



Estoque de carbono e atributos do solo com o reflorestamento de *Cariniana pyriformis* e *Cordia gerascanthus* em Santander, Colômbia

Andrés Iván Prato Sarmiento¹
Jhon Jairo Zuluaga Pelaéz²
Laura Dayana Escobar Pachajoa³
Jairo Rojas Molina⁴
Wesley Da Silva Fonseca⁵
Sebastião Venâncio Martins⁶

¹Agrosavia (aprato@agrosavia.co), ²Agrosavia (jzuluaga@agrosavia.co), ³Agrosavia (lscobar@agrosavia.co), ⁴Agrosavia (jrojas@agrosavia.co), ⁵Universidade Federal de Viçosa (wesley.fonseca@ufv.br), ⁶Universidade Federal de Viçosa (venancio@ufv.br)

RESUMO: A região dos Andes na Colômbia tem sofrido um forte processo de degradação de solos e desmatamento. Numa área dessa região foi avaliado o efeito do reflorestamento com *Cariniana pyriformis* (abarco) e *Cordia gerascanthus* (moncoro) nos atributos químicos (pH, matéria orgânica, carbono orgânico, P, K⁺¹, Mg⁺² e Ca⁺²) e o conteúdo de carbono no solo. Após 8,2 anos de plantio, para cada espécie foram coletadas amostras de solo em duas profundidades, 0-20 cm e 20-40 cm, sendo as variáveis analisadas mediante anova (two-way) e test de Tukey (p < 0,05). Apenas houve maior concentração significativa de carbono orgânico (+38%) e P (43%) com o plantio de moncoro aos 0-20 cm. No entanto, ambas as espécies acumularam em média 0,5 vezes mais matéria orgânica e carbono orgânico aos 0-20 cm que aos 20-40 cm. O solo sequestrou mais carbono na camada de 0-20 cm que de 20-40 cm, independente da espécie, totalizando na camada (0-40 cm) em média 66,9 Mg ha⁻¹. Os plantios com as duas espécies nativas podem contribuir à diminuição do CO₂ atmosférico e se tornar um serviço ecossistêmico importante nos Andes de Colômbia.

Palavras-chave: desmatamento, silvicultura, colombian mahogany, mudança climática

Introdução

Segundo o IDEAM & UDCA (2015), na Colômbia cerca de 40% de sua superfície continental (45.377.070 ha) apresenta algum grau de degradação devido à erosão, principalmente devido ao intenso processo de desmatamento observado nas últimas décadas. Esse valor aumenta para 79,4% no departamento de Santander. Uma estratégia para o reflorestamento é uso de espécies nativas que acrescente a produtividade da biomassa total em regiões com solos pobres e degradados, e assim podem contribuir para o sequestro de carbono atmosférico. Nesse sentido, o solo pode ser responsável pela aproximadamente 60% do carbono fixado a cada ano nos ecossistemas florestais (Dantas et al., 2020).

Cariniana pyriformis (abarco) é uma arbórea nativa da Colômbia, Panamá e Venezuela, e tem sido muito usada em sistemas agroflorestais com *Theobroma cacao* e em plantios puros (Suarez et al., 2019). Outra espécie nativa com potencial madeireiro é *Cordia gerascanthus* (moncoro) que



cresce nas florestas úmidas e decíduas da América tropical e, há várias décadas, tem sido usado como uma alternativa mais sustentável para a atividade pecuária na Colômbia (Calle & Murgueitio, 2020).

Além do potencial madeireiro, a valorização dessas duas espécies é importante por causa do sequestro de CO₂ como um serviço ecossistêmico. Este estudo objetivou quantificar alguns atributos químicos e conteúdo de carbono orgânico do solo, em duas profundidades de solo, após o reflorestamento, na região dos Andes da Colômbia.

Material e métodos

Sítio de estudo

O estudo foi realizado no Centro de Investigación La Suiza da Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), localizado no município de Rionegro- Santander, Colômbia (7° 22' 10" N; 73° 10' 39" O; 550 m de altitude). O clima é do tipo tropical equatorial (Af) na classificação de Köppen, com médias históricas de 1.999 mm ano⁻¹ e 27,8 °C (IDEAM, 2022). A área experimental ocupa dois hectares de paisagem montanhosa e um declive médio de 30%, com máximos de até 67%. Os solos são jovens e em formação com baixa fertilidade natural, classificados segundo a USDA Soil Taxonomy nas ordens Inceptissolo e Entissolo (IGAC, 2003). Em setembro de 2014, após seis meses da semeadura, as plântulas de *Cariniana pyriformis* e *Cordia gerascanthus* oriundas de semente comercial foram plantadas em campo.

Cada plantio puro (espécie) está distribuído em três parcelas de 40 m x 40 m, separadas 300 - 600 m uma da outra. Uma amostra composta de solo (n=3) coletada aos 0-40 cm de profundidade revelou segundo a metodologia do ICONTEC (2014), um solo fortemente ácido (pH= 4,5), com presença de alumínio intercambiável (1,29 cmol_c kg⁻¹), baixa concentração de P (3,6 mg kg⁻¹) e saturação de bases (0,11, 0,78 e 2,47 cmol_c kg⁻¹ de K⁺¹, Mg⁺² e Ca⁺², respectivamente). Foram aplicadas 300 g cova⁻¹ de cal dolomítica, um mês antes do plantio, e que foi repetido aos dois anos com 1,5 kg árvore⁻¹. A adubação foi fraccionada até o quinto ano de plantio e no total foram aplicados 55, 40, 18, 65 e 30 kg ha⁻¹ de N, P, K, Mg e S, respectivamente. Não houve podas nas duas espécies.

Atributos de solo nos plantios

Após 8,2 anos de plantio (novembro de 2022) foram coletadas amostras de solo, em duas profundidades (0-20 cm e 20-40 cm) e nas três parcelas por espécie para sua caracterização química seguindo a mesma metodologia anterior. Cada amostra de solo foi composta por três subamostras coletadas aleatoriamente na área central de cada parcela. O pH foi avaliado em água com uma relação



1:2,5, a matéria orgânica pelo método de Walkley & Black, o P disponível por Bray II, Ca⁺², Mg⁺² e K⁺¹ por espectrofotometria de emissão atômica e extração 1 N KCl, carbono orgânico mediante análise CHN com analisador elemental e soma de bases pela somatória das bases Ca⁺², Mg⁺² e K⁺¹. O conteúdo de carbono orgânico do solo (COS, em Mg ha⁻¹) para cada profundidade de solo considerou a espessura da camada amostrada (G, 20 cm), concentração de carbono orgânico (C, em g kg⁻¹) e a densidade aparente de solo (Da, em g cm⁻³) aplicando a Formula 1. A densidade aparente do solo (média de três amostras sem deformação por parcela) para cada profundidade foi determinada pelo peso e volume de um cilindro de alumino (503 cm³).

$$COS = C \times Da \times G / 10 \quad (\text{Fórmula 1})$$

Análise estatística

Os atributos químicos e conteúdo de carbono orgânico do solo foram submetidos ao teste Shapiro – Wilk e Levene para verificar a normalidade e homoscedasticidade da variância, respectivamente. As médias foram analisadas pela ANOVA de duas vias (profundidade de solo x espécie) e comparadas pelo teste de Tukey ao 5% de significância no software R 4.2.2 (R Core Team, 2022).

Resultados e discussão

Para os atributos químicos do solo, a anova revelou interação significativa entre os dois fatores para o P, sendo maior 43% no plantio do moncoro em comparação do abarco na profundidade de 0-20 cm (4,78 mg g⁻¹ versus 3,35 mg g⁻¹) (Tabela 1).

Tabela 1: Valores p da anova e valores médios das propriedades físicas e químicas do solo segundo a espécie, profundidade do solo (Pr) e sua interação, aos 8,2 anos de plantio. Rionegro, Santander (Colômbia).

Pr (cm)	Espécies	pH	SV*	K ⁺¹	Ca ⁺²	Mg ⁺²	P	M.O**	C***
0-20	abarco	5,35 ^{aA}	5,09 ^{aA}	0,08 ^{aA}	3,25 ^{aA}	1,76 ^{Aa}	3,35 ^{aB}	2,03 ^{aA}	1,36 ^{aB}
	moncoro	5,48 ^{aA}	6,63 ^{aA}	0,13 ^{aA}	4,28 ^{aA}	2,22 ^{aA}	4,78 ^{aA}	2,52 ^{aA}	1,87 ^{aA}
20-40	abarco	5,41 ^{aA}	4,56 ^{aA}	0,11 ^{aA}	2,76 ^{aA}	1,69 ^{aA}	2,52 ^{aA}	1,44 ^{bA}	0,86 ^{bA}
	moncoro	5,33 ^{aA}	3,83 ^{aA}	0,09 ^{aA}	2,43 ^{aA}	1,31 ^{aA}	2,09 ^{bA}	1,62 ^{bA}	0,95 ^{bA}
Fator:									
	Pr	0,75	0,89	1,00	0,16	0,65	<0,01	0,03	<0,01
	espécie	0,87	0,11	0,47	0,65	0,10	0,14	0,07	0,02
	Pr x espécie	0,50	0,16	0,18	0,39	0,39	0,02	0,35	0,06

Letras diferentes indicam diferenças significativas em cada espécie entre profundidade do solo (minúsculas) e em cada profundidade entre espécies (maiúsculas) de acordo com o test de t-Student (p < 0,05). * saturação de bases (SV)= Ca⁺² + Mg⁺² + K⁺¹. ** concentração matéria orgânica do solo (M.O) e *** carbono orgânico do solo (C).



Nessa mesma profundidade do solo e espécie, o P foi maior significativamente em 1,3 vezes com relação aos 20-40 cm (Tabela 1). Houve efeito principal do fator profundidade de solo para a variável carbono orgânico, sendo maior a 78% aos 0-20 cm que aos 20-40 cm ($1,61 \text{ g kg}^{-1}$ versus $0,91 \text{ g kg}^{-1}$). O efeito principal do fator espécie demonstrou que o moncoro foi superior em 27% ao abarco (Tabela 1). Por outro lado, houve efeito principal da profundidade do solo no COS, na qual a profundidade de 0-20 cm foi 60% superior aos 20-40 cm ($41,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ versus $25,8 \text{ Mg ha}^{-1}$) (Figura 1). A média por espécie na camada de solo de 0-40 cm foi de $60,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ (abarco) e $72,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ (moncoro).

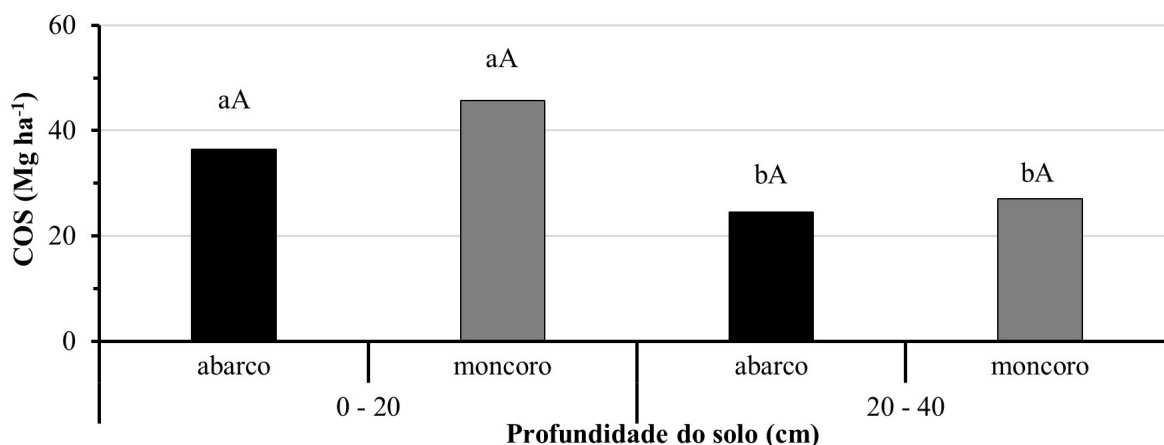
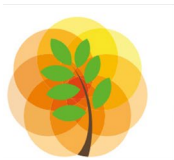


Figura 1. Valores médios do conteúdo de carbono orgânico (COS) para abarco e moncoro segundo a profundidade do solo, aos 8,2 anos de plantio. Rionegro, Santander (Colômbia). Letras diferentes indicam diferenças significativas em cada espécie entre profundidade do solo (minúsculas) e em cada profundidade entre espécies (maiúsculas) de acordo com o test t-Student ($p < 0,05$).

Esses valores são similares aos encontrados em um fragmento da Mata Atlântica localizado no Espírito Santo, onde o COS na camada de solo de 0-40 cm foi de $62,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Delarmelina et al., 2022), porém, mais baixo do que observado numa floresta secundária em Minas Gerais, Brasil, com $99,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Dantas et al., 2022). Geralmente, existe uma relação negativa entre a concentração de matéria orgânica e o conteúdo do carbono com a profundidade do solo, visto que nessa primeira camada acontece o processo de humificação pela adição de material vegetal (Vitel et al., 2016), o que explica os presentes resultados.



Conclusão

Embora foi observada uma tendência à maior fertilidade do solo com o plantio de moncoro em comparação ao abarco, apenas foi constatado estatisticamente maior concentração de matéria orgânica e P na profundidade de solo 0-20 cm. O potencial de sequestro de CO₂ atmosférico pelo solo é grande nas duas espécies e pode ser um serviço ecossistêmico nos programas de restauração ecológica ou como plantios nas áreas degradadas da região Andina de Colômbia.

Referências bibliográficas

CALLE, Z.; MURGUEITIO, E. Árboles nativos para predios ganaderos. Especies focales del Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. CIPAV: Cali. ed.1, 2020, 346p.

DANTAS, D.; TERRA, M.; PINTO, L.; CALEGARIO, N.; MACIEL, S. Above and belowground carbon stock in a tropical forest in Brazil. Acta Scientiarum. Agronomy. v.43(e48276), p.1-13, 2021. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v43i1.48276>

DELARMELINA, W.; JUNIOR, D.; CALDEIRA, M.; JUNIOR, D.; GODINHO, T.; CALIMAN, J.; GONÇALVES, E, KUNZ, E.; PEREIRA, M.; SILVA, C. Soil attributes and spatial variability of soil organic carbon stock under the Atlantic Forest, Brazil. Ciencia Florestal. v.32(3), p.1528-1551, 2022. <https://doi.org/10.5902/1980509867028>

ICONTEC. Normas técnicas - Calidad del Suelo. ICONTEC: Bogotá, 2014. 10p.

IDEAM & UDCA. Estudio nacional de la degradación de suelos por erosión en Colombia. IDEAM: Bogotá. ed. 1, 2015, 62p.

IGAC. Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento de Santander. IGAC: Bogota, ed. 1, 2003, 1 cd-room.

SUAREZ, J.; MELGAREJO, J.; CASANOVES, F.; RIENZO, J.; DAMATTA, F.; ARMAS, C. Photosynthesis limitations in cacao leaves under different agroforestry systems in the Colombian Amazon. Plos One.v.13(11), p.1-13, 2018. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206149>

VITEL, J.; LUIZÃO, F.; TEIXEIRA, W.; MARQUES, E. Soil organic carbon, carbon stock and their relationships to physical attributes under forest soils in central Amazonia. Árvore. v.40(2), p.197-208, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622016000200002>

