RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber. ISSN: 2675-9128. São Paulo - SP.
Ano VII, v.1 2026 | submissão: 24/07/2026 | aceito: 27/07/2026 | publicação: 30/07/2026

DIVERSIDAD MORFOFISIOLÓGICA DE RIZOBIOS EN SUELOS DE CUANDO CUBANGO Y SU CORRELACIÓN CON PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

DIVERSIDADE MORFOFISIOLÓGICA DE RIZÓBIOS EM SOLOS DE CUANDO CUBANGO E SUA CORRELAÇÃO COM PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

MORPHOPHYSIOLOGICAL DIVERSITY OF RHIZOBIA IN SOILS OF CUANDO CUBANGO AND ITS CORRELATION WITH PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS

Analtina Samba Muatari Cuiva (Ing.ª) – Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad José Eduardo dos Santos, analtinacuiva9@gmail.com – Ingeniera Agrónoma. Dirección: Huambo, Huambo, Angola.
Orlis Bárbara Alfonso L. de Mola (PhD) – Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad José Eduardo dos Santos, orlis.mola@ujes.ao – Ingeniera Agrónoma y Máster en Microbiología del Suelo. Dirección: Huambo, Angola.
José Gomes Ngando (MSc) – Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad José Eduardo dos Santos (UJES), josengandu@hotmail.com – Dirección: Huambo, Angola.
Dália Mateus de Jesus (Ing.ª) – Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad José Eduardo dos Santos (UJES), daltiaf212@gmail.com – Dirección: Huambo, Angola.
Ginhas Alexandre Manuel (PhD) – Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad José Eduardo dos Santos (UJES), ginhas.manuel@ujes.ao – Dirección: Huambo, Angola.

Resumen: La diversidad y la densidad de rizobios en el suelo influyen directamente en la fertilidad y la productividad agrícola y son determinantes para la sostenibilidad de los sistemas agroecológicos. Este estudio, realizado entre septiembre de 2024 y mayo de 2025, tuvo como objetivo evaluar la correlación entre los parámetros fisicoquímicos del suelo (pH, humedad y conductividad eléctrica) y la densidad y diversidad morfofisiológica de rizobios en suelos de la provincia de Cuando Cubango. Se recolectaron muestras de suelo en los municipios de Cuchi, Menongue y Cuito Cuanavale, y se sometieron al aislamiento de rizobios en medio YMA. Las colonias obtenidas se caracterizaron morfológicamente y se evaluaron en cuanto a la alteración del pH con azul de bromotimol y tinción de Gram. También se determinaron los parámetros fisicoquímicos de los suelos. Se aislaron 36 colonias: 18 de Cuchi, 9 de Menongue y 9 de Cuito Cuanavale. Con base en el análisis de similitud morfológica, el 33,3% de los aislados se asemejó al género Rhizobium, el 33,3% a Bradyrhizobium, el 5,5% a Mesorhizobium, el 8,3% a Azorhizobium y el 8,3% a Paenibacillus polymyxa. Hubo una fuerte correlación entre la humedad y la conductividad eléctrica ($r = 0,85$; $p < 0,001$), pero la densidad microbiana presentó correlaciones débiles con el pH, la humedad y la conductividad. Se observó una correlación moderada y negativa entre el número de colonias y el pH ($r = –0,44$; $p = 0,01$). Los resultados sugieren que factores como la presencia de plantas hospederas, la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes pueden influir más significativamente en la presencia de rizobios en el suelo de la región estudiada.

Palabras clave: Cuando Cubango; Diversidad Morfofisiológica; Parámetros Fisicoquímicos; Rizobios; UFC.

Resumo: A diversidade e a densidade de rizóbios no solo influenciam diretamente a fertilidade e a produtividade agrícola, sendo determinantes para a sustentabilidade dos sistemas agroecológicos. Este estudo, realizado entre setembro de 2024 á maio de 2025, teve como objetivo avaliar a correlação entre parâmetros físico-químicos do solo (pH, humidade e condutividade elétrica) e a densidade e diversidade morfofisiológica de rizóbios em solos da província do Cuando Cubango. Amostras de solo foram coletadas nos municípios de Cuchi, Menongue e Cuito Cuanavale, e submetidas ao isolamento de rizóbios em meio YMA. As

colônias obtidas foram caracterizadas morfologicamente e testadas quanto à alteração de pH com azul de bromotimol e coloração de Gram. Também foram determinados os parâmetros físico-químicos dos solos. Foram isoladas 36 colônias: 18 de Cuchi, 9 de Menongue e 9 de Cuito Cuanavale. Com base na análise de similaridade morfológica, 33,3% dos isolados assemelharam-se ao gênero Rhizobium, 33,3% a Bradyrhizobium, 5,5% a Mesorhizobium, 8,3% a Azorhizobium e 8,3% a Paenibacillus polymyxa. Houve correlação forte entre humidade e condutividade elétrica ($r = 0,85$; $p < 0,001$), mas a densidade microbiana apresentou correlações fracas com pH, humidade e condutividade. Observou-se correlação moderada e negativa entre número de colônias e pH ($r = –0,44$; $p = 0,01$). Os resultados sugerem que factores como presença de plantas hospedeiras, matéria orgânica e disponibilidade de nutrientes podem influenciar mais significativamente a presença de rizóbios no solo da região estudada.

Palavras-chave: Cuando Cubango; Diversidade Morfofisiológica; Parâmetros Físico-Químicos; Rizóbios; UFC.

Abstract: The diversity and density of rhizobia in the soil directly influence fertility and agricultural productivity, being decisive for the sustainability of agroecological systems. This study, conducted between September 2024 and May 2025, aimed to assess the correlation between physicochemical parameters of the soil (pH, moisture, and electrical conductivity) and the density and morphophysiological diversity of rhizobia in soils from the Cuando Cubango province. Soil samples were collected in the municipalities of Cuchi, Menongue, and Cuito Cuanavale, and subjected to rhizobia isolation in YMA medium. The obtained colonies were morphologically characterized and tested for pH alteration with bromothymol blue and Gram staining. The physicochemical parameters of the soils were also determined. A total of 36 colonies were isolated: 18 from Cuchi, 9 from Menongue, and 9 from Cuito Cuanavale. Based on the analysis of morphological similarity, 33.3% of the isolates resembled the genus Rhizobium, 33.3% Bradyrhizobium, 5.5% Mesorhizobium, 8.3% Azorhizobium, and 8.3% Paenibacillus polymyxa. There was a strong correlation between humidity and electrical conductivity ($r = 0.85$; $p < 0.001$), but microbial density showed weak correlations with pH, humidity, and conductivity. A moderate and negative correlation was observed between the number of colonies and pH ($r = -0.44$; $p = 0.01$). The results suggest that factors such as the presence of host plants, organic matter, and nutrient availability may significantly influence the presence of rhizobia in the soil of the studied region.

Keywords: CFU; Cuando Cubango; Morphophysiological Diversity; Physicochemical Parameters; Rhizobia.

1. Introducción

La fijación biológica de nitrógeno (FBN) desempeña un papel crucial en la agricultura sostenible, especialmente en las regiones tropicales. Los rizobios, bacterias simbióticas de las leguminosas, promueven esta fijación y contribuyen a la fertilidad del suelo. Este estudio investiga la diversidad de estos microorganismos y su relación con variables edáficas en la provincia de Cuando Cubango, una región todavía poco estudiada desde el punto de vista microbiológico. La creciente demanda de alternativas sostenibles en la agricultura ha intensificado los estudios sobre microorganismos beneficiosos del suelo, especialmente los

rizobios, debido a su capacidad de fijación biológica de nitrógeno (FBN) en simbiosis con leguminosas. La FBN se considera uno de los procesos ecológicos más relevantes de los ecosistemas terrestres y está mediada principalmente por bacterias del género Rhizobium y otras bacterias simbióticas de leguminosas, denominadas colectivamente rizobios. Estos microorganismos son fundamentales para la sostenibilidad de los suelos al convertir el nitrógeno atmosférico (N_2) en formas asimilables por las plantas, lo que contribuye directamente a la productividad agrícola, sobre todo en regiones tropicales y subtropicales (Hungria et al., 2022).

Además de promover la nutrición vegetal, los rizobios participan activamente en el ciclo de nutrientes, favorecen el aumento de la fertilidad del suelo y reducen la dependencia de fertilizantes nitrogenados industriales, promoviendo una agricultura más eficiente y menos contaminante (Bhattacharjee et al., 2022). La diversidad y la actividad de estos microorganismos están influidas por factores edáficos como el pH, la textura, la materia orgánica, la humedad y la conductividad eléctrica, así como por las prácticas de manejo. Por ello, la caracterización morfofisiológica de los rizobios asociada al análisis de los parámetros fisicoquímicos del suelo es esencial para comprender las interacciones suelo–microorganismo, identificar cepas eficientes y desarrollar estrategias para su aplicación agronómica (Zilli et al., 2023).

En este contexto destaca la provincia de Cuando Cubango, situada en el sudeste de Angola, que presenta una gran diversidad ecológica, con suelos de composiciones variadas y clima tropical seco. A pesar de su importancia ambiental, esta región ha sido poco estudiada desde la perspectiva microbiológica, particularmente en relación con la diversidad de rizobios nativos. La investigación de estos microorganismos en ambientes con poca intervención antrópica puede revelar cepas adaptadas a las condiciones edafoclimáticas locales, con potencial para el desarrollo de biofertilizantes regionales. De esta forma, el objetivo general de este trabajo es evaluar la correlación entre los parámetros fisicoquímicos del suelo (pH, humedad y conductividad eléctrica) y la densidad y diversidad morfofisiológica de rizobios en suelos de la provincia de Cuando Cubango.

Campo de investigación: Microbiología del suelo

Justificación del estudio

El estudio de los microorganismos diazotróficos es muy importante, principalmente en suelos agrícolas o con potencial para mejorar la fijación biológica de nitrógeno, lo que

contribuye al aumento de la fertilidad del suelo y a la sostenibilidad agrícola. Comprender cómo las características fisicoquímicas del suelo (pH, humedad y conductividad eléctrica) influyen en la diversidad y distribución de estos microorganismos es crucial para desarrollar estrategias de manejo adaptadas a las condiciones locales. En las provincias de Cuando y Cubango, donde las prácticas agrícolas están limitadas por la baja fertilidad del suelo, el conocimiento sobre los rizobios también puede contribuir a seleccionar leguminosas simbióticas más eficientes y adaptadas a estas condiciones, promoviendo la recuperación y productividad del suelo. Por otra parte, este estudio proporciona una base inicial para investigaciones futuras, incluidos análisis moleculares y estrategias de biotecnología agrícola orientadas a la producción de biofertilizantes.

Objetivos

Objetivo General

- Evaluar la correlación de los parámetros fisicoquímicos del suelo (pH, humedad y conductividad eléctrica) con la densidad y diversidad morfofisiológica de rizobios en suelos de tres municipios de la provincia de Cuando Cubango.

Objetivos Específicos

1. Aislar bacterias diazotróficas del tipo rizobio a partir de muestras de suelos de Cuando Cubango.
2. Identificar los posibles géneros de rizobios encontrados en las muestras de suelo con base en las características obtenidas.
3. Correlacionar los parámetros fisicoquímicos del suelo (pH, conductividad eléctrica y humedad) con la densidad microbiana (UFC) en las diferentes muestras de suelo.

2. Marco Teórico

2.1 Fijación biológica de nitrógeno

La fijación biológica de nitrógeno (FBN) es uno de los procesos ecológicos más importantes de los ecosistemas terrestres y está mediada principalmente por bacterias del género Rhizobium y otras bacterias simbióticas de leguminosas, denominadas colectivamente rizobios.

Los rizobios son bacterias del suelo capaces de establecer simbiosis con plantas leguminosas, formando nódulos radiculares en los que se produce la fijación biológica del

nitrógeno atmosférico en formas asimilables por las plantas. Este proceso es esencial para el ciclo del nitrógeno en ecosistemas naturales y agrícolas, especialmente en suelos tropicales caracterizados por la baja disponibilidad de este nutriente (Hungria & Vargas, 2000).

Estos microorganismos desempeñan un papel esencial en la sostenibilidad de los suelos al convertir el nitrógeno atmosférico (N_2) en formas asimilables por las plantas, contribuyendo significativamente a la productividad agrícola, especialmente en regiones tropicales y subtropicales (Hungria et al., 2022).

La importancia agronómica de la FBN es evidente en los sistemas agrícolas tropicales, donde los suelos son naturalmente pobres en nitrógeno. La adopción de cultivos de leguminosas inoculados con cepas eficientes de rizobios puede proporcionar aumentos de productividad y mejorar la calidad del suelo, incrementando el contenido de materia orgánica y favoreciendo la actividad microbiana beneficiosa (Moreira y Siqueira, 2021). Así, la FBN actúa como aliada en el manejo sostenible de los suelos.

La contribución de la FBN procedente de la asociación entre plantas y bacterias diazotróficas es el proceso más significativo de adición de nitrógeno al ecosistema terrestre, y los microorganismos fijadores se utilizan en la agricultura, especialmente en la soja. La inoculación de plantas con bacterias fijadoras de nitrógeno tiene potencial para convertirse en una técnica aplicable a sistemas vegetales en condiciones de déficit hídrico, baja fertilidad o ambas condiciones.

Esto puede ser posible porque, además de la FBN, las bacterias diazotróficas pueden aportar otros beneficios. Estos microorganismos pueden actuar como rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV), destacándose la producción de hormonas vegetales como auxinas, giberelinas y citocininas, y también pueden intervenir en la solubilización de fosfatos (Bazzicalupo y Okon, 2000).

2.2. Parámetros fisicoquímicos del suelo

Los parámetros fisicoquímicos del suelo, como el pH, la textura, el contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y la disponibilidad de nutrientes, ejercen una fuerte influencia sobre la supervivencia, distribución y diversidad de los rizobios. El pH del suelo, en particular, se considera uno de los factores más determinantes, ya que afecta directamente al crecimiento bacteriano y a la eficiencia de la nodulación (Fageria & Baligar, 2008).

2.3. Aplicaciones agronómicas de la diversidad de rizobios

La comprensión de la diversidad morfofisiológica de los rizobios en relación con las propiedades fisicoquímicas de los suelos es esencial para desarrollar inoculantes bacterianos adaptados a las condiciones locales, que pueden aumentar la eficiencia de la fijación de nitrógeno en leguminosas cultivadas.

Las cepas adaptadas a las condiciones locales tienden a presentar una mayor eficiencia simbiótica, contribuyendo al aumento de la productividad de las leguminosas y a la sostenibilidad de los sistemas agrícolas (Hungria et al., 2013).

Además del aspecto agronómico, la conservación de la diversidad rizobiana tiene relevancia ambiental, puesto que estos microorganismos participan activamente en el mantenimiento de la fertilidad del suelo y en la reducción del impacto ambiental causado por el uso excesivo de fertilizantes químicos. Así, los estudios en suelos de Cuando y Cubango son estratégicos para desarrollar prácticas agrícolas sostenibles adaptadas a la realidad local (Peoples et al., 2009).

3. Materiales y Métodos

La investigación se realizó en el Departamento de Producción y Protección de Plantas de la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA) de la Universidad José Eduardo dos Santos (UJES), y comprendió dos fases principales: una etapa de campo dedicada a la recolección de muestras de suelo y una etapa de laboratorio orientada al procesamiento de las muestras y a la realización de los análisis.

Las muestras de suelo se recolectaron en los municipios de Menongue, Cuchi y Cuito Cuanavale, anteriormente pertenecientes a Cuando Cubango y, tras la reestructuración territorial de enero de 2025, redistribuidos entre las nuevas provincias de Cuando y Cubango. La selección del área siguió los objetivos del Proyecto SASSCAL 2.0, que prioriza el estudio de Ferralsoles y Arenosoles, ampliamente representados en la región. La variabilidad edáfica local, asociada a diferentes condiciones ambientales, favorece el análisis integrado de la microbiota del suelo y su correlación con atributos físicos y químicos.

Los puntos de muestreo se georreferenciaron con ayuda de GPS, utilizando el sistema de referencia WGS 84 (EPSG:4326). Las coordenadas obtenidas permitieron elaborar el mapa de ubicación del área de estudio. Las condiciones edafoclimáticas de la región, de clima tropical seco a subhúmedo, con temperaturas medias entre 20 °C y 25 °C y precipitaciones anuales de

600 mm a 1.200 mm, influyen directamente en la composición de la microbiota. Los suelos de la región, predominantemente Latosoles y Arenas Cuarzosas, se caracterizan por su baja fertilidad natural, alta acidez y textura arenosa (FAO, 2004; Instituto Geográfico e Cadastral de Angola, 2013).

La recolección de las muestras siguió el protocolo de Silva et al. (2020), retirándose suelo de la capa de 0–20 cm en áreas con antecedentes de cultivo de leguminosas. El suelo se acondicionó en bolsas plásticas estériles, se almacenó en cajas térmicas con hielo y se mantuvo a 4–8 °C hasta su llegada al laboratorio, garantizando así la viabilidad microbiana.

En el Laboratorio de Microbiología del Suelo de la FCA/UJES, las muestras se sometieron a análisis fisicoquímicos y microbiológicos. Los análisis fisicoquímicos siguieron los métodos descritos por Teixeira et al. (2017) y Embrapa (2017), incluyendo pH (suspensión 1:2 en agua destilada, medido con un medidor digital de pH), conductividad eléctrica (la misma suspensión, medida con un conductímetro digital) y contenido de humedad (método gravimétrico, según Gee y Bauder, 1986).

El contenido de humedad gravimétrica (U) se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$U\% = ((Ph - Ps) / Ps) \times 100$$

Donde:

U% = Porcentaje de humedad del suelo;

Ph = Peso húmedo de la muestra de suelo (g);

Ps = Peso seco de la muestra de suelo (g).



Figura 1: Equipos utilizados para obtener los resultados de los parámetros fisicoquímicos: medidor de pH, estufa y conductímetro.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Los análisis microbiológicos incluyeron el aislamiento selectivo de rizobios en medio YMA con rojo Congo, según Vincent (1970). Las muestras se sometieron a diluciones seriadas (10^{-1} a 10^{-8}) en solución salina estéril (NaCl al 0,85%), y se sembraron alícuotas de 0,1 mL por extensión en placas de Petri, incubadas a 28 ± 2 °C durante 3 a 5 días. Las colonias con morfología típica se seleccionaron y resembraron para obtener cultivos puros.

La cuantificación de las bacterias se expresó en Unidades Formadoras de Colonias por gramo de suelo seco (UFC.g^{-1}), considerando placas con 30 a 300 colonias. Los valores se transformaron a $\log_{10}$ y se utilizaron en los análisis estadísticos. La caracterización morfofisiológica siguió el protocolo de Embrapa (2011), con evaluación de la forma, el color, la elevación, la consistencia, el brillo y el metabolismo ácido/alcalino en medio con azul de bromotimol. La tinción de Gram se utilizó como criterio preliminar de identificación, considerando que los rizobios son Gram negativos.



Figura 2: Aislamiento selectivo de rizobios a partir del suelo en el laboratorio en condiciones asépticas.
Fuente: Elaboración propia (2024).

La asignación preliminar del género bacteriano se realizó de acuerdo con Brenner et al. (2005), integrando la morfología, la fisiología y la tinción de Gram. Los datos obtenidos se organizaron en formularios individuales de evaluación y se sometieron a análisis estadístico. Se calculó la frecuencia relativa de aparición de los géneros y se aplicó la prueba de correlación de Pearson (nivel de significación del 5%) para verificar la existencia de relaciones entre los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica y humedad) y la densidad de rizobios (UFC.g^{-1}, $\log_{10}$), utilizando el programa IBM SPSS Statistics versión 25.0.

4. Resultados y Discusión

Se aislaron 36 colonias viables de rizobios a partir de las muestras de suelo recolectadas en los tres municipios estudiados: 18 aislados en Cuchi, 9 en Menongue y 9 en Cuito Cuanavale. El predominio de aislados en Cuchi puede estar relacionado con condiciones edáficas más favorables para la supervivencia y proliferación bacteriana, como un pH próximo a la neutralidad y una menor salinidad, que favorecen la actividad microbiana (Moreira & Siqueira, 2006; Alcobia, 2024).

La caracterización morfofisiológica reveló una amplia diversidad fenotípica entre los aislados. Las colonias presentaron diferentes formas, elevaciones, opacidades, producción de mucosidad y tiempos de crecimiento, con variaciones consistentes entre los municipios. En Cuchi se observaron colonias predominantemente translúcidas y mucoides, de crecimiento rápido, mientras que en Menongue y Cuito Cuanavale destacaron colonias opacas, lentas y con menor producción de mucosidad. Estas diferencias pueden estar asociadas a la diversidad de microambientes del suelo y a la adaptación local de las poblaciones bacterianas (Zilli et al., 2023; Silva, 2023).

La tinción de Gram indicó que el 92% de los aislados eran Gram negativos, como se esperaba para los rizobios típicos, mientras que el 8% presentó tinción Gram positiva, destacándose Paenibacillus polymyxa, reconocida por su potencial como bacteria promotora del crecimiento vegetal (BPCV), aunque no forme nódulos simbióticos (Cunha, 2023; Bhattacharjee, 2022).

La evaluación metabólica en medio YMA con azul de bromotimol reveló que el 58,2% de los aislados acidificó el medio, cambiando la coloración al amarillo característico asociado con la producción de ácidos orgánicos por cepas de Rhizobium y Mesorhizobium (Cardoso, 2022). Los demás aislados mantuvieron la coloración azul, indicando una reacción alcalina asociada a Bradyrhizobium y Azorhizobium, que producen compuestos nitrogenados básicos (Oliveira, 2021).

La asignación de géneros basada en características morfológicas, fisiológicas y en la tinción de Gram permitió identificar que el 28% de los aislados pertenece al género Rhizobium, el 61% a Bradyrhizobium y el 11% a P. polymyxa. Los demás no se clasificaron con precisión, lo que sugiere la presencia de cepas no descritas o con perfiles atípicos (Silva, 2023; Brenner, 2005). El predominio de Bradyrhizobium en Cuito Cuanavale confirma su adaptación a suelos más ácidos, como informaron Oliveira (2021) y Santos (2023).

Los recuentos de unidades formadoras de colonias (UFC.g^{-1}) variaron entre 3,778 y 8,623 ($\log_{10}$), lo que indica una alta densidad microbiana en la Figura 1. Los valores más altos se observaron en Cuchi, coherentes con su menor acidez y baja conductividad eléctrica. Estos

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O
Saber. ISSN: 2675-9128. São Paulo - SP.
Ano VII, v.1 2026 | submissão: 24/07/2026 | aceito: 27/07/2026 | publicação: 30/07/2026

resultados reflejan suelos con un potencial biológico favorable para la actividad rizobiana (Moreira & Siqueira, 2006; Silva, M.C. et al., 2020).

Los parámetros fisicoquímicos de los suelos revelaron valores de pH entre 5,77 y 6,8, con valores más próximos a la neutralidad en Cuchi. La conductividad eléctrica (CE) fue mayor en Cuito Cuanavale (1,114 dS/m), indicando una mayor salinidad, mientras que en Menongue y Cuchi los valores permanecieron por debajo de 0,1 dS/m. La humedad varió ampliamente entre los municipios: Cuito presentó valores extremos (hasta el 66,6%), mientras que Cuchi y Menongue registraron niveles entre el 2% y el 8%. La elevada acidez y salinidad de Cuito pueden explicar la menor densidad de rizobios en ese municipio (Cunha, 2023; Santos, 2023).

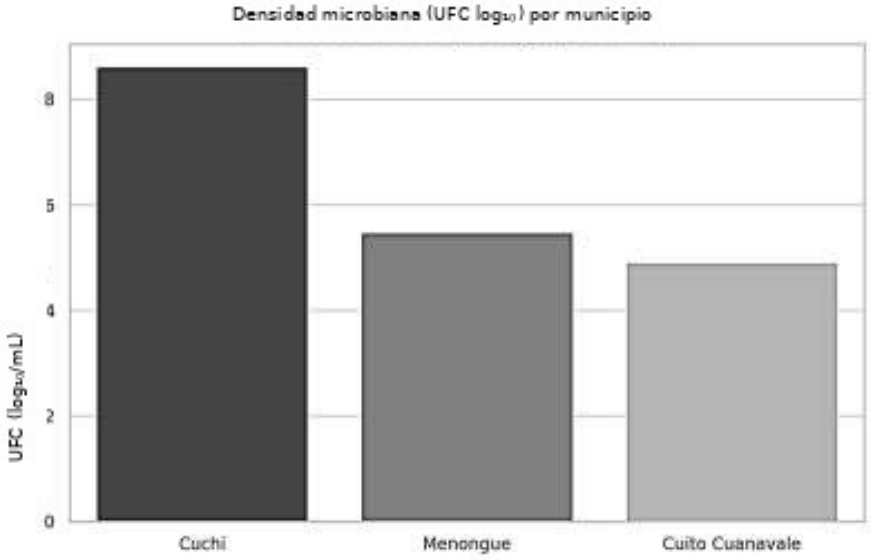

Figura 3: Densidad microbiana (UFC $\log_{10}$) por municipio.
Fuente: Elaboración propia (2024).

La Tabla 1 presenta los coeficientes de correlación de Pearson entre los parámetros fisicoquímicos del suelo y la densidad de rizobios. El análisis reveló una correlación negativa moderada entre el pH y el número de colonias (r = –0,44; p = 0,01), como se ilustra en la Figura 2. Este resultado concuerda con estudios que indican una mayor actividad rizobiana en suelos ligeramente ácidos (Oliveira et al., 2021).

Tabla 1: Matriz de correlación de Pearson entre variables edáficas y densidad de rizobios (UFC/$\log_{10}$UFC).

Variables	N.º de colonias	Log_{10}(UFC/mL)	pH	Conductividad	Humedad
N.º de colonias	1,00	0,06	0,01	0,94	0,68
Log_{10}(UFC/mL)	–0,32	1,00	0,72	0,59	0,52
pH	–0,44	–0,06	1,00	0,05	0,01
Conductividad	0,01	0,09	–0,33	1,00	$8{,}2\times10^{-11}$
Humedad	0,07	0,11	–0,44	0,85	1,00

Fuente: Elaboración propia (2024).

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O
Saber. ISSN: 2675-9128. São Paulo - SP.
Ano VII, v.1 2026 | submissão: 24/07/2026 | aceito: 27/07/2026 | publicação: 30/07/2026

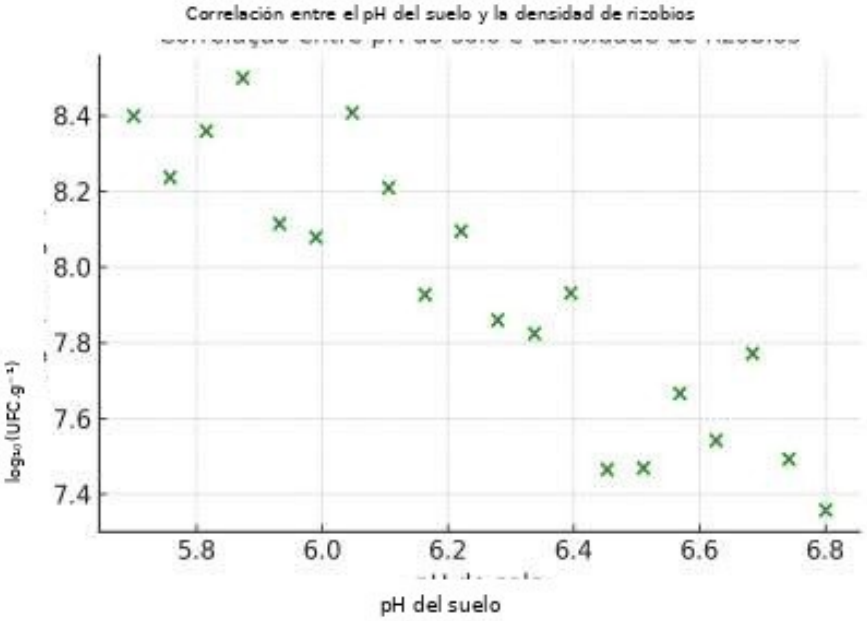

Figura 4: Correlación entre el pH del suelo y la densidad de rizobios, expresada en $\log_{10}(UFC.g^{-1})$. Se observa una tendencia negativa entre las variables, con r = –0,44 (p = 0,01), lo que indica que los suelos ligeramente más ácidos favorecen la presencia de rizobios.
Fuente: Elaboración propia (2024).

Las correlaciones entre las UFC y la CE o la humedad fueron débiles, lo que sugiere que estos factores por sí solos no explican la variabilidad de la densidad microbiana. Este resultado refuerza la idea de que la densidad rizobiana está influida por una combinación de factores, que incluyen no solo los parámetros fisicoquímicos del suelo, sino también aspectos bióticos, como la presencia de plantas hospederas, la calidad de la materia orgánica y las interacciones con otras poblaciones microbianas (Silva, 2022; Alcobia, 2024). Además, las variaciones espaciales y temporales del microambiente del suelo pueden afectar significativamente la distribución y actividad de estos microorganismos, lo que dificulta atribuir una causalidad directa a un único factor edáfico.

Por otro lado, se observó una fuerte correlación positiva entre la CE y la humedad (r = 0,85; p < 0,001), evidenciando la influencia conjunta de estos parámetros sobre el microambiente edáfico. Estos resultados indican que la conductividad eléctrica del suelo, frecuentemente asociada a la concentración de sales solubles, está estrechamente vinculada a la disponibilidad de agua en el ambiente edáfico. Los estudios en suelos tropicales mostraron que la CE aparente (CEa) tiende a aumentar junto con el contenido de humedad debido a la movilidad de los iones en presencia de agua (Costa et al., 2014). Este mecanismo sugiere que los suelos más húmedos presentan una mayor solubilización de nutrientes y sales, creando

condiciones favorables para la actividad microbiana en general, aunque esto no se traduzca necesariamente en un aumento de la densidad rizobiana. Por lo tanto, la fuerte correlación observada entre CE y humedad refuerza la importancia de considerar la dinámica conjunta de estos factores al evaluar la fertilidad microbiológica del suelo y su potencial para mantener comunidades rizobianas funcionales.

5. Consideraciones Finales

Los resultados de este estudio evidenciaron una diversidad significativa de rizobios en los suelos de la provincia de Cuando Cubango, con predominio de los géneros Rhizobium y Bradyrhizobium, además de la presencia de cepas de Paenibacillus polymyxa. La identificación de aislados no atribuidos a géneros conocidos indica la posible presencia de cepas nativas todavía poco exploradas y con potencial biotecnológico.

El análisis estadístico reveló que los parámetros fisicoquímicos evaluados (pH, conductividad eléctrica y humedad) presentaron una correlación débil o moderada con la densidad rizobiana, lo que sugiere que estos factores, por sí solos, no determinan la distribución y abundancia de estas bacterias en el suelo. La correlación negativa entre el pH y las UFC refuerza la sensibilidad de los rizobios a las variaciones de la acidez del suelo, aunque no de forma exclusiva.

Por lo tanto, se concluye que los factores bióticos, como la presencia de plantas hospederas, la composición de la materia orgánica y las interacciones microbianas locales, desempeñan un papel más relevante en la estructuración de las comunidades rizobianas. Estos hallazgos refuerzan la importancia de considerar la ecología del suelo de forma integrada, especialmente al seleccionar cepas prometedoras para programas de inoculación y para su uso en sistemas agrícolas sostenibles adaptados a las condiciones locales de Angola.

Agradecimientos

Este estudio contó con el apoyo financiero del Proyecto ANGSOIL – SASSCAL 2, que hizo posibles las actividades de campo y los análisis de laboratorio. Los autores agradecen asimismo la colaboración de los equipos técnicos que participaron en las diferentes fases de la investigación.

Referencias

ALCOBIA, V. F. Relação da qualidade química e biológica do solo com a produtividade do milho: sementeira direta vs. mobilização convencional. 2024. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2024. Disponível em: http://hdl.handle.net/10400.5/98643. Acesso em: 20 abr. 2024.

ANGOLA PRESS (ANGOP). Notícias sobre desenvolvimento socioeconômico no Cuando Cubango. Luanda, 2021–2022. Disponível em: https://www.angop.ao. Acesso em: 20 abr. 2024.

BAZZICALUPO, M.; OKON, Y. Associative and endophytic symbiosis. In: PEDROSA, F. O. et al. (ed.). Nitrogen fixation: from molecules to crop productivity. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000.

BHATTACHARJEE, R. B. Biological nitrogen fixation and its relevance to sustainable agriculture. In: Environmental Sustainability. [S.l.]: Springer, 2022. p. 85–96. DOI: https://doi.org/10.1007/s42398-021-00197-9.

BRENNER, D. J.; KRIEG, N. R.; STALEY, J. T. (ed.). Bergey's manual of systematic bacteriology. 2. ed. New York: Springer, 2005. v. 2: The Proteobacteria, Part C: The Alpha-, Beta-, Delta-, and Epsilonproteobacteria. DOI: https://doi.org/10.1007/0-387-29298-5.

COSTA, F. G.; SOUZA, E. R.; SILVA, J. B. da. Relação entre condutividade elétrica aparente e umidade do solo em diferentes sistemas de cultivo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 38, n. 5, p. 1485–1494, 2014. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000500023.

CUNHA, A. L. da. Efeitos de fatores edáficos na distribuição de rizóbios em solos tropicais. 2023. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2023.

CUNHA, F. F. Rizobactérias promotoras de crescimento vegetal em ambientes de estresse hídrico e salino: potencial e aplicações. Revista de Ciências Agrárias, p. 341–352, 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Protocolo de caracterização morfofisiológica de estirpes de rizóbios. Brasília, DF: Embrapa, 2011. Disponível em: https://www.embrapa.br. Acesso em: 20 abr. 2024.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Agro-ecological zoning guidelines. Rome: FAO, 2004.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Ameliorating soil acidity of tropical oxisols by liming for sustainable crop production. Advances in Agronomy, v. 99, p. 345–399, 2008. DOI: https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)00407-0.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (ed.). Methods of soil analysis. Part 1: Physical and mineralogical methods. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy; Soil Science Society of America, 1986. p. 383–411. DOI: https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c15.

HUNGRIA, M. et al. Biological nitrogen fixation: recent advances and future challenges in the context of climate change. Soil Biology and Biochemistry, 2022. Art. 104594.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T. Environmental factors affecting N_2 fixation in grain legumes in the tropics. Field Crops Research, v. 65, n. 2–3, p. 151–164, 2000. DOI: https://doi.org/10.1016/S0378-4290(99)00084-2.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CADASTRAL DE ANGOLA (IGCA). Atlas geográfico de Angola. Luanda: IGCA, 2013.

KLOEPPER, J. W.; SCHROTH, M. N. Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. In: PROCEEDINGS OF THE 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON PLANT PATHOGENIC BACTERIA. [S.l.], 1981.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. 3. ed. Lavras: UFLA, 2021.

OLIVEIRA, C. S. Functional and taxonomic diversity of rhizobial communities under different pH soil conditions. Applied Soil Ecology, v. 164, 2021.

PEOPLES, M. B. et al. The contributions of nitrogen-fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. Symbiosis, v. 48, p. 1–17, 2009. DOI: https://doi.org/10.1007/BF03179980.

SANTOS, M. R. dos. Caracterização de comunidades microbianas em ambientes com diferentes níveis de acidez. 2023. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

SILVA, A. P. Rizobactérias e sua influência na disponibilidade de nutrientes e sustentabilidade agrícola. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, 2022.

SILVA, J. F. Unidentified rhizobial strains in tropical soils: a reservoir of novel symbiotic genes. Archives of Microbiology, v. 205, 2023.

SILVA, M. C.; PEREIRA, M. G.; SOUZA, I. F. Coleta e preparo de amostras de solo para análise microbiológica. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2020. DOI: https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20190187.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

VINCENT, J. M. A manual for the practical study of root-nodule bacteria. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1970. (International Biological Programme Handbook, n. 15).

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 24/07/2026 | aceito: 27/07/2026 | publicação: 30/07/2026

ZILLI, J. E. Rhizobia-legume symbiosis under changing environmental conditions: a Brazilian perspective. Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 355, art. 108550, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108550.