# ESTIMACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS EN SUELOS TEMPLADOS EMPLEANDO EL MODELO FRACTAL

**Gelati, P.R.[1*], G.O. Sarli[1], M. Záccaro[1], A. Gonzalez Prates[1], R.R. Filgueira[1.2]**

[1] Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales - UNLP; [2] Conicet; Av. 60 y 119 s/n, (1900), Prov. de Buenos Aires, prgelati@gmail.com

## RESUMEN

La textura es una de las características más estables de los suelos, su determinación en laboratorio es quizá de las medidas físicas más frecuente realizada en los laboratorios. La misma está relacionada con otras propiedades físicas, físico-químicas, químicas, taxonómicas y de manejo. El análisis del tamaño de partículas se utiliza a menudo en la ciencia del suelo para evaluar la textura, como resultado se obtienen los contenidos de arena, limo y arcilla, y con estos, empleando un triángulo textural, la clase textural. Sin embargo, suelos de una misma clase pueden, tener diferentes distribuciones de tamaño de partículas (DTP). Se obtendría una descripción más precisa de la textura mediante la definición de una función que describa la DTP. Se han probado diferentes funciones, matemáticas y modelos de base física como el fractal. Los resultados del análisis textural, dependen de los pretratamientos. Se hipotetizó que la distribución de tamaño de partículas es de tipo fractal y puede emplearse este modelo teórico para estimarla. Los objetivos del trabajo fueron obtener el modelo fractal empleando los valores experimentales de arena y arcilla y hallar la correlación entre la curva experimental, medida en laboratorio empleando el método de la pipeta, y los valores obtenidos empleando el modelo fractal calculado a partir de los porcentajes de arena y arcilla. Los suelos fueron de clases franco limosos y franco arcillo limosos, se analizó la masa acumulada entre 2 y 50 µm. La correlación entre la curva fractal y la experimental obtuvo coeficientes R>0,97, describiendo más del 90% de la masa experimental. Se concluye, que a partir de valores confiables de arena y arcilla puede estimarse la DTP en estas clases texturales empleando el modelo fractal propuesto.

**PALABRAS CLAVE:** textura, fragmentación, modelo fractal

## INTRODUCCION

La distribución de tamaño de partículas (DTP), es una de las características físicas más estables en los suelos. El interés en su determinación, se debe a que está relacionada con otras propiedades físicas y químicas, como ser: porosidad, interacción con los fluidos y solutos, capacidad de intercambio catiónico, susceptibilidad a la erosión y desertificación, entre otras (Campbell & Shiozawa, 1992; Vdovic *et al.,* 2010). Habitualmente en los laboratorios de suelos se evalúa la textura y empleando un triángulo de triple entrada se obtiene la clase textural (Gee & Bauder 1986). La textura puede calcularse a partir de la DTP, sin embargo, suelos de una misma clase textural pueden tener diferentes DTP. Se obtendría una descripción más precisa de la misma, mediante la definición de una función que describa la DTP (Bitelli *et al.*, 1999). Se han probado diferentes modelos matemáticos y físicos.

Dado que para estudiar la DTP, o la textura, las muestras de suelos deben dispersarse los resultados dependen de los pretratamientos realizados. (Eshel *et al.,* 2004.; Dur *et al.*, 2004; Filgueira *et al.,* 2006; Filgueira *et al.,* 2009; Gelati *et al.,* 2008, 2010, 2016).

Se hipotetizó que la distribución de tamaño de partículas de los suelos estudiados es de tipo fractal y puede emplearse este modelo teórico para estimarla empleando los datos texturales.

Los objetivos del trabajo fueron obtener el modelo fractal empleando los valores de arena y arcilla y hallar la correlación entre la curva experimental, medida en laboratorio empleando el método de la pipeta, y los valores obtenidos empleando el modelo fractal.
Puesto que las DTP dan información más completa del suelo, encontrar un modelo que mediante datos existentes permita estimar la DTP, podrías resultar interesante.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó con ocho muestras de suelos superficiales de la Pampa Ondulada (0-15 cm). Las mismas fueron georreferenciadas y empleando descripciones de GeoINTA, Lanfranco y Carrizo, 1987, se asociaron a series descriptas. Los suelos pueden observarse en la Tabla 1. Experimentalmente, la distribución de tamaño de partículas, se obtuvo mediante el método de la pipeta (Gee & Bauder, 1986), eliminando materia orgánica con peróxido de hidrógeno y calor, sodio como dispersante químico y agitado rotativo por 18 a 24 h. Las alícuotas se tomaron con una pipeta aforada de 25 mL, realizando las extracciones a los tiempos calculados por Stokes, para obtener diámetros aparentes de 2, 5, 10, 25 y 50 µm en función de la temperatura. Las arenas se cuantificaron por tamizado.

Tabla 1. Georreferenciación de las muestras y series de suelos asociados

| Suelo Nº | Latitud | Longitud | Serie | Taxonomía |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 34,1155 | 60,0672 | Arrecifes (Ar) | Argiudol Acuico, Fina, illítica, térmica |
| 2 | 33,8809 | 59,8592 | Portela (Po) | Argiudol Vértico, Fina, illítica, térmica |
| 3 | 33,7107 | 60,0359 | Ramallo (Ra) | Argiudol Vértico, Fina, illítica, térmica |
| 4 | 33,8792 | 60,0374 | Urquiza (Ur) | Paleudol Típico, Fina, illítica, térmica |
| 5 | 34,9867 | 57,9968 | Bombeador (Bo) | Argiudol típico, arcillosa fina illítica térmica |
| 6 | 34,9855 | 57,9968 | Centeno (Cn) | Argiudol típico, arcillosa fina illítica térmica |
| 7 | 34,9880 | 57,9944 | Arroz (Az) | Ocracualf típico, arcillosa fina, illítica térmica |
| 8 | 35,0301 | 57,6752 | Magdalena (Md) | Paleudol Vértico, Muy Fina, illítica, térmica |

El modelo fractal de masas propuesto por (Tyler y Wheatcraft, 1992) igualado a la relación de diámetros (Gelati *et al.,* 2019) se presenta en la Ecuación 1. Donde $M_T$, es la masa total de la DTP, Mp es la masa parcial acumulada hasta el diámetro aparente $\emptyset_p$ en micrómetros (µm), $\emptyset_m$ (µm) es el diámetro aparente máximo para el comportamiento fractal y D es la dimensión fractal de fragmentación. La Ecuación 2 es la expresión potencial simplificada de la Ecuación 1, donde aparece una constante de proporcionalidad "c", que es individual para cada DTP.

$$\frac{M_p}{M_T} = \left(\frac{\emptyset_p}{\emptyset_m}\right)^{3-D} = M_p = \frac{M_T}{(\emptyset_m)^{3-D}} \times \left(\emptyset_p\right)^{3-D} \quad \textit{Ecuación 1}$$

$$M_p = c\,\emptyset_p^{3-D} \quad \textit{Ecuación 2}$$

Operando matemáticamente con el modelo fractal y la identidad textural del suelo, obtuvimos las Ecuaciones 3 y 4 (Gelati PR, 2019) que arrojan los valores de D y c, a partir de los contenidos de arena y arcilla.

$$D = 3 - \frac{log\left(\frac{m_{arc}}{100-m_A}\right)}{log\left(\frac{\emptyset_{arc}}{\emptyset_L}\right)} \quad \textit{Ecuación 3}$$

$$c = m_{arc}\, 2^{D-3} \quad \textit{Ecuación 4}$$

Se mantiene la nomenclatura para D y c, $m_{arc}$ y $m_A$ son los contenidos porcentuales de arcilla arena, $\emptyset_{arc}$ y $\emptyset_L$ los diámetros de la arcilla y el limo respectivamente, medidos en µm.
La DTP experimental de cada suelo se contrastó con la DTP fractal calculada con la Ecuación 2, el ajuste entre ambas, se evaluó mediante el coeficiente de correlación R, empleando el software InfoStat (Di Rienzo *et al.,* 2018).

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los suelos analizados correspondieron a clases texturales franco arcillo limoso a franco limoso. Estas clases, generalmente presentan distribuciones fractales. (Filgueira *et al.,* 2006, Gelati *et al.,* 2019).

Habitualmente, en un trabajo de fractales y partículas, se ajustarían los valores experimentales y mediante regresiones se estiman los parámetros c y D. En este trabajo se buscó estimar la DTP, empleando el modelo fractal estimado a partir de los valores texturales de arena y arcilla, que son datos generalmente conocidos en un suelo, mas no su DTP.

En la Figura 1 se representaron los valores experimentales y los calculados con el modelo fractal. El rango de diámetros aparentes analizado estuvo comprendido entre 2 y 50 µm y los valores experimentales de los porcentajes acumulados de limo más arcilla, fue superior al 90% en todos los casos.

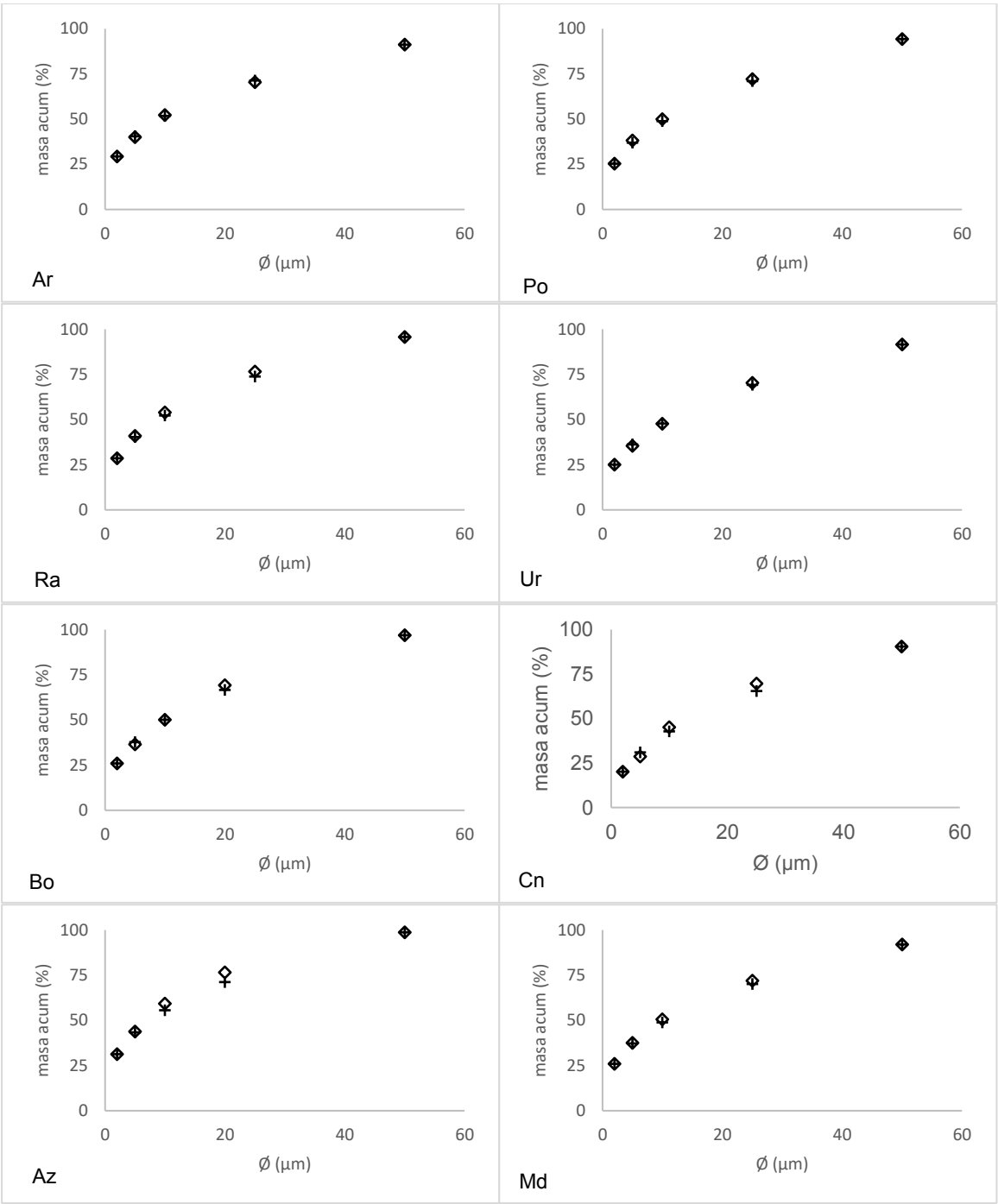


Figura 1. Valores experimentales acumulados (◊) y valores estimados por el modelo fractal (+)

En la Tabla 2 se presentan valores texturales de arena, limo arcilla y los coeficientes de correlación entre la DTP experimental y la estimada por el modelo. Los niveles de correlación fueron elevados, siendo el Argiudol de la serie Bo el que obtuvo el menor valor, con R=0,987. El elevado nivel de correlación, obtenido para 5 subdivisiones de los limos, permite inferir que la DTP en el rango estudiado es posible estimarla, empleando el modelo de la forma en que está propuesto

Tabla 2.Valores texturales de A (%) porcentaje de arena, L (%) porcentaje de limo, arc (%) porcentaje de arcilla, evaluados por el método de la pipeta, R coeficiente de correlación entre los valores experimentales de la distribución de tamaño de partículas y los calculados por el modelo fractal obtenido con los contenidos de arena y arcilla para cada suelo.

| Serie | A (%) | L (%) | arc (%) | R |
|---|---|---|---|---|
| Ar | 8,9 | 61,8 | 29,3 | 1,000 |
| Po | 5,8 | 68,9 | 25,4 | 1,000 |
| Ra | 4,2 | 67,1 | 28,6 | 0,999 |
| Ur | 8,4 | 66,6 | 25,0 | 0,995 |
| Bo | 3,2 | 70,9 | 25,9 | 0,987 |
| Cn | 9,6 | 70,3 | 20,2 | 0,990 |
| Az | 1,3 | 67,4 | 31,3 | 0,996 |
| Md | 8,0 | 66,0 | 26,0 | 0,992 |

El modelo fractal resultó el marco teórico adecuado para obtener la distribución de tamaño de partículas de los suelos estudiados entre 2 y 50 µm. Filgueira *et al.,* (2004) y Gelati *et al.,* (2019), encontraron suelos que no se ajustaban a este modelo teórico, pero correspondían a clases texturales más gruesas. Sin embargo, Gelati *et al.,* (2017), encontraron que suelos de clase textural, franco y franco arenosos de la Pampa Arenosa, si podían ser descriptos por el modelo fractal hasta el dominio de los limos, ampliando el alcance del modelo a otras clases texturales.

En estos suelos analizados, es posible estimar la distribución de tamaño de partículas empleando el modelo fractal, a partir de los datos texturales. Una fortaleza del modelo es que utiliza dos fracciones solamente y sus determinaciones resultan simples por el método de la pipeta. Puesto que los resultados del análisis textural dependen de los pretratamientos y existen diferentes criterios que arrojan resultados diferentes según el método analítico, resulta imprescindible conocer los protocolos empleados.

## CONCLUSIONES

Se concluye que la distribución de tamaño de partículas de los suelos franco limosos- franco arcillo limosos puede ser estimada empleando el modelo fractal propuesto, derivado de los valores de arcilla y arena.

Continuando con este avance, se seguirá estudiando la aplicación del modelo propuesto, en otros suelos

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a las cátedras de Física Aplicada y Edafología de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. UNLP

## BIBLIOGRAFIA

Bittelli M; GS Campbell & M Flury. 1999. Characterization of particle-size distribution in soil with a fragmentation model. Soil Sci. Soc. Am. J. 63, 782–788.

Campbell G & S Shiozawa. 1992. Indirect methods for estimating the hidraulic propierties of unsaturated soils. University of California, Riverside., Ch. Prediction of hydraulic propierties of soils using particle-size distribution and bulk density data, pp. 317-328.

Di Rienzo JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo, InfoStat versión 2018, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, URL http://www.infostat.com.ar

Dur, JC; F Elsass; V Chaplain & D Tessier. 2004. The relationship between particle size distribution by laser granulometry and image analysis by transmission electron microscopy in a soil clay fraction. Eur J Soil Sci. 55: 265-270.

Eshel, G; GJ Levy; U Mingelgrin & MJ Singer. 2004. Critical evaluation of the use of the laser diffraction for particle size distribution analysis. Soil Sci Soc Am J. 68: 736-743.

Filgueira RR; PR Gelati; LL Fournier & GO Sarli. 2004. ¿Es la distribución de tamaño de partículas de un suelo siempre fractal? Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná Entre Ríos, Argentina.

Filgueira RR; LL Fournier; CI Cerisola; PR Gelati y MG García. 2006. Particle-size distribution in soils; a critical study of the fractal model validation. Geoderma, Volume 134, Issues 3-4, 327-334.

Filgueira RR; PR Gelati; LL Fournier; GO Sarli y CG Soracco. 2009. Distribución de tamaño de partículas del suelo; su estudio con un modelo fractal. XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Costa Rica.

Gee GW & Bauder. 1986. Particle size analysis. methods of soil analysis, part 1. Physical and minerological methods. Agronomy Monograph Nº 9. Second Edition. Pp. 383-411.

Gelati PR, GO Sarli, LA Lozano y RR Filgueira. 2008. Arcilla: tiempos necesarios para estimar su contenido con hidrómetro según pretratamientos. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, San Luis. Argentina.

Gelati PR, GO Sarli, LA Lozano, CG Soracco y RR Filgueira. 2010. Microagregación: análisis mediante curvas de sedimentación, XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, Santa Fé, Argentina.

Gelati PR; GO Sarli & RR Filgueira. 2016. Estudio fractal de la distribución de partículas y pseudopartículas en suelos de la pradera pampeana. Actas del XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Rio Cuarto.

Gelati PR, GO Sarli, NE Machetti, CG Soracco y RR Filgueira. 2017. Estudio fractal de la distribución de tamaño de partículas y pseudopartículas en suelos de la pampa arenosa de Buenos Aires.

Gelati PR, GO Sarli; LA Lozano; RR Filgueira. 2019. Estudio fractal de la distribución de partículas y pseudopartículas en suelos de la pradera pampeana. Ciencia del Suelo (Argentina) 37 (1): 147-157.

Gelati PR. 2019. Distribución del tamaño de partículas y microagregados en suelos de la Pradera Pampeana: estudio mediante la geometría fractal. Tesis Fac de Cs Agrarias y Forestales, UNLP, 166 páginas. Inédito.

GeoINTA. © Copyright 2008. INTA. Buenos Aires, Argentina. Disponible en: http://geointa.inta.gov.ar/.

Lanfranco, JW y R Carrizo. 1987. Carta de suelos de la estación experimental Central Julio Hirschhörn de la FCAyF/UNLP. Inédito.

Tyler SW & SW Wheatcraft. 1992. Fractal scaling of soil particle-size distributions: analysis and limitations. Soil Sci. Soc. Am. J. 56, 362–369.

Vdovic N; J Obhodas & K Pikelj. 2010.Resvisiting the particle-size distribution of soils: comparison of different methods and simple pre-treatments. European Journal of Soil Science, 61, 854-864.