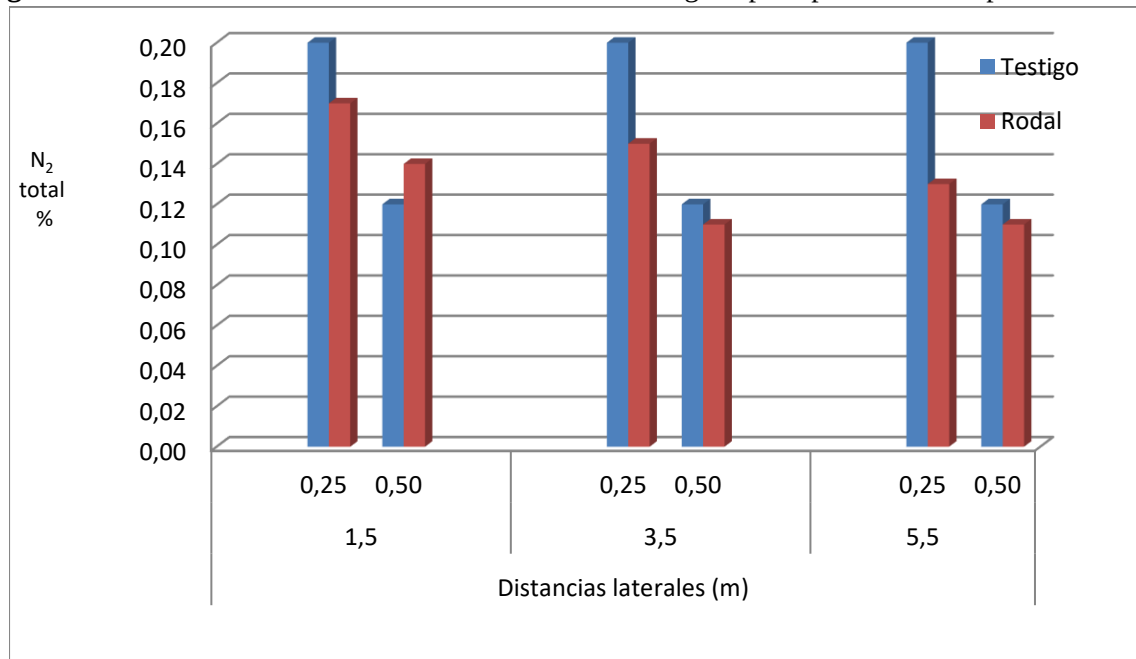


Figura 5. Comparación del porcentaje de nitrógeno entre el testigo y suelos de los árboles en diferentes distancias laterales a partir del árbol y a profundidades de 0,25 y 0,50 m, en suelos de origen arenisca.

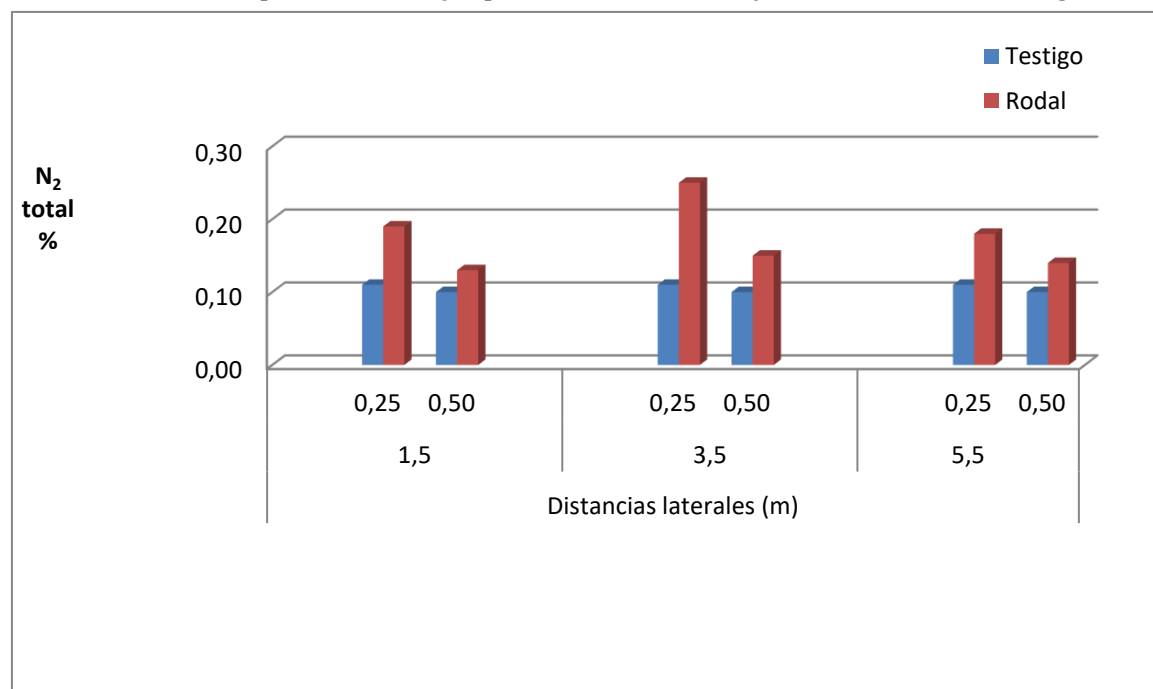


Figura 6. Comparación del porcentaje de nitrógeno entre el testigo y suelos de los árboles, en diferentes distancias laterales a partir del árbol y a profundidades de 0,25 m y 0,50 m, en suelos de origen calcáreo.

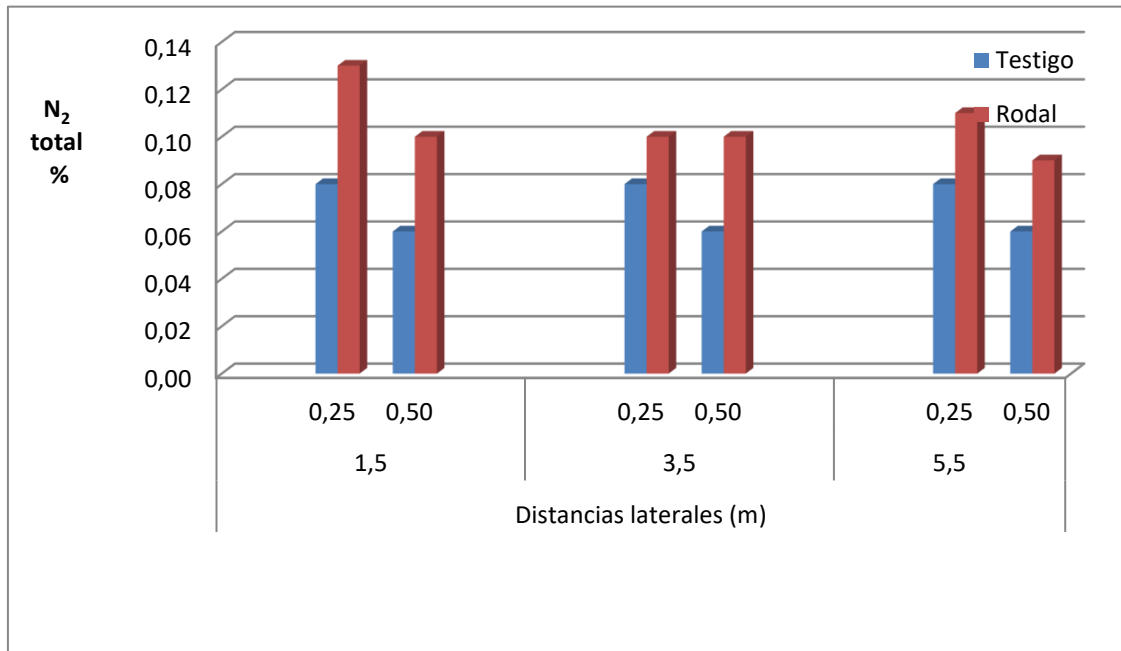


Figura 7. Comparación del porcentaje de nitrógeno entre el testigo y suelos de los árboles, en diferentes distancias laterales a partir del árbol y a profundidades de 0,25 m y 0,50 m, en suelos de origen volcánico.

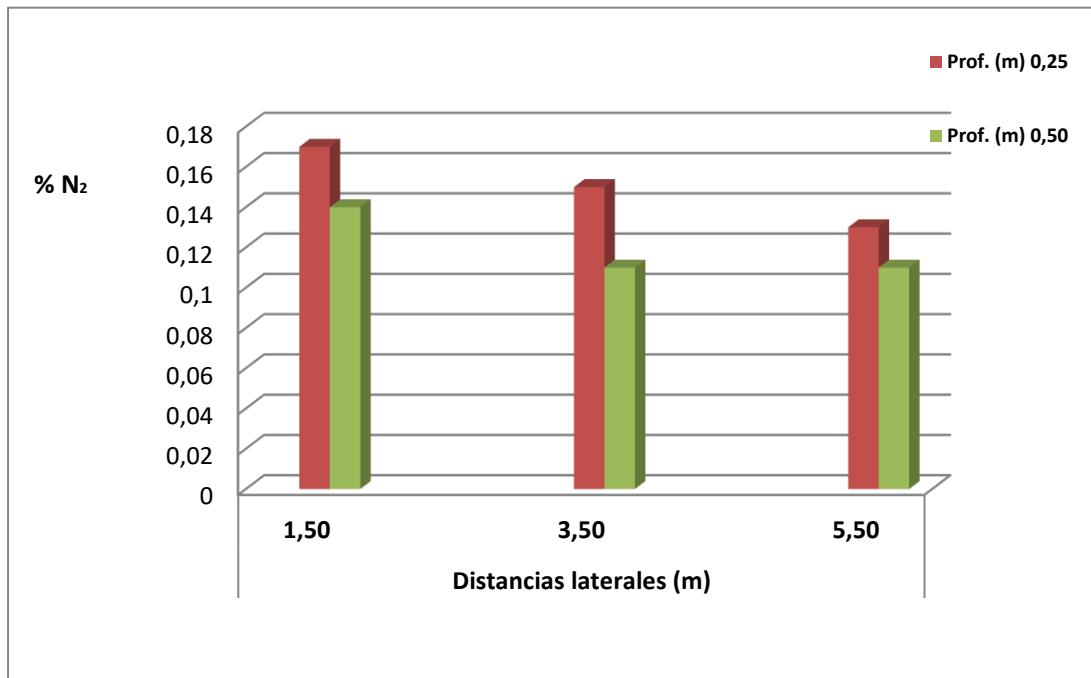


Figura 8. Porcentaje de nitrógeno por profundidades y por distancias laterales a partir del árbol, en suelos de origen arenisca.

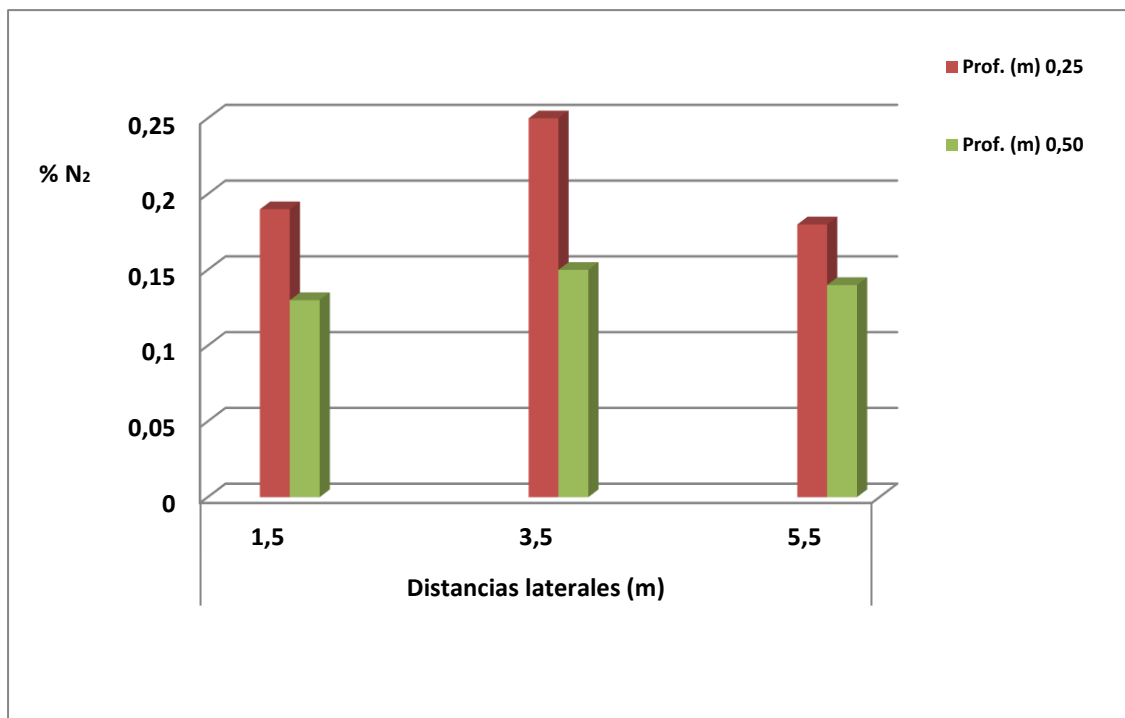
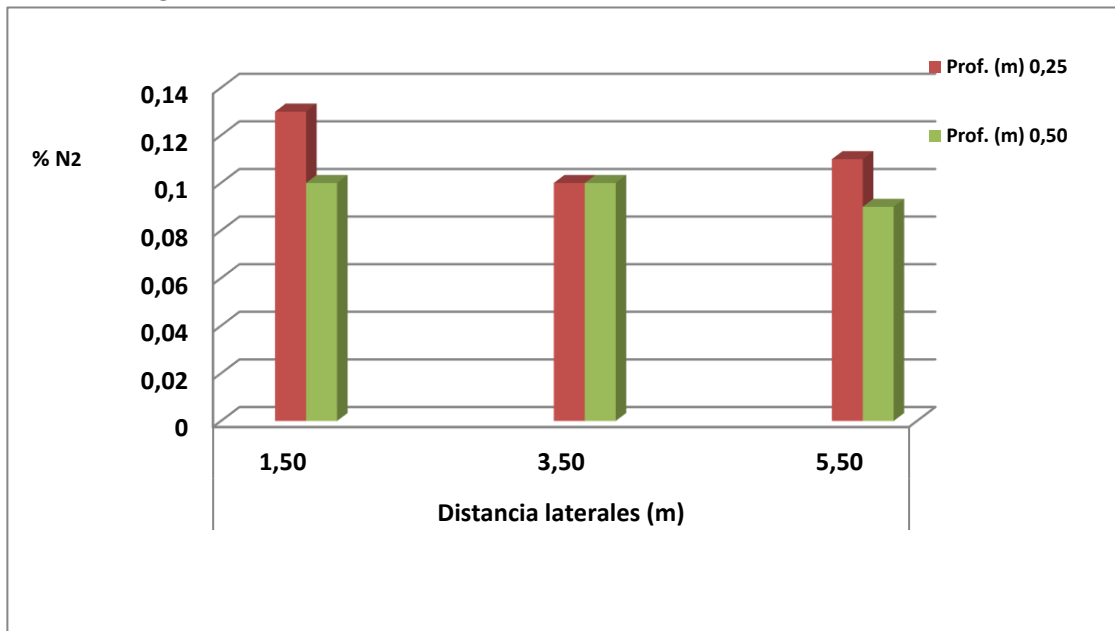


Figura 9. Porcentaje de nitrógeno por profundidades y por distancias laterales a partir del árbol, en suelos de origen calcáreo.



Los resultados obtenidos en este estudio sugieren que *Caesalpinia spinosa* tiene una capacidad variable de fijación de nitrógeno dependiendo del tipo de suelo, con una mayor eficiencia en suelos de origen calcáreo y volcánico en comparación con los de origen arenisca.

Estos hallazgos son importantes porque destacan el potencial de esta especie para contribuir a la mejora de la fertilidad del suelo, pero también revelan limitaciones que deben ser consideradas en futuros estudios y aplicaciones prácticas.

En suelos de origen calcáreo, los resultados muestran una clara superioridad de las muestras provenientes de los rodales de *Caesalpinia spinosa* en comparación con los testigos en todas las distancias laterales y profundidades estudiadas. Esto sugiere que el sistema radicular de la tara, en este tipo de suelo, está efectivamente contribuyendo a la fijación biológica de nitrógeno (FBN). Es probable que la alta capacidad de fijación en suelos calcáreos se deba a la naturaleza alcalina de estos suelos, que favorece la actividad de los microorganismos simbióticos, como las bacterias del género *Rhizobium* o *Frankia*, que facilitan la conversión de nitrógeno atmosférico en formas asimilables por las plantas (Ladha et al., 2016). Este resultado es consistente con otros estudios que han demostrado que los suelos calcáreos son adecuados para la actividad microbiana que facilita la fijación de nitrógeno, debido a su capacidad para mantener la disponibilidad de nutrientes esenciales para las bacterias fijadoras de nitrógeno.

Además, la mayor concentración de nitrógeno se observó en los estratos más cercanos al tronco del árbol y en las capas superficiales (0,25 m de profundidad), lo cual es coherente con lo que se ha reportado previamente en estudios de fijación de nitrógeno en leguminosas. Se ha documentado que las raíces más cercanas al tronco son más activas en términos de absorción de nutrientes y asociación con microorganismos fijadores de nitrógeno, lo que explica los altos niveles observados en estas zonas (Saha et al., 2017).

En suelos de origen volcánico, aunque las concentraciones de nitrógeno fueron menores que en los suelos calcáreos, los rodales de *Caesalpinia spinosa* superaron en contenido de nitrógeno a los testigos en casi todas las combinaciones de distancias laterales y profundidades. Estos resultados sugieren que, aunque los suelos volcánicos tienen características que pueden limitar la eficiencia de la fijación de nitrógeno, como su alta porosidad y menor retención de agua y nutrientes, *Caesalpinia spinosa* sigue desempeñando un papel en la mejora del contenido de nitrógeno en el suelo.

Cabe destacar que los suelos volcánicos son conocidos por su alta capacidad de retención de nutrientes a través de procesos de intercambio catiónico, lo que podría explicar por qué, a pesar de las limitaciones



inherentes, la tara es capaz de fijar nitrógeno en estas condiciones (Dawson, 2008). La presencia de nitrógeno en los rodales en niveles superiores a los testigos sugiere que los microorganismos fijadores están presentes y activos, aunque su eficiencia podría estar influenciada por las fluctuaciones de humedad o la estructura del suelo.

En los suelos de origen arenisca, los resultados mostraron que los valores de nitrógeno en los testigos fueron consistentemente mayores que en los rodales de *Caesalpinia spinosa*, lo cual es sorprendente y plantea varias hipótesis. Una posible explicación es un error en la toma de muestras, donde los suelos de los testigos podrían haber sido más fértiles o haber estado influenciados por otras fuentes de nitrógeno. Sin embargo, si asumimos que la toma de muestras fue correcta, es posible que las características intrínsecas de los suelos de arenisca, conocidos por su baja fertilidad y capacidad de retención de agua y nutrientes, limiten la actividad de los microorganismos fijadores de nitrógeno (Zahran, 1999).

Además, la fijación de nitrógeno en suelos de baja fertilidad como los de arenisca podría estar afectada por la disponibilidad de nutrientes esenciales para los microorganismos fijadores de nitrógeno, como fósforo y molibdeno, que son necesarios para la formación de las enzimas involucradas en el proceso de fijación (Mitsch et al., 2013). Esto sugiere que en suelos pobres en nutrientes, la fijación de nitrógeno podría no ser suficiente para sustentar una mejora significativa en la fertilidad del suelo. Es posible que la tara esté fijando cantidades mínimas de nitrógeno, las cuales son utilizadas principalmente para el autoconsumo de la planta, sin un aporte significativo al suelo circundante.

En términos generales, los suelos de origen calcáreo demostraron ser los más favorables para la fijación de nitrógeno por *Caesalpinia spinosa*, seguidos de los suelos volcánicos. Los suelos de arenisca, en cambio, presentaron los peores resultados en términos de fijación de nitrógeno, lo que sugiere que la eficiencia de la tara en la fijación de nitrógeno está altamente condicionada por las características físico-químicas del suelo. Este hallazgo es consistente con la literatura, que señala que la fijación de nitrógeno es más eficiente en suelos con buena disponibilidad de nutrientes y con características que facilitan la actividad microbiana simbiótica (Chen et al., 2020).

Estos resultados tienen importantes implicaciones para el manejo de suelos en zonas agrícolas o en programas de restauración de tierras degradadas. En áreas con suelos calcáreos y volcánicos,

Caesalpinia spinosa podría ser utilizada como una herramienta natural para mejorar la fertilidad del suelo a través de la fijación de nitrógeno, lo que reduciría la dependencia de fertilizantes sintéticos y promovería una agricultura más sostenible. Sin embargo, en suelos de origen arenisca, podría ser necesario complementar la actividad de la tara con la adición de nutrientes esenciales o con la introducción de otras especies que sean más eficientes en la fijación de nitrógeno en estas condiciones.

CONCLUSIONES

Para una buena comparación de los contenidos de nitrógeno y una correcta interpretación, no se ha tomado en cuenta los resultados del estrato de 0,10 m de profundidad, en todas las distancias laterales a partir del árbol, incluyendo el testigo, debido a que este estrato está por encima de los límites de la superficie de exploración radicular y está influenciado por la presencia de abundante materia orgánica en estado de humificación, proveniente de hojas y otros residuos vegetales.

En los 3 tipos de material parental estudiados, el contenido de nitrógeno disminuye a medida que la distancia lateral se aleja del árbol y conforme la profundidad aumenta, aunque con diferencias poco significativas y variando en valores entre materiales parentales del suelo.

El contenido de nitrógeno de las muestras provenientes de los árboles de *Caesalpinia spinosa*, que crecen en suelos de origen calcáreo y volcánico en las diferentes distancias laterales y profundidades, son superiores respecto al testigo (muestras de suelos, provienen de áreas vecinas que no tienen ninguna influencia del sistema radicular de la especie en estudio); mientras que en suelos de origen arenisca, el testigo supera a los valores que provienen de suelos donde crecen los rodales de la especie en estudio, que podría ser debido a un error en la toma de muestras y que probablemente provenga de un suelo de mejores condiciones que al de los árboles, no obstante, a la cercanía de los mismos; o caso contrario, una correcta toma de muestras, pero que por ser pobres los niveles de fertilidad en este tipo de suelos, las evidencias de fijación de nitrógeno por los árboles de esta especie, pasan desapercibidos (actividad de los microorganismos fijadores de nitrógeno, poco eficientes) y que el nitrógeno existente, similar al del testigo, ha sido utilizado por los mismos árboles, o lo poco que fija, es solamente para el autoconsumo de los mismos.

Por la mayor concentración de nitrógeno encontrado en los análisis, se concluye que el área de exploración del sistema radicular de la *Cesalpinia spinosa*, se encuentra en los límites de 0,25 m de profundidad; pudiendo alcanzar en menor proporción hasta los 0,50 m.

En suelos de origen calcáreo, el contenido de nitrógeno es mayor, en todas las distancias laterales y profundidades estudiadas, siguiéndole en orden, los suelos de origen arenisca y finalmente los suelos de origen volcánico.

La zona de mayor contenido de nitrógeno en suelos de origen arenisca y volcánico, se encuentra en los límites de 1,50 m de distancia lateral a partir del árbol y en los límites de 0,25 m de profundidad (horizonte B del suelo); mientras que, en suelos calcáreos, la mayor concentración de nitrógeno, se encuentra en los límites de 3,50 m de distancia lateral a partir del árbol y a la misma profundidad de 0,25 m.

Teniendo en cuenta que los valores de nitrógeno proveniente de las muestras de suelos de los rodales naturales de la *Caesalpinia spinosa* son mayores que los del testigo: y de otra parte, que estos valores van disminuyendo a medida que la distancia lateral a partir del árbol se incrementa y la profundidad aumenta, se postula, que existen evidencias claras de que la *Caesalpinia spinosa* – Tara, fija nitrógeno, sobre todo en suelos de origen calcáreo.

Este estudio demuestra que *Caesalpinia spinosa* puede fijar nitrógeno en suelos de origen calcáreo y volcánico, lo que podría contribuir a la mejora de la calidad del suelo en estos ecosistemas. No obstante, en suelos de origen arenisca, la fijación de nitrógeno fue limitada, lo que sugiere la necesidad de investigar más sobre los factores que afectan la eficiencia de este proceso en suelos menos fértiles. Estos resultados subrayan la importancia de considerar las características del suelo al diseñar estrategias de manejo que involucren a *Caesalpinia spinosa* como especie clave en la fijación de nitrógeno.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alemán Daza, F. (2009). La tara (*Caesalpinia spinosa* (Mol.) Kuntze), especie prodigiosa para los sistemas agroforestales en valles interandinos. *Acta Nova*, 4(2-3), 1-10. Recuperado de SciELO.
- Bazán Alcántara, G. L., et al. (2022). Importancia económica y ecológica de la tara en los Andes. *Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego*. Recuperado de SERFOR.



- Chen, J., Shen, W., Xu, H., Li, Y., & Luo, T. (2019). The composition of nitrogen-fixing microorganisms correlates with soil nitrogen content during reforestation: A comparison between legume and non-legume plantations. *Frontiers in Microbiology*, 10, 508. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00508>
- Delgado Rodríguez, A. C., et al. (2022). Producción y usos de la tara en el Perú. *Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre*. Disponible en SERFOR.
- Enciso Hoyos, M. A., et al. (2022). Distribución y potencial de la tara en sistemas agroforestales. *Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre*. Disponible en SERFOR
- Franche, C., Lindström, K., & Elmerich, C. (2008). Nitrogen-fixing bacteria associated with leguminous and non-leguminous plants. *Plant and Soil*, 321(1), 35–59. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9833-8>
- Guo, M., Song, W., & Buhain, J. (2015). Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 712–725. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.013>
- Lykogianni, M., Bempelou, E., Karamaouna, F., & Aliferis, K. A. (2021). Do pesticides promote or hinder sustainability in agriculture? The challenge of sustainable use of pesticides in modern agriculture. *Science of The Total Environment*, 795, 148625. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148625>
- Mancero, L. (2008). *La Tara (Caesalpinia spinosa) en Perú, Bolivia y Ecuador: Análisis de la Cadena Productiva en la Región*. Programa Regional ECOBONA–INTERCOOPERATION. Recuperado de ECOBONA.
- Mimmo, T., Del Buono, D., Terzano, R., Tomasi, N., Vigani, G., Crecchio, C., Pinton, R., Zocchi, G., & Cesco, S. (2014). Rhizospheric organic compounds in the soil–microorganism–plant system: Their role in iron availability. *European Journal of Soil Science*, 65(5), 629–642. <https://doi.org/10.1111/ejss.12158>
- Pitman, W. D., & Vendramini, J. M. B. (2020). Legumes for tropical and subtropical areas. In *Forages* (pp. 277–296). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119436669.ch15>



- Prasad, R., Kumar, M., & Varma, A. (2015). Role of PGPR in soil fertility and plant health. In *Soil Biology* (pp. 247–260). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-13401-7_12
- Saha, B., Saha, S., Das, A., Bhattacharyya, P. K., Basak, N., Sinha, A. K., & Poddar, P. (2017). Biological nitrogen fixation for sustainable agriculture. In *Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture* (Vol. 2, pp. 81–128). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5343-6_4
- SERFOR. (2022). Avances en la investigación sobre la tara (*Tara spinosa* (Molina) Britton & Rose) en el Perú. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Disponible en SERFOR.
- SERFOR. (2022). *Avances en la investigación sobre la tara (Tara spinosa)*. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. Disponible en SERFOR.
- Wikipedia. (n.d.). *Caesalpinia spinosa*. Recuperado de Wikipedia.

