

Factores bióticos y abióticos que inciden en la calidad de suelo para el desarrollo de *Guadua angustifolia Kunth* en cuatro zonas de las provincias de Gualivá y Bajo Magdalena del departamento de Cundinamarca (Colombia)

Biotic and abiotic factors that affect soil quality for the development of *Guadua angustifolia Kunth* in four areas of the provinces of Gualivá and Bajo Magdalena of the department of Cundinamarca (Colombia)

Karol Lizarazo-Hernández^{1*} 

Juan Camilo Álvarez-Mahecha¹ 

Marco Eduardo Pachón-Suárez² 

Cómo citar este artículo: Lizarazo-Hernández, K. de los A., Álvarez-Mahecha J. C., y Pachón-Suárez Marco. E. (2020). Factores bióticos y abióticos que inciden en la calidad de suelo para el desarrollo de *Guadua angustifolia Kunth* en cuatro zonas de las provincias de Gualivá y Bajo Magdalena del departamento de Cundinamarca (Colombia). *Revista Ciencias Agropecuarias*, 6(2), 9-20. DOI: 10.36436/24223484.265

¹ Grupo de Investigación en Agrobiología Tropical (ABT), Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá, Cundinamarca (Colombia).

² Grupo de Investigación BioGuavio-AgroUdeC, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá, Cundinamarca (Colombia).

*Autor de correspondencia:
klizarazo@ucundinamarca.edu.co

Resumen

En cuatro puntos de las provincias de Gualivá y Bajo Magdalena del departamento de Cundinamarca, Colombia, se analizaron los principales componentes fisicoquímicos y microbiológicos de los suelos asociados a rodales de guadua (*Guadua angustifolia Kunth*). Los resultados obtenidos mostraron diferencias entre los suelos evaluados y su efecto en las medidas de diámetro a pecho en los tallos maduros. A pesar de la variabilidad altitudinal y biogeográfica, se evidenció que los guaduales poseen un rango amplio de crecimiento que va desde suelos franco-arenosos hasta suelos con mayor contenido de arcillas. El sitio de muestreo que presentó culmos con un mejor comportamiento vegetal, se evidenció en la vereda La Carbonera en el municipio de Guaduas, debido tal vez a su asociación con las prácticas de fertilización efectuadas en los cultivos de importancia

Palabras clave: análisis físico-químico, culmo, DAP, rodal, textura.

Keywords: Culms, DAP, Guadua forests, Physicochemical analysis, Texture.

agronómica de la zona. Este estudio contribuye a la comprensión de las características edáficas requeridas por la especie para futuros programas de propagación en campo, conservación de recursos naturales, sistemas de cultivos asociados y autoconsumo dentro de la unidad productiva.

Abstract

Four points of the Gualivá and Bajo Magdalena provinces were analyzed in terms of the main soil physicochemical and microbiological components in guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) forests. The obtained results showed differences among analyzed soils and their effect on DAP (diameter to the chest) measurement on mature stems. Despite of the altitudinal and biogeographical variability, this study evidenced that Guadua forests have a wide growth range from Sandy loam to clayey soils. The sampling site that showed guadua culms with a better vegetative behavior was "La Carbonera" in the Guaduas municipality, due perhaps to the association with fertilization practices conducted in sites with local agronomic relevance crops. This study contributes with the understanding of the edaphological aspects surrounding this plant species needed to future field propagation programs, natural resources maintenance, associated crops systems design and self-consumption inside rural developmental processes.

Introducción

En la actualidad, los recursos naturales se contemplan como elementos de gran valor que cubren la demanda alimentaria, económica y turística de varias regiones alrededor del mundo, lo cual beneficia al ser humano tanto a escala individual como colectiva⁽¹⁾. En este sentido, las regiones del Gualivá y Bajo Magdalena, en el departamento de Cundinamarca, se caracterizan por su actividad agrícola, la cual tiene una representación del 30 % en cuanto a ingresos económicos se refiere. El beneficio generado de estas prácticas deriva de la diversidad climática propia de la región, que ha servido durante

mucho tiempo como base para el desarrollo de una gran diversidad vegetal puesta en riesgo año tras año, debido tanto al manejo inadecuado de los recursos, así como a las alteraciones dadas por el cambio climático⁽²⁾.

Una de las especies vegetales que se plantean como promisorias para muchos procesos locales es la guadua (*Guadua angustifolia* Kunth). Sus múltiples ventajas en lo medioambiental, industrial y agrícola se reflejan en un número importante de productos derivados previamente descritos⁽³⁾. La generación de programas de propagación de esta especie plantea como punto clave el estudio de las características ambientales que la rodean, a fin de conocer el área de distribución

permitida para su propagación, producción y posterior aprovechamiento. A pesar de la extensa distribución que posee la guadua en el territorio colombiano, se hace necesario adelantar estudios relacionados con los factores que determinan las condiciones del sitio en donde se desarrolla, lo que agronómicamente se denomina calidad de sitio^(4,5).

Debido a la complejidad estructural de la matriz suelo, los análisis fisicoquímicos van encaminados a establecer una correlación coherente de estos con la diversidad microbiana presente. Del monitoreo y la exploración de la diversidad edáfica se podrían establecer modelos de predicción de cambio en la calidad del suelo, ya que la composición biológica influye directamente con las diversas funciones, en el sentido que una variación de esta puede desencadenar cambios críticos tanto en la distribución de nutrientes como en las propiedades físicas de los suelos asociados⁽⁶⁾.

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación consistió en determinar los principales factores fisicoquímicos y microbiológicos presentes en los suelos asociados a rodales de guadua, en zonas rurales de la región de Gualivá y Bajo Magdalena en el departamento de Cundinamarca.

Materiales y métodos

Zona de estudio y muestreo de rodales

Con el objetivo de determinar la calidad de sitio de los suelos donde se desarrolla *G. Angustifolia*, se analizaron rodales (agrupación de tallos de guadua) en cuatro puntos con distintas características biogeográficas de las provincias de Gualivá (Quebradanegra) y Bajo Magdalena (Guaduas y Caparrapí) en Cundinamarca.

Bosque premontano: vereda Verbenal (1244 m s. n. m., temperatura media de 22 °C y 71 % HR) en el municipio de Quebradanegra QN01 (5°04'11.2N 74°30'08.8W), el cual se caracterizó por estar aislado de cualquier cultivo y cerca de un cuerpo de agua. Vereda La Carbonera GSP01 (5°08'17.84N, -74°56'77.61W) perteneciente al municipio de Guaduas (1200 m s. n. m. con una temperatura media de 22 °C y 86 % HR), asociado a cultivos de café, caña de azúcar, plátano y cítricos. *Bosque húmedo tropical*: inspección de El Dindal CDINDAL01 (5°19'12.9N 74°31'47.3W), el gradual presente en este lugar se encontró ubicado a orillas del río Negro (350 m s. n. m., temperatura media de 30 °C) y aislado de cualquier tipo de cultivo. *Bosque húmedo montano bajo*: vereda Novilleros del municipio de Caparrapí (1300 m s. n. m., temperatura media 18 °C), con predominio de cultivos de café, se nombró como CPN01 (5°17'50.0N 74°31'15.0W) (Figura 1).

Toma y análisis de muestras de suelo

En cada sitio de estudio se efectuaron muestreos de tipo zigzag, en donde se tomaron cinco submuestras de suelo y se homogenizaron completamente hasta obtener dos muestras representativas, las cuales fueron analizadas por el laboratorio de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Igac), de Bogotá, para los siguientes parámetros:

Análisis fisicoquímicos. Se determinó la textura, pH, % carbono orgánico (CO), elementos mayores y menores (mg/kg), capacidad de intercambio catiónico (CIC).

Análisis microbiológico. Se estimó la carga microbiana en función de la población de micorrizas (#/g) y bacterias del ciclo del nitrógeno (oxidantes de nitrilo BON, oxidantes de amonio BOA, amonificantes AMO, denitrificantes DEN



Figura 1. Sitios de muestreo en guaduales seleccionados de la región del Gualivá y alto magdalena. A) Vereda el Verbenal (municipio de Quebrada Negra) QN01, B) vereda la carbonera (municipio de Guaduas) GSP01 C) vereda el Dindal (municipio de Guaduas) CDINDAL01, D) Vereda novilleros del municipio de Caparrapí CPN01

y respiración ($\text{mg}/\text{CO}_2/\text{gr}/48 \text{ h}$) mediante la técnica de recuento del NMP (número más probable).

Medición de material vegetal

El método para poder determinar en campo la época de cosecha y los parámetros básicos de los culmos para la comercialización, y así obtener materiales más resistentes para la construcción, consistió en la medición de los tallos aéreos en la altura del diámetro a pecho - DAP (a una altura de superficie del suelo de 1.50 m, aproximadamente). Estos datos se tomaron en diez tallos vegetativos maduros. El comportamiento entre las medias del DAP del culmo se analizó mediante una prueba ANOVA con un nivel de significancia $P \leq 0.05$, para detectar diferencias estadísticamente significativas. Se utilizó el programa estadístico PAST 4 v4.02-2020.

Resultados

Análisis fisicoquímico de la calidad de sitio

La Figura 2 muestra la comparación de los datos arrojados en los diferentes municipios, lo que evidencia el cambio en los porcentajes de textura, en los cuales se ve el predominio de arenas y limos en comparación con las arcillas. De acuerdo con el análisis de textura, los guaduales presentes en los puntos GSP01, CDINDAL01 y CPN01 se desarrollan en suelos de tipo franco-arenoso donde predomina el porcentaje de arenas, a diferencia del punto QN01 donde se evidenció un suelo de tipo más arcilloso.

En cuanto al pH del suelo en las zonas GSP01 y CPN01, se presentó una tendencia ácida (5.1 fuertemente ácido y 5.9 medianamente ácido,

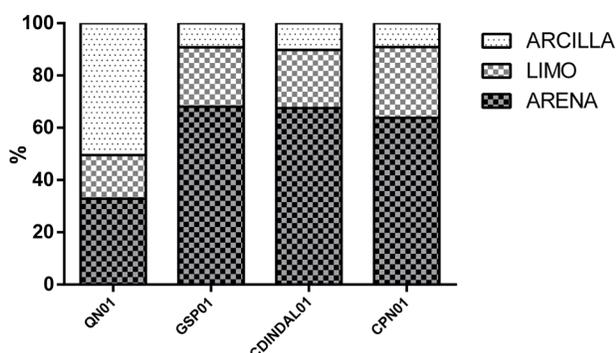


Figura 2. Análisis de textura del suelo. Cambios en la granulometría del suelo en los sitios de muestreo con base a su contenido de arenas, limos y arcillas

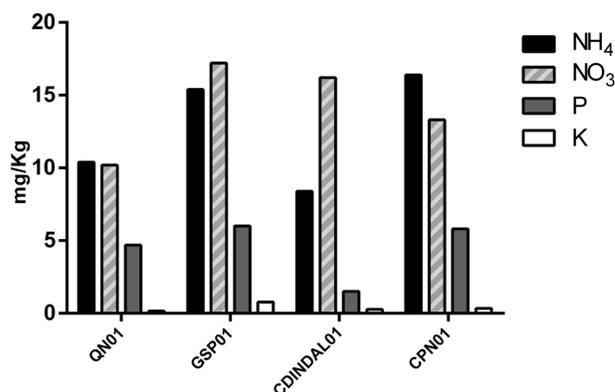


Figura 3. Distribución de elementos mayores en los suelos asociados a *G. angustifolia*. Reporte de la concentración en mg/Kg de amonio NH₄, nitrato NO₃, fosforo P y potasio K en los sitios analizados

respectivamente) en comparación con QN01 y CDINDAL01 que presentaron un suelo de tipo neutro (7.2 neutro y 7.5 ligeramente alcalino, respectivamente).

Análisis de elementos mayores y menores

Los elementos nutricionales son importantes para el normal funcionamiento de los guaduales. En los muestreos realizados se encuentran los elementos mayores (nitrógeno, fósforo y potasio). Como se muestra en la Figura 3, los valores más representativos de NH₄, NO₃, P y K fueron encontrados en los suelos de las localidades de Guaduas y Caparrapí. Sin embargo, según los rangos de apreciación para cada elemento reportados por el Igac, los valores de los niveles de fósforo son bajos para todas las localidades (< 15 mg/kg). En cuanto al potasio, El Dindal y Caparrapí se encuentran en el rango medio (0.2-0.4 mg/kg), y sobresale Guaduas con un rango alto (> 0.4 mg/kg).

Para los valores correspondientes a elementos menores, en términos generales los suelos presentaron comportamientos heterogéneos en las diferentes zonas. Los elementos analizados fueron boro (B), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), níquel (Ni) y zinc (Zn). Para el Mn y B las cantidades estuvieron por debajo de los contenidos óptimos en ese tipo de suelos Mn (15-30 mg/kg), B (0.6-1.0 mg/kg). En cuanto a elementos como el Fe, se registraron valores por encima del óptimo (20-30 mg/kg) en Quebradanegra, Guaduas y Caparrapí. Para el zinc (Zn), los valores óptimos en el suelo son 3-6 mg/kg; en las localidades de Quebradanegra y El Dindal, los análisis arrojan valores muy por encima del óptimo, contrario a Guaduas y Caparrapí que registran valores por debajo de 3 mg/kg. El cobre (Cu) dentro de su óptimo en el suelo tiene valores de 1.5-3.0 mg/kg, lo cual indica, según los resultados, que todos los puntos de muestreo, a excepción de Quebradanegra, registran valores por debajo del óptimo (Suplementarios: Tablas S1, S2 y S3).

Análisis microbiológico

La Figura 4 muestra los datos arrojados en referencia a bacterias asociadas al ciclo del nitrógeno en los suelos analizados. Se evidenció un comportamiento similar de BON y DEN a lo largo de los sitios analizados y una presencia alta de bacterias AMO. La diferencia más marcada se encontró en la distribución de BOA, la cual tuvo una representación considerable en GSP01 y CPN 01, y muy baja en QN01 y CDINDAL01.

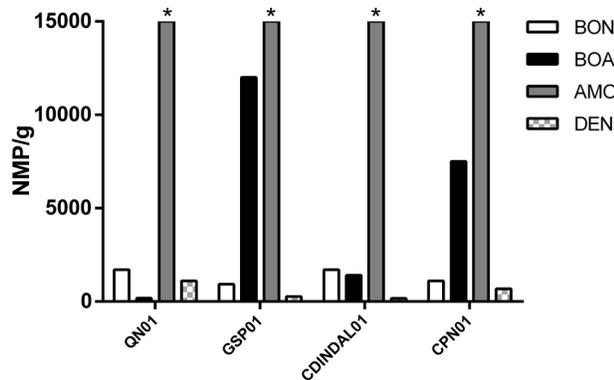


Figura 4. Perfil microbiológico de los suelos de guaduales en los sitios analizados en función de bacterias relacionadas con el ciclo del Nitrógeno. Bacterias oxidantes de Nitrito (BON), Bacterias oxidantes de Amonio (BOA), Bacterias Amonificantes (AMO), Bacterias Denitrificantes (DEN). *Valores alrededor de 180000 NMP/g

Parámetros morfológicos

En la medición del DAP del culmo, los diámetros con los valores más altos fueron de los rodales del municipio de Guaduas (GSP01), y sobresalen dichos datos con los demás sitios de muestreo con tallos vegetativos de 50.4 cm, como lo muestra la Figura 5. Entre los sitios CPN01, CDINDAL01 y QN01 no se encontraron diferencias significativas.

Discusión

La guadua es una especie de fácil adaptación en el neotrópico con rangos de distribución en Colombia en departamentos de las regiones

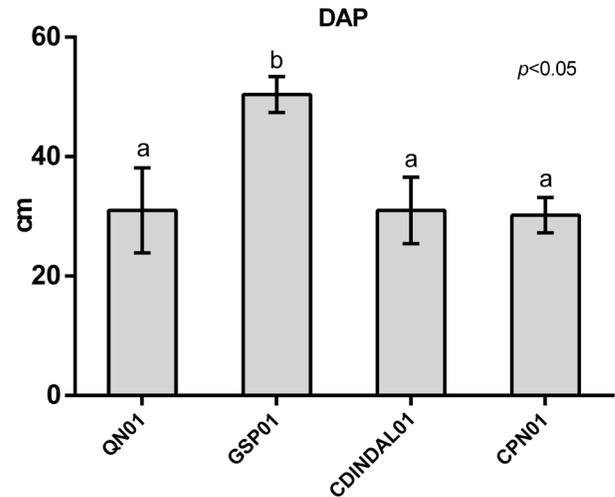


Figura 5. Estado morfológico de *G. angustifolia* en los sitios de estudio. Valores de diámetro a pecho (DAP) realizados sobre tallos maduros

Andina y Pacífica y en algunos de los llanos orientales como Casanare. Según lo reportado previamente⁽⁷⁾, los guaduales tienden a lograr un mejor desarrollo en lugares con altos contenidos de arena 63.11 %, en comparación con los limos y las arcillas 19.30 % y 17.94 %, respectivamente.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se entiende como aquella propiedad que posee el suelo tanto para retener como para liberar iones del suelo, y se encuentra influenciada por el porcentaje de arcilla y la disponibilidad de materia orgánica presente. En el análisis realizado, se correlacionaron datos de CIC, textura y porcentaje de materia orgánica (expresada en porcentaje de carbono orgánico) para establecer un mejor criterio. Los puntos de muestreo en Caparrapí y Guaduas presentaron los mayores valores de CIC (41.5 cmol (+)/kg y 35.4 cmol (+)/kg, respectivamente) seguido de Quebradanegra (28.4 cmol (+)/kg) y El Dindal con el menor valor (8.60 cmol (+)/kg). Aunque los mayores valores de CIC en Caparrapí y Guaduas

no se correlacionan con el porcentaje de arcillas de estos suelos, se puede evidenciar que estos sitios son los que presentan mayor contenido de materia orgánica total al arrojar valores de 10.5 % y 6.9 %, respectivamente, lo que puede explicar estos valores de CIC. En el caso de El Dindal, el porcentaje de arenas es el mismo que en Caparrapí y Guaduas, pero en este sitio los valores de materia orgánica son bajos (2.6 %), lo que confirma su baja CIC.

Según López, en el 2005⁽⁸⁾ la materia orgánica del suelo confiere importantes atributos a este, y se destacan entre estos: el poder de tipo amortiguador y la capacidad de afectar las propiedades físicas del suelo (estructura, consistencia, densidad, espacio poroso, temperatura y color). El mismo autor referencia que la materia orgánica puede servir como fuente de algunos macronutrientes (nitrógeno, fósforo y azufre) y por su acción quelante también de micronutrientes (hierro, manganeso, cobre y zinc); finalmente, ser fuente de ácidos fúlvicos y húmicos que participan de la fisicoquímica del suelo y la fisiología de las plantas. Dado su nivel de importancia, surgió la necesidad de conocer su determinación (considerándose especialmente al carbono y nitrógeno). Con el tiempo se desarrollaron diferentes métodos que, de acuerdo con su precisión y menor cantidad de variables (o mayor facilidad para el manejo y control de ellas), perduraron o fueron descartados. Esto evidencia que las localidades con mayor contenido de materia orgánica (Caparrapí y Guaduas) tienen los valores más altos con respecto a los elementos mayores.

Para los elementos menores, el comportamiento en la región fue heterogéneo dependiendo del elemento (datos suplementarios). Dentro de los denominados elementos menores o micronutrientes, se incluyen el boro (B), el cloro (Cl), el cobre (Cu), el hierro (Fe), el manganeso

(Mn), el molibdeno (Mo), el níquel (Ni) y el zinc (Zn). Dichos elementos tienen funciones variadas tales como la producción de la clorofila, intervienen en la conservación de las hormonas de crecimiento vegetales y en el balance adecuado de los bioelementos que regulan la transpiración, y estimulan el crecimiento de las plantas al promover la división de las células, la floración y la producción de semillas⁽⁹⁾.

Las mejores plantaciones comerciales de guadua se desarrollan eficientemente cuando el pH del suelo se encuentra en rangos de 6.3-6.5 ⁽¹⁰⁾. El grado de adaptabilidad y desarrollo en condiciones ácidas por debajo de 5.5 se ve notablemente afectado y se vuelve crítico con valores mucho menores. Los datos generados en este estudio evidencian que el pH fluctúa entre los sitios analizados dentro del rango en el que la guadua crece en condiciones normales.

En cuanto a los elementos estructurales, cabe resaltar que el ciclo del nitrógeno permite su incorporación en estructuras biológicas tales como proteínas y ácidos nucleicos al regular múltiples procesos en plantas y demás organismos. Las etapas de este ciclo involucran: 1. la fijación del nitrógeno realizada por bacterias amonificantes AMO en forma de amonio (NH_{4+}), 2. la mineralización que consiste en generar formas de nitrógeno asimilables por las plantas (NH_{4+} y NO_{3-}), 3. la nitrificación realizada por las bacterias oxidantes de nitrito BON, y 4. la denitrificación que producen los gases N_2O y N_2 para retornar el elemento de nuevo a la atmósfera ⁽¹¹⁾.

Los microorganismos del suelo funcionan como un indicador de calidad tan relevante o incluso mayor que los parámetros fisicoquímicos de este ⁽¹²⁾, que a su vez viene influenciado por los procesos y las actividades a las cuales está expuesto ⁽¹³⁾. Una mayor presencia de bacterias

relacionadas con el ciclo de nitrógeno en los sitios GSP01 y CPN01, en especial las de tipo AMO y BOA, podría estar vinculada a que estos rodales están asociados a cultivos de café, plátano y caña de azúcar, los cuales son representativos de la región. Según Cañón-Cortázar ⁽¹⁴⁾, la aplicación de fertilizantes para fines agrícolas (NPK) y algunas labores culturales podría facilitar los procesos de mineralización de estos nutrientes y ponerlos a mejor disponibilidad tanto para los microorganismos como para los organismos vegetales. Aun así, en el caso de áreas poco intervenidas o boscosas, como es el caso de los suelos de los guaduales no asociados a cultivos, los menores valores para estos microorganismos no significan que su presencia o actividad en el metabolismo del nitrógeno sea baja.

A través de la denitrificación, las formas oxidadas de nitrógeno como el nitrato (NO_3) y el nitrito (NO_2) se convierten en dinitrógeno (N_2) y, en menor medida, en gas óxido nitroso (N_2O). Este proceso anaeróbico es llevado a cabo por bacterias que utilizan compuestos nitrogenados como aceptores de electrones en la respiración anaeróbica, y que pueden convertir el nitrato en formas más reducidas de nitrógeno (NO , N_2O , N_2) que se van a la atmósfera. El óxido nítrico y el óxido nitroso son gases importantes para el ambiente. La denitrificación es la única transformación del nitrógeno que remueve el nitrógeno del ecosistema (que es en esencia irreversible), y aproximadamente balancea la cantidad de nitrógeno fijado por los microorganismos. En el caso de los suelos analizados, los guaduales presentaron valores para microorganismos denitrificantes en el rango de suelos en condiciones naturales de bosque o con buenas prácticas de manejo.

Al realizar un balance general, se podría decir que la movilización de nutrientes, en especial aquellos con formas químicas nitrogenadas, es favorable para el desarrollo de los guaduales en los sitios seleccionados. La población microbiana asociada a los rizomas realiza recambios adecuados de los nutrientes, tal como se correlaciona con los datos de respiración, los cuales se encuentran alrededor de los valores de respiración de suelos dentro del tipo de suelo en condiciones naturales $0,1-2,0 \text{ mgCO}_2/\text{gr}/48 \text{ h}$ (material suplementario). Los valores más altos con respecto al diámetro de tallo se registraron en los rodales del municipio de Guaduas, con tallos vegetativos maduros de 50.4 cm. Cabe resaltar que dicho diámetro es un indicador del momento de la cosecha, la cual se hace al realizar un corte tradicionalmente a las primeras horas para evitar que los tallos queden con altos contenidos de humedad; este factor es una limitante en durabilidad de los materiales en el futuro ⁽¹⁵⁾.

Los suelos con texturas arcillosas, menor acumulación de materia orgánica y baja fertilidad pueden tener cultivos o zonas de la finca con miras al aprovechamiento de esta especie como material utilizado en el sistema productivo, tal como construcción de infraestructuras de bajos requerimientos en cuanto al grosor y la calidad del tallo. Es de resaltar que en los sitios donde esta especie tuvo mejores características de tallo comercial, se presentó en áreas donde la guadua estaba incluida dentro del sistema denominado cultivo asociado, para este caso con el cultivo del café y plátano. La guadua es utilizada en algunas regiones como el Eje Cafetero, en asocio con cultivos de cítricos, piña y otras actividades agropecuarias como la ganadería ⁽¹⁶⁾. En el caso del café, por naturaleza alguna de sus requerimientos para ciertas

variedades es la calidad del sombrero, y este es un parámetro para lograr una óptima producción. El rodal implementado y conservado de la forma estandarizada sirve como buen complemento en dicho sistema productivo.

Conclusiones

La especie *Guadua angustifolia* es nativa del trópico americano, con una amplia adaptabilidad a distintos tipos de suelo y pisos térmicos. Aun así, se debe tener en cuenta a la hora de emprender un sistema productivo de guadua cuáles son los rangos de desarrollo óptimo para esta especie. Es importante resaltar que la guadua es una especie con gran porcentaje de ciclaje de nutrientes debido a la considerable cantidad de desprendimiento de hojas, y estas son acumuladas en la capa superficial del suelo, lo que aumenta la generación de materia orgánica como medio propicio para el desarrollo de una gran variedad de microorganismos.

En las zonas de la región del Bajo Magdalena de Cundinamarca, analizadas en este proyecto (Guaduas y Caparrapí), se evidenció que los suelos asociados a los guaduales se encuentran dentro de los parámetros óptimos tanto para la producción industrial como para el aprovechamiento local de los proyectos productivos. Dependiendo de la finalidad para la utilización de la guadua, se debe entender que para cumplir con las condiciones de parámetros de calidad y tamaño, esta especie se debe

ajustar a las condiciones agroecológicas óptimas. Incluso así, si el destino es el autoconsumo, la guadua presenta un rango amplio de adaptación, lo que la hace flexible cuando se sale de sus condiciones ideales, lo cual influirá con su calidad y tamaño. La guadua se puede implementar dentro del sistema rural tradicional para lograr que los productores puedan diversificar sus productos ante los cambios de la comercialización tradicional, además de ser un cultivo con amplio reconocimiento en la conservación del ecosistema local.

Agradecimientos

Los autores agradecen a las entidades que participaron en el marco del proyecto denominado “Estrategias de valoración y apropiación de los recursos naturales, como mecanismo de adaptación al cambio climático - Región del Bajo Magdalena”, de la Gobernación de Cundinamarca en el componente “Estudio sobre principales factores bióticos y abióticos que influyen en la calidad de sitio para guadua e identificación de clones adaptables a la zona de estudio y paquete tecnológico para manejo de cosecha y poscosecha en las zonas de estudio”, en especial al Centro Internacional de Física (CIF) y la Universidad de Cundinamarca.

Agradecimiento especial a los productores agrícolas de los diferentes municipios por haber permitido los espacios en los que se desarrolló esta investigación.

Referencias

1. Aguilar Aguilar E, Reyes Erreyes K, Ordóñez Contreras O, Calle Iñiguez M, Reyes K. Uso y valoración de los recursos naturales y su incidencia en el desarrollo turístico: caso Casacay, cantón Pasaje, El Oro - Ecuador. Rev Interam Ambient Tur. [Internet]. 2018;14(1):80-8. <https://doi.org/fwhr>
2. Carrizosa J. Análisis de las principales dinámicas regionales asociadas a la variabilidad y al cambio climático. 2012. Disponible en: <https://bit.ly/3dxBfZy>
3. Bedoya Montoya C. Construcción sostenible para volver al camino [Internet]. Biblioteca Jurídica Dike: Mares Consultoría Sostenible, Medellín, Colombia; 2011.
4. García JH, Camargo JC. Condiciones de calidad de guadua angustifolia para satisfacer las necesidades del mercado en el Eje Cafetero de Colombia. Recur Nat y Ambient [Internet]. 2010;(61):67-76. Disponible en: <https://bit.ly/3pldiB4>
5. Camargo JC, Morales T, García JH. Términos de referencia para la formulación de planes de manejo y aprovechamiento sostenible de guaduales. 2008. 1-70 pp. Disponible en: <https://bit.ly/2OZqmp5>
6. Orozco Corral AL, Valverde Flores MI, Téllez RM, Bustillos CC, Hernández RB. Physical, chemical and biological soil properties with biofertilization in apple orchards. Terra Latinoam. 2016;34(4):441-56. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n4/2395-8030-tl-34-04-00441.pdf>
7. Rugeles-Silva P, Posso-Terranova A, Londoño X, Barrera-Marín N, Muñoz-Florez J. Caracterización molecular de Guadua angustifolia Kunth mediante marcadores moleculares RAMs. Acta Agronómica. 2012;61(4):325-30. Disponible en: https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/38132
8. López AJ. Manual de edafología. Media [Internet]. 2006;806(enero):1-92. Disponible en: <https://bit.ly/3uiwDMU>

9. Taiz L, Zeiger E, Møller IM, Murphy A. Plant physiology and development [Internet]. Sinauer Associates. 2015. Disponible en: <http://6e.plantphys.net/>
10. Botero LF. Reproducción de la Guadua angustifolia por el método de chusquines. *Int Netw Bamboo Ratt.* 2004;Guayaquil. Disponible en: <https://www.inbar.int/wp-content/uploads/2020/05/1489453532.pdf>
11. Paredes MC. Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas [Internet]. Pontificia Universidad Católica Argentina. 2013. Disponible en: <https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/393>
12. Acosta-Martínez V, Acosta-Mercado D, Sotomayor-Ramírez D, Cruz-Rodríguez L. Erratum to “Microbial communities and enzymatic activities under different management in semiarid soils” [*Appl. Soil Ecol.* 38 (2008) 249-260]. *Appl Soil Ecol.* 2008;39(3):358. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.01.004>
13. Han X, Wang R, Guo W, Pang X, Zhou J, Wang Q, et al. Soil microbial community response to land use and various soil elements in a city landscape of north China. *African J Biotechnol.* 2011;10(73):16554-65. <https://doi.org/10.5897/AJB10.1682>
14. Cañón-Cortázar RG, Avellaneda-Torres LM, Torres-Rojas E. Associated microorganisms to the nitrogen cycle in soils under three systems of use: potato crop, livestock and páramo, in Los Nevados National Natural Park, Colombia. *Acta Agron.* 2012;61(4):371-9. Disponible en: <https://bit.ly/3aDt0Jt>
15. Maya Echeverry JM, Camargo García JC, Marino Mosquera O. Characteristics of Guadua culms according to site and stage of maturity. *Colomb For.* 2017;20(2):171-80. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.2.a06>
16. Mejía L. Pasado y futuro de los bosques de guadua en el Eje Cafetero colombiano. El caso de Yarima Guadua. *Recur Nat y Ambient.* 2011;(61):6-10. <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/6973?show=full>

Datos suplementarios

Tabla S1. Contenido de elementos menores en suelos asociados a rodales de guadua. *Escala del laboratorio de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Igac)

Sitio de muestreo	mg/kg				
	Mn	Fe	Zn	Cu	B
Quebradanegra QN01	5,10	54,10	26,50	2,00	0,02
Guaduas GSP01	1,50	52,00	0,33	0,81	0,27
Dindal CDINDAL01	4,30	23,00	18,40	1,40	N. D.
Caparrapí CPN01	3,20	73,80	0,64	0,27	0,16
Contenido óptimo en el suelo*	15-30	20-30	3,00-6,00	1,50-3,00	0,60-1,00

Tabla S2. Porcentaje de materia orgánica presente en suelos asociados a rodales de guadua en la región de Gaulivá y Bajo Magdalena (Cundinamarca). *Interpretación del laboratorio de suelos del Igac

Sitio de muestreo	C. O. %	Clima	Apreciación*
Quebradanegra QN01	4,80	Medio	Alto
Guaduas GSP01	6,90	Medio	Alto
Dindal CDINDAL01	2,60	Cálido	Alto
Caparrapí CPN01	10,50	Medio	Alto

Tabla S3. Relación del estado de respiración de los suelos analizados en este estudio

Punto	mg/CO ₂ /gr/48 h
Quebradanegra	0,225
Guaduas	0,103
Dindal	0,126
Caparrapí	0,174