

Predicción de la densidad aparente en horizontes orgánicos de suelos de bosque dominados por *Quercus robur* en Galicia

Prediction of the bulk density of organic horizons in forest soils dominated by *Quercus robur* in Galicia

Juan Carlos Nóvoa-Muñoz*, Antía Gómez-Armesto, Noemi Calvo-Portela, Melissa Méndez-López, Andrea Parente-Sendín, David Fernández-Calviño & Flora Alonso-Vega

Área de Edafología e Química Agrícola, Departamento de Biología Vegetal e Ciencias do Solo, Facultade de Ciencias, Universidade de Vigo, As Lagoas s/n 32004 Ourense, España
(*E-mail: edjuanca@uvigo.es)

<https://doi.org/10.19084/rca.28680>

RESUMEN

Este estudio busca un modelo predictivo de la densidad aparente (ρ_b) en horizontes orgánicos (O) de suelos de bosque de *Quercus robur*, la principal especie nativa caducifolia del NO de la Península Ibérica. Se toman muestras de horizontes O (OL y OF+OH; n=96) en 16 parcelas localizadas en Ordes (Galicia). Además de la ρ_b , en las muestras se determinan los niveles de C y N totales, el pH y los cationes básicos intercambiables (CBI). Los horizontes O son ácidos (pH en agua <5,0), con niveles medios de C orgánico >360 g kg⁻¹ y una relación C/N que varía entre 21 y 26. La concentración de CBI sigue la secuencia Ca>Mg>>K>Na. El análisis de regresión múltiple resulta en un modelo que explica el 54% de la varianza de la ρ_b , siendo la suma de CBI y el C orgánico total las variables predictoras. El error cuadrático medio (RMSE) fue 0,036 g cm⁻³ y el coeficiente de regresión (R²) entre valores observados y valores predichos fue de 0,65. Este modelo predictivo sugiere que la calidad de la materia orgánica es más determinante que la cantidad en la estimación de la ρ_b de los horizontes O de suelos de bosque de *Q. robur*.

Palabras clave: carbono orgánico, relación C/N, pedotransferencia, nutrientes, humificación

ABSTRACT

This study searches for a predictive model for bulk density (ρ_b) of organic horizons (O) of forest soils dominated by *Quercus robur*, the main deciduous native specie in the NW of the Iberian Peninsula. Samples of the O horizons (OL and OF+OH; n=96) of 16 stands located in Ordes (Galicia) were collected. In addition to ρ_b , pH, total contents of organic C and N as well as exchangeable base cations (CBI) were analysed in the samples. Organic horizons were acid (water pH <5,0), with an average organic C >360 g kg⁻¹ and a C/N ratio in the range 21 to 26. The concentration of CBI follows the sequence Ca>Mg>>K>Na. The stepwise multiple linear regression resulted in a model that explains 54% of the ρ_b variance, being the sum of EBC and total organic C the predictor variables. The Root Mean Squared Error (RMSE) was 0,036 g cm⁻³ and the coefficient of regression (R²) between observed and predicted values was 0.65. This predictive model suggests that organic matter quality, rather than its quantity, was more determinant in the estimation of the ρ_b of organic horizons of forest soils dominated by *Q. robur*.

Keywords: organic carbon, C/N relationship, pedotransference, nutrients, humification

INTRODUCCIÓN

La densidad aparente del suelo (ρ_b) permite transformar valores basados en masa a resultados relativos al área o volumen que ocupa, siendo muy útil para el cálculo de reservorios de C, nutrientes y contaminantes en los suelos (Tamminen & Starr, 1994). La determinación en campo de la ρ_b del suelo demanda mucho tiempo y trabajo, por lo que muchos estudios utilizan funciones de pedotransferencia (FPT) para su estimación a partir de propiedades generales del suelo (Reidy *et al.*, 2016). Esta aproximación, si bien está muy extendida para horizontes minerales (De Vos *et al.*, 2005; Rodríguez-Lado *et al.*, 2015), apenas se ha evaluado en el caso de los horizontes orgánicos (Hollis *et al.*, 2012).

La especie arbórea dominante influye notablemente en la ρ_b de los horizontes orgánicos (O) del suelo, por efecto de la cantidad de biomasa senescente generada y su tasa de descomposición (Osei *et al.*, 2021), así como de las comunidades microbianas presentes (Prescott & Grayston, 2013). De este modo, las FPT destinadas a estimar de forma precisa la ρ_b en los horizontes O deberían considerar el tipo de especie arbórea dominante.

Quercus robur es la especie dominante en los bosques caducifolios de Galicia ocupando 246.000 ha (IV IFN Galicia) en 2011, donde forma masas puras o mixtas con otras especies caducifolias. Estos bosques suponen el 17% del total de la superficie arbolada de Galicia.

El objetivo de este trabajo es dar el primer paso hacia el desarrollo de un modelo predictivo de la ρ_b en horizontes orgánicos de suelos de bosque dominados por *Q. robur* utilizando para ello algunas de sus principales propiedades químicas. Los resultados servirán, tras su posterior validación, para conseguir una FPT que permita estimar de forma más precisa los reservorios de nutrientes (incluido C) y contaminantes en los suelos de bosques, en cuyo cálculo se suele prescindir de la contribución de los horizontes orgánicos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio, toma y caracterización de las muestras

Para este estudio se seleccionaron 16 parcelas boscosas, dominadas por *Q. robur*, situadas en la comarca de Ordes (A Coruña, NW Galicia). En cada parcela se delimitaron tres subparcelas, en las que se recogió el horizonte O separándolo entre el subhorizonte OL y una mezcla de los subhorizontes OF+OH. Para ello, en cada subparcela se dispuso sobre la superficie del suelo un cuadrado de 0,25 m² de superficie y el espesor de cada subhorizonte se promedió a partir de cinco medidas (en cada esquina y centro del cuadrado de muestreo). El material recogido, tras su secado al aire, se pesó para expresar su masa por unidad de superficie (g m⁻²). Posteriormente, la totalidad de la muestra se trituró hasta un tamaño < 4 mm. Una alícuota de la muestra triturada se secó a peso constante (105°C) para calcular empíricamente la densidad aparente, a partir de la masa por unidad de superficie y el espesor del horizonte. Una segunda alícuota fue finalmente molida para determinar los contenidos totales de C y N. La muestra < 4 mm se empleó para analizar el pH en agua (pHw) y KCl 1 M (pHk) y los cationes básicos intercambiables (Na, K, Ca y Mg) empleando NH₄Cl 1 M, siguiendo los métodos empleados por Méndez-López *et al.* (2022).

Modelo predictivo de la densidad aparente (ρ_b)

Para la predicción de la ρ_b se realiza un análisis de regresión múltiple por pasos, considerando la densidad aparente como variable dependiente y C y N totales, pH en agua (pHw) y KCl (pHk), y cationes básicos intercambiables y su suma (SB) como variables independientes. Se buscarán modelos predictivos para los subhorizontes OL, para la mezcla de OF+OH y para el conjunto del horizonte O. Para todos los análisis estadísticos se empleó SPSS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características generales de los horizontes orgánicos

La Tabla 1 presenta las características generales de los horizontes. La densidad aparente (ρ_b) es menor en los horizontes OL que en los OF+OH (0,02 vs 0,1 g cm⁻³, respectivamente). En general, se trata de horizontes moderadamente ácidos, con el pH_w en un rango 4,7-4,9. Los horizontes OL, más ricos en C orgánico y N total que los OF+OH, muestran valores del mismo orden que los observados por Gartzia-Bengoetxea *et al.* (2009) en horizontes O de suelos dominados por especies caducifolias similares.

Tabla 1 - Valor medio y desviación estándar de algunas características generales de los horizontes orgánicos

Parámetro	Unidad	Hor OL	Hor OF+OH
		(n=48)	(n=48)
ρ_b	g cm ⁻³	0,021 ± 0,008	0,100 ± 0,008
pH _w		4,9 ± 0,3	4,7 ± 0,5
pH _k		4,4 ± 0,3	3,9 ± 0,5
C _{org}	g kg ⁻¹	527 ± 49	360 ± 83
N total	g kg ⁻¹	21,0 ± 3,7	17,1 ± 3,5
C/N		26 ± 4	21 ± 4
Na _{ex} *	cmol _c kg ⁻¹	1,5 ± 0,4	1,2 ± 0,3
K _{ex}	cmol _c kg ⁻¹	4,8 ± 1,8	1,6 ± 0,5
Ca _{ex}	cmol _c kg ⁻¹	24,3 ± 7,0	13,8 ± 8,4
Mg _{ex}	cmol _c kg ⁻¹	16,8 ± 4,0	8,4 ± 4,2
SB	cmol _c kg ⁻¹	1,5 ± 0,4	1,5 ± 0,4

* el subíndice "ex" indica cationes intercambiables. SB: suma de cationes básicos intercambiables

La relación C/N (21-26) es semejante al valor medio de 23 dado por Cools *et al.* (2014) para horizontes O de bosques de *Q. robur* en Europa, disminuyendo con la descomposición de la materia orgánica (de OL a OF+OH). Los niveles de los cationes básicos intercambiables (Ca > Mg > K > Na) son semejantes a los de horizontes O de suelos dominados por especies caducifolias (Cremer & Prietzel, 2017).

Predicción de la densidad aparente en horizontes orgánicos

El resultado del análisis de regresión múltiple (ARM) presenta una pobre capacidad predictiva de la ρ_b para los subhorizontes OL, explicando el 16% de su varianza a partir de Mg intercambiable y el contenido de C orgánico total como variables predictoras. En el caso de los subhorizontes OF+OH, el modelo obtenido explicó hasta el 36% de la varianza de la ρ_b , siendo Ca y K intercambiables las variables predictoras.

Cuando se evalúa el horizonte O en su conjunto (OL+OF+OH), el ARM da lugar a un modelo predictivo mucho más satisfactorio, explicando hasta el 54% de la varianza de ρ_b (Eq. 1):

$$\rho_b = 0,148 - 0,0020*SB - 0,0001*C \quad (\text{Eq. 1})$$

La suma de cationes básicos intercambiables (SB) contribuye a explicar el 49% de la varianza de la ρ_b , mientras que sólo el 5% se atribuye al C orgánico total. Esta menor relevancia del C orgánico en la predicción de la ρ_b en los horizontes O contrasta con estudios previos en los que el C orgánico es la principal variable predictora de la ρ_b (Hollis *et al.*, 2012; Reidy *et al.*, 2016; Beutler *et al.*, 2017). El porcentaje de varianza de la ρ_b explicada por la ecuación 1 supera el de otras FPT (29 y 52%) obtenidas para horizontes orgánicos en estudios previos (Hollis *et al.*, 2012; Beutler *et al.*, 2017). El error cuadrático medio (RMSE) del modelo obtenido es bastante satisfactorio (0,036), mucho menor que los valores de 0,193 y 0,139 obtenidos cuando se aplican las FPT de los estudios anteriormente citados. Esto también se evidencia cuando se representan los valores predichos por el modelo de la Eq. 1 frente a los valores observados (Figura 1), ya que el coeficiente de determinación obtenido (0,65) supera notablemente los valores de 0,30 y 0,33 resultantes de la aplicación de las FPT de Hollis *et al.* (2012) y Beutler *et al.* (2017) a nuestros valores observados.

La diferencia entre valores observados y predichos de la ρ_b se correlaciona negativamente con los contenidos totales de C ($r = -0,388$; $p = 0,000$), N ($r = -0,265$; $p = 0,009$), el K intercambiable ($r = -0,342$; $p = 0,001$) y la relación C/N ($r = -0,226$; $p = 0,027$).

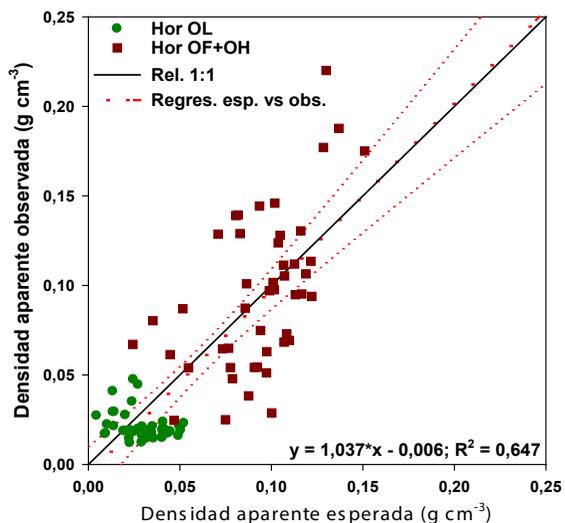


Figura 1 - Relación entre valores observados y esperados de la densidad aparente en el conjunto de muestras de los subhorizontes orgánicos. Las líneas de puntos marcan los intervalos de confianza al 99%.

CONCLUSIONES

El modelo predictivo de la densidad aparente de horizontes O de suelos dominados por *Q. robur* sugiere que el papel de la calidad de la materia orgánica, reflejada en la suma de cationes básicos intercambiables como principal variable predictora, se impone al papel de la cantidad representada por el contenido total de C orgánico.

Aunque la varianza de la densidad aparente explicada por el modelo (54%) y su RMSE (0,036) son prometedores, es preciso complementar este estudio con una fase de validación que confirme estos resultados.

AGRADECIMIENTOS

M. Méndez-López agradece al Ministerio de Educación y Formación Profesional el contrato FPU17/05484. A la Consellería de Cultura, Educación e Universidade (Xunta de Galicia) por la financiación a través de los contratos ED431C 2021/46-GRC y ED431F2018/06-EXCELENCIA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beutler, S.J.; Pereira, M.G.; de Souza Tassinari, W.; de Menezes, M.D.; Souza Valladares, G. & Cunha dos Anjos, L.H. (2017) - Bulk Density Prediction for Histosols and Soil Horizons with High Organic Matter Content. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 41, art. e0160158. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20160158>
- Cools, N.; Vesterdal, L.; de Vos, B.; Vanguelova, E. & Hansen, K. (2014) - Tree species is the major factor explaining C:N ratios in European forest soils. *Forest Ecology and Management*, vol. 311, p. 3-16. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.06.047>
- Cremer, M. & Prietzel, J. (2017) - Soil acidity and exchangeable base cation stocks under pure and mixed stands of European beech, Douglas fir and Norway spruce. *Plant and Soil*, vol. 415, p. 393-405. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3177-1>
- De Vos, B.; Van Meirvenne, M.; Quataert, P.; Deckers, J. & Muys, B. (2005) - Predictive quality of pedotransfer functions for estimating bulk density of forest soils. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 69, n. 2, p. 500-510. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0500>
- Gartzia-Bengoetxea, N.; González-Arias, A. & de Arano, I.M. (2009) - Effects of tree species and clear-cut forestry on forest-floor characteristics in adjacent temperate forests in northern Spain. *Canadian Journal Forest Research*, vol. 39, n. 7, p. 1302-1312. <https://doi.org/10.1139/X09-053>
- Hollis, J.M.; Hannam, J. & Bellamy, P.H. (2012) - Empirically-derived pedotransfer functions for predicting bulk density in European soils. *European Journal of Soil Science*, vol. 63, n. 1, p. 96-109. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2011.01412.x>
- Méndez-López, M.; Gómez-Armesto, A.; Alonso-Vega, F.; Pontevedra-Pombal, X.; Fonseca, F.; de Figueiredo, T.; Arias-Estévez, M. & Nóvoa-Muñoz, J.C. (2022) - The role of afforestation species as a driver of Hg accumulation in organic horizons of forest soils from a Mediterranean mountain area in SW Europe. *Science of the Total Environment*, vol. 827, art. 154345. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154345>
- Osei, R.; Titeux, H.; Bielak, K.; Bravo, F.; Collet, C.; Cools, C.; Cornelis, J.-T.; Heym, M.; Korboulewsky, N.; Löf, M.; Muys, B.; Najib, Y.; Nothdurft, A.; Pach, M.; Pretzsch, H.; del Rio, M.; Ruiz-Peinado, R. & Ponette, Q. (2021) - Tree species identity drives soil organic carbon storage more than species mixing in major two-species mixtures (pine, oak, beech) in Europe. *Forest Ecology and Management*, vol. 481, art. 118752. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118752>
- Prescott, C.E. & Grayston, S.J. (2013) - Tree species influence on microbial communities in litter and soil: Current knowledge and research needs. *Forest Ecology and Management*, vol. 309, p. 19-27. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.02.034>
- Reidy, B.; Simo, I.; Sills, P. & Creamer, R.E. (2016) - Pedotransfer functions for Irish soils – estimation of bulk density (ρ_b) per horizon type. *Soil*, vol. 2, n. 1, p. 25-39. <https://doi.org/10.5194/soil-2-25-2016>
- Rodríguez-Lado, L.; Rial, M.; Taboada, T. & Martínez Cortizas, A. (2015) - A pedotransfer function to map soil bulk density from limited data. *Procedia Environmental Sciences*, vol. 27, p. 45-48. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.112>
- Tamminen, P. & Starr, M. (1994) - Bulk density of forested mineral soils. *Silva Fennica*, vol. 28, n. 1, art. 5528. <https://doi.org/10.14214/sf.a9162>