

PREDICCIÓN DE FRACCIÓN EROSIONABLE PARA BOSQUES NATIVOS Y SUELOS AGRÍCOLAS (CHACO, ARGENTINA)

Rojas, J.^{1*}; Goytía, S.¹; Roldán M.¹; Buschiazzo, D.²

¹ EEA INTA Sáenz Peña, Chaco, Argentina

² EEA INTA Anguil, Facultad de Agronomía, UNLPam e INCITAP, La Pampa, Argentina

* Autor de contacto: rojas.juljeta@inta.gob.ar; Ruta 95 km 1108 (3700) P. R. Sáenz Peña, Chaco; +54011-6804 0145

RESUMEN

La provincia del Chaco ubicada el noreste argentino (NEA) ha sido afectada por un proceso intenso de cambio del uso del suelo (CUS) con reemplazo de bosques nativos (BN) por tierras agrícolas, estimándose entre 2001 y 2014 una pérdida de 620 000 ha de bosques. Uno de los indicadores seleccionados para monitorear el estado de los suelos en la región es la fracción erosionable por el viento (FE), representativa de la erosión eólica (EE). Con el objetivo principal de desarrollar una ecuación de predicción para la FE en suelos del sudoeste (SO) de la provincia, se trabajó con suelos de texturas contrastantes y diferentes usos, utilizando los parámetros textura, carbono orgánico (CO) y un factor que indica la presencia de BN. Se determinó FE y CO en diferentes situaciones en un Haplustalf Udico y un Udipsamment Típico. Estos fueron útiles para hallar una ecuación de ajuste para predecir la FE de los suelos del SO chaqueño. En ellos, el mayor contenido de CO de los BN, no determinó menor FE, sino que por el contrario se presentaron más susceptibles a la EE, principalmente los suelos de textura fina. Sería de gran interés aplicar esta ecuación en otros sitios con BN que han sufrido CUS, para comprobar el ajuste con los mismos parámetros, cuantificar el riesgo de pérdida de suelo por EE y generar un modelo de predicción orientado a generar un sistema de información geográfica (SIG), útil para la toma de decisiones.

PALABRAS CLAVE: erosión eólica, bosques nativos, modelos de predicción.

INTRODUCCIÓN

La provincia del Chaco, ubicada en el noreste argentino (NEA), es una de las provincias con mayor superficie afectada por el cambio del uso del suelo (CUS), producto de un proceso de expansión de la frontera agropecuaria desde 1997 y que continúa actualmente en esta región (Goytía, 2014). Se ha estimado que entre 2001 y 2014, el reemplazo de bosques nativos (BN) por tierras agrícolas produjo una pérdida de cobertura boscosa con 30 % de canopeo de 620 000 ha (Global Forest Watch[®] 2016). La magnitud de estos cambios puede ser diferente entre suelos y usos, y hace indispensable el monitoreo del estado de los suelos forestales y agrícolas de la región. El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) a partir de proyectos específicos de investigación en zonas frágiles, ha generado desde 2006 información básica consistente en la obtención de valores de referencia y de la selección de un conjunto mínimo de indicadores para realizar el seguimiento de la calidad de los suelos actualmente en producción (Rojas et al., 2016). Uno de los indicadores seleccionados para este conjunto de datos es la fracción erosionable por el viento (FE), parámetro representativo de la erosión eólica (EE), que es considerada uno de los procesos de degradación debido al manejo productivo (Oliva et al., 2016).

Un enfoque que ha sido usado en predicción de la erosión, para aumentar la escala del nivel de predio a nivel regional o de cuenca, es acoplar modelos de erosión con sistemas de información geográficos (SIG), para lo cual es necesario realizar mediciones a escala regional y hallar relaciones que serán la base matemática de los modelos. En Chaco la FE ha sido evaluada específicamente en suelos del Orden Inceptisoles deforestados destinados a agricultura, obteniéndose como resultado valores menores de FE bajo agricultura en siembra directa respecto del suelo de BN. Esto estaría determinado por la formación de terrones antrópicos en suelos agrícolas (Rojas et al., 2013) y por el alto contenido de carbono orgánico (CO) lábil o particulado en suelos forestales

(Rojas, 2012); sin embargo, en estos estudios no se hallaron relaciones suficientes para ajustar un modelo predictivo para una única serie de suelo. Posteriormente, se realizaron mediciones en suelos de textura contrastante y contenidos de CO variables, dado que la textura es un parámetro que determina el desarrollo de la estructura resistente a la erosión y controla la dinámica del CO (Colazo and Buschiazzo, 2015). Los resultados obtenidos indicaron que suelos de textura arenosa presentan valores más altos de FE que los de textura fina, y que en estos últimos la FE es más dependiente de la vegetación y del manejo productivo (Rojas et al., 2014).

El objetivo principal del presente trabajo fue desarrollar una ecuación de predicción para la FE para dos suelos del SO de la Provincia del Chaco (Argentina) a partir de la textura, el contenido de CO y un factor que indica suelo forestal en situación de BN. Contar con un modelo matemático que permita predecir la EE será útil para estimar cuantitativamente el riesgo de erosión a nivel provincial o regional por medio de un SIG (Colazo, 2014), lo cual es fundamental para la planificación de sistemas productivos y la prevención del manejo inapropiado del suelo (Zobeck et al., 2000).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron muestras provenientes de dos series de suelo: Caburé (Cd) y Vargas (Vm), seleccionadas por tener texturas y contenidos de CO contrastantes, las cuales fueron extraídas en los departamentos Chacabuco y 9 de Julio, respectivamente, situados ambos en el SO chaqueño, dado que es el área con mayor CUS e intensidad agrícola de la provincia (**Figura 1**).

La serie Cd se encuentra presente en 27 unidades cartográficas en el área de estudio, cubriendo 2 446 ha, y la serie Vm en 78 unidades cubriendo 10 365 ha. La serie Cd es un Haplustalf Údico, de origen loésico, presente en lomas tendidas, evolucionadas, de relieve normal. El perfil representativo de la misma establece que el horizonte A, de 14 cm de profundidad, posee 25 % de arcilla, 50 % de limo y 24,2 % de arena fina (74-250 μm), descrito como de textura franca. Se encuentra originalmente bajo bosque alto con fachinal y vegetación basal (Ledesma and Zurita, 1992).

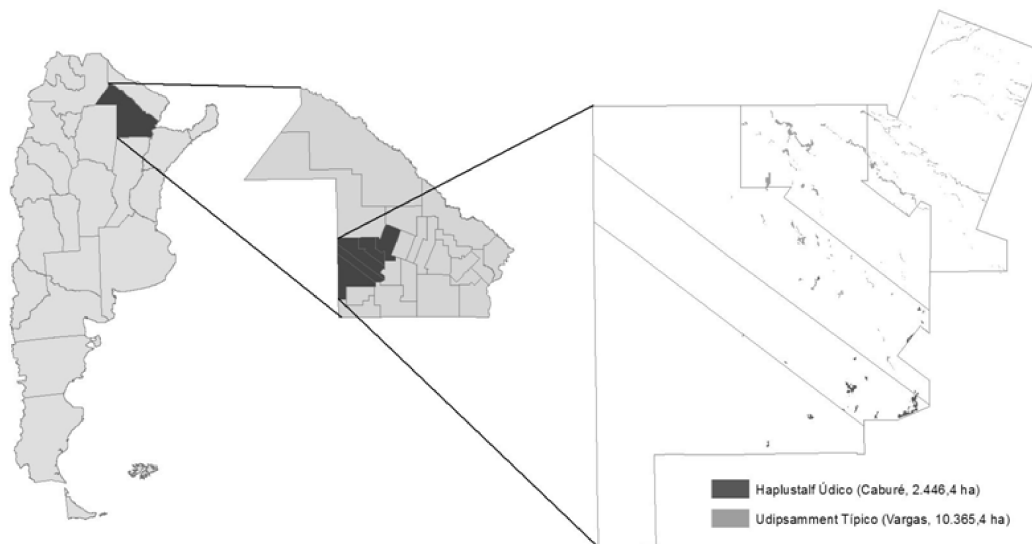


Figura 1. Series Caburé (Haplustalf Údico) y Vargas (Udipsamment Típico) en el SO de la Provincia del Chaco.

La serie Vm es un Udipsamment Típico, de origen aluvial local, que se encuentra en antiguos cauces de ríos o paleocauces (conocidos localmente como caños) totalmente colmatados, de relieve

normal. El perfil representativo de la serie establece que el horizonte A, de 24 cm de profundidad, posee 12,6 % de arcilla, 17,1 % de limo y 69,3 % de arena fina, descripto como de textura franco arenosa fina. Se encuentra bajo vegetación de pastizal con arbustos potencialmente invasores (Ledesma and Zurita, 2002). Esta clasificación fue determinada a nivel de semidetalle, escala 1: 50 000, y conforma la Carta de Suelos de la Provincia del Chaco. Este dato es importante ya que la escala usada en la estimación de la erosión puede tener un profundo impacto sobre la estimación final y la variación natural de los suelos, a lo largo de una región, puede producir variaciones en las estimaciones (Zobeck et al., 2000).

El muestreo se llevó a cabo en áreas representativas de cada serie, seleccionando 10 sitios bajo diferentes usos. En la serie Cd se tomaron muestras bajo BN, alfalfa, lote en barbecho, soja y pastizal. En la serie Vm se tomaron muestras de lotes con girasol, pastizal, rastrojo de girasol, algodón y soja. Las 10 muestras fueron extraídas sin disturbar de los primeros 5 cm superficiales del perfil del suelo y por triplicado. Las mismas se secaron al aire y se tamizaron con tamiz rotativo (Chepil, 1962). Se calculó la FE con la ecuación 1.

$$FE (\%) = \frac{P}{P_t} \times 100 \quad (1)$$

Siendo P el peso (g) de los agregados menores a 0.84 mm y Pt el peso inicial (g) de la muestra total. Se determinó CO oxidable por mezcla oxidante fuerte, escala semi-micro basado en el método propuesto por Walkley y Black (IRAM, 2009). El valor de cada clase textural se obtuvo de la descripción del perfil modal de cada serie disponible en la carta de suelos (Ledesma and Zurita, 1992, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se estudiaron en primer lugar las correlaciones entre las fracciones texturales arena, limo y arcilla, el cociente arena/arcilla (Are/Arc), el CO y variables indicadoras creadas en relación al manejo IB (bosque nativo), IP (pastizal) e IA (agrícola). Es de observarse que aunque la variable respuesta siempre debe ser numérica, no deben serlo siempre las variables explicativas, con lo cual se pueden introducir variables indicadoras de distintas magnitudes (Barón López and Téllez Montiel, 2004).

Se halló alta correlación positiva de la FE con el cociente Are/Arc, coincidiendo con lo informado por Lopez et al. (2007); correlación negativa entre FE y CO y alta correlación positiva entre la variable indicadora IB y el CO. Se utilizó IB como indicador dicotómico que codificó como 0 (cero) o 1 (uno), siendo IB=1 los suelos de BN e IB=0 a los destinados a uso agrícola o pastizal. Se realizó un análisis por medio de gráficos de dispersión (**Figura 2**), donde se visualizaron diferentes tipos de relaciones entre la FE y la textura sugiriendo linealidad en el Udipsamment y relación cuadrática en el Haplustalf, y mostrando aumento de la FE en suelos de alto contenido de CO como los suelos de BN de este último. Otros autores informaron previamente relaciones no lineales entre la estabilidad estructural en seco, que es un parámetro altamente relacionado con la FE y el CO (Colazo and Buschiazzi, 2010), logrando ajustar un modelo logarítmico para estos parámetros.

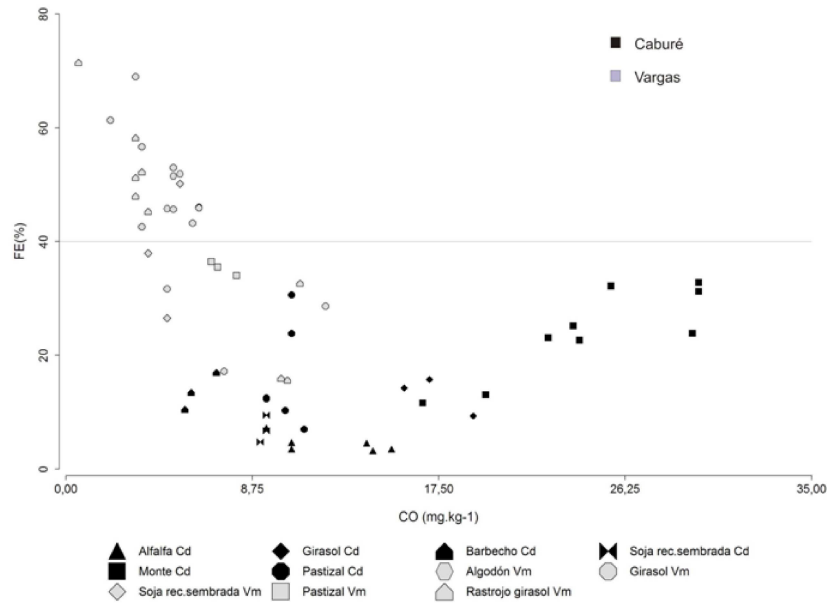


Figura 2. FE en función del contenido de CO en las series Cd (Haplustalf Údico) y Vm (Udipsamment Típico).

Se probó con todas las variables un modelo de regresión lineal múltiple utilizando el cociente Are/Arc , CO y las variables indicadoras dicotómicas (IB, IP e IA), seleccionando, por medio del método de *Stepwise*, el modelo más parsimonioso en base al criterio de información Akaike (AIC). El modelo seleccionado explicó la variación de la FE a partir de Are/Arc , CO e IB, incluyendo un término cuadrático para CO. En el mismo IB=1 para los suelos de BN. La ecuación 2 fue la que mejor predijo la FE según estos parámetros.

$$FE = 42 + 4.17 \text{ Are/Arc} + 9.77 \times IB - 4.90 \times CO + 0.14 \times (CO)^2 \quad (2)$$

El modelo presentó un p valor <0.001 y un R^2 ajustado de 0.79, significando que un 79 % de la variabilidad de la FE estaría explicada por las variables independientes. Se cumplieron los supuestos de heterocedasticidad, incorrelación y normalidad, esta última verificada a través del test de *Shapiro Wilkis*. Se corrió la ecuación 2 con los datos medidos y se obtuvo un ajuste de un 0.79 (**Figura 3**). La mayor subestimación de la FE se registró en un sitio de pastizal perteneciente a la serie Cd, con mayor contenido de fracción fina, y la mayor sobreestimación en suelos agrícolas de la serie Vm, con mayor contenido de fracción arenosa fina.

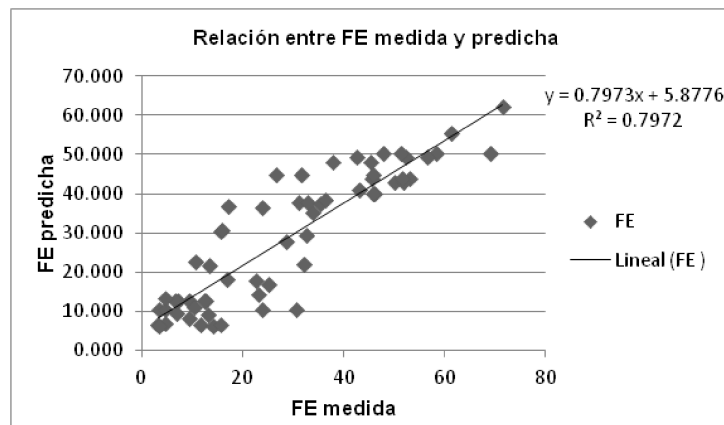


Figura 3. Ajuste entre los valores medidos y predichos de FE para las dos series de suelo.

Se han informado mayores tasas de EE en relación a la agregación y la cobertura vegetal, aunque el tipo de transporte de las partículas determinado por el viento varíe principalmente con la composición textural del suelo (Whicker et al., 2008; Buschiazzo et al., 2009). De todos modos, pequeñas diferencias en la textura pueden traer impactos profundos en las estimaciones de EE (Zobeck et al., 2000).

La relación positiva entre contenidos crecientes de CO y mayor FE se presentó únicamente en el suelo de textura franca con mayor contenido de fracción fina. Esto no coincide por lo informado por Iturri et al. (2016), quienes hallaron menor FE en suelos de vegetación nativa con mayor contenido de CO, en relación a suelos adyacentes cultivados. El hecho de que el modelo ajuste mejor introduciendo una variable de BN, que a su vez en el conjunto de datos presenta los valores más altos de CO, probablemente estuvo relacionado con la proporción de fracción liviana o lábil respecto del CO total. Se ha informado para suelos de BN de Chaco una relación promedio CO particulado/CO total alta (48 %) en el horizonte superficial de un Haplustept Údico, frente a 37 % promedio en lotes adyacentes de la misma serie (Rojas, 2012). La alta FE en suelos con alto CO indica mayor susceptibilidad a la EE en suelos recientemente destinados a CUS. Por otra parte, se ha sugerido recientemente tener en cuenta que parte del contenido de material fino del BN podría provenir de un proceso de sedimentación de partículas transportadas por el viento desde los suelos vecinos cultivados (Iturri et al., 2016), lo cual sugiere la posibilidad de que parte de la mayor proporción de material particulado en el CO pueda estar compuesta por residuos de los cultivos adyacentes.

CONCLUSIÓN

La textura, el contenido de CO y el factor que representa el suelo bajo BN fueron útiles para hallar una ecuación de ajuste de predicción de la FE en los suelos de texturas contrastantes estudiados del SO de la provincia de Chaco. Los suelos bajo vegetación de BN, con mayor contenido de CO y fracción fina, analizados en este trabajo, determinaron mayor FE, por lo tanto, mostraron ser más susceptibles a la EE.

Sería de gran interés aplicar esta ecuación en otros sitios con BN que han sufrido CUS, para comprobar el ajuste con los mismos parámetros, cuantificar el riesgo de pérdida de suelo por EE y generar un modelo de predicción orientado a generar SIG útiles para la toma de decisiones.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó en el marco del PE 1134022: Monitoreo de la erosión eólica en Argentina (PNSUELOS) de INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria).

BIBLIOGRAFÍA

- Barón López, F.J., and F. Télez Montiel. (2004). Capítulo 6: Regresión múltiple. p. 35–43. *In* Apuntes de Bioestadística.
- Buschiazzo, D.E., J.E. Panebianco, G. Guevara, J. Rojas, J.J. Zurita, D. Bran, J. Gaitan, and P. Hurtado. (2009). Incidencia potencial de la erosión eólica sobre la degradación del suelo y la calidad del aire en distintas regiones de la Argentina. *Cienc. del Suelo* 27(2): 255–260.
- Chepil, W.S. (1962). A Compact Rotary Sieve and the Importance of Dry Sieving in Physical Soil Analysis¹. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 26(1): 4.
- Colazo, J. (2014). Distribución espacial del riesgo a la erosión eólica en la provincia de San Luis. *En Boletín IDERA* 15. Available at

- http://www.idera.gob.ar/portal/sites/default/files/Boletin_IDERA_15_ok.pdf.
- Colazo, J.C., and D.E. Buschiazzo. (2010). Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina. *Geoderma* 159(1-2): 228–236.
- Colazo, J.C., and D. Buschiazzo. (2015). The Impact of Agriculture on Soil Texture Due to Wind Erosion. *L. Degrad. Dev.* 26(July 2014): 62–70.
- Global Forest Watch. 2016. : <http://www.globalforestwatch.org/>.
- Goytía, S.Y. 2014. Análisis de los factores que inciden en el cambio del uso del suelo en el Departamento Comandante Fernández - Provincia del Chaco. Tesis de Maestría. UNICEN. 76 p.
- IRAM, S. (2009). Norma IRAM- SAGPyA 29571-2:2009. Determinación de materia orgánica en suelos. Parte 2- Determinación de carbono orgánico oxidable por mezcla oxidante fuerte, escala semi-micro.
- Iturri, L.A., F. AVECILLA, G.G. Hevia, and D.E. Buschiazzo. (2016). Comparing adjacent cultivated and “virgin” soils in wind erosion affected environments can lead to errors in measuring soil degradation. *Geoderma* 264: 42–53 Available at <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.09.017>.
- Ledesma, L.L., and J.J. Zurita. (1992). Los Suelos del Departamento Chacabuco. : 165 Available at http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_informe_mapa_de_suelo_chacabuco.pdf.
- Ledesma, L.L., and J.J. Zurita. (2002). Los Suelos del Departamento 9 de Julio. : 242 Available at http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_informe_mapa_de_suelo_9_de_julio.pdf.
- Lopez, M. V., J.M. de Dios Herrero, G.G. Hevia, R. Gracia, and D.E. Buschiazzo. (2007). Determination of the wind-erodible fraction of soils using different methodologies. *Geoderma* 139(3-4): 407–411.
- Oliva, G., J. Gaitan, and D. Ferrante. (2016). Humans Cause Deserts: Evidence of Irreversible Changes in Argentinian Patagonia Rangelands. p. 363–386. *In* The End of Desertification?
- Rojas, J.M. (2012). Indicadores de calidad de suelos desmontados y destinados a la producción agrícola en el Área Piloto de la Ecorregión Chaqueña. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Tucumán. 151 p.
- Rojas, J.M., De Buschiazzo, and O. Arce. (2013). Parametros edáficos relacionados con la erosión eólica en inceptisoles del Chaco. *Cienc. del Suelo* 31(1): 133–142.
- Rojas, J.M., J. Prause, G.A. Sanzano, O.E.A. Arce, and M.C. Sánchez. (2016). Soil quality indicators selection by mixed models and multivariate techniques in deforested areas for agricultural use in NW of Chaco, Argentina. *Soil Tillage Res.* 155: 250–262 Available at <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198715300088> (verified 7 September 2015).
- Rojas, J.M.; Goytía, S.Y.; Roldán M.F.; Buschiazzo, D.E. (2014). Fracción erosionable en suelos con texturas contrastantes del sudoeste chaqueño. *In* XXIV Congreso Argentino de Ciencia del Suelo, y II Reunión Nacional “Materia Orgánica y Sustancias Húmicas. Bahía Blanca, Argentina.
- Whicker, J.J., J.E. Pinder, and D.D. Breshears. (2008). Thinning semiarid forests amplifies wind erosion comparably to wildfire: Implications for restoration and soil stability. *J. Arid Environ.* 72(4): 494–508.
- Zobeck, T.M., N.C. Parker, S. Haskell, and K. Guoding. (2000). Scaling up from field to region for wind erosion prediction using a field-scale wind erosion model and GIS. *Agric. Ecosyst. Environ.* 82(1-3): 247–259.