

**Distribución del tamaño de partículas
y microagregados en suelos de la Pradera Pampeana:
estudio mediante la geometría fractal**

Tesis presentada para obtener el título de Doctor de la Facultad Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata

Pablo Raúl Gelati

Ingeniero Forestal – FCA y F- UNLP

Director

Dr. Roberto R. Filgueira

FCAyF- UNLP. CONICET

Codirector

Lic. Guillermo O. Sarli

FCAyF - UNLP

Julio de 2020



Facultad de
Ciencias Agrarias
y Forestales



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

Resumen

La granulometría es la característica física más estable del suelo, su conocimiento es fundamental, ya que está relacionada con la fertilidad, el manejo y la clasificación taxonómica. Por otro lado, la granulometría es el principal ingrediente de las ecuaciones de transferencia edafológica. Puede cuantificarse de manera completa mediante el análisis de la distribución de tamaño de partículas (DTP), o en forma resumida a partir de la determinación de textura, donde solamente se estiman los valores totales de las fracciones arena, limo y arcilla. Actualmente, para los relevamientos cartográficos se incorporan valores intermedios, dentro de la fracción limo (limos 2 – 20 μm) y arenas muy finas (50 – 75 μm).

El modelo fractal ha sido empleado como marco teórico para describir la DTP de los suelos. Un objeto fractal está compuesto de una cantidad de estructuras similares superpuestas, visibles a cualquier nivel de detalle. Esta propiedad se conoce como autosimilitud. El material en un objeto fractal se distribuye en forma heterogénea, pero no al azar, de forma que un patrón de generación se ve idéntico al menos en el sentido estadístico e independientemente de la amplificación con que se esté observando. En un fractal matemático los detalles se ven idénticos en cualquier nivel de amplificación, mientras que en un fractal natural es esperable que el nivel de repetición de la propiedad particular sea limitado a varios órdenes de magnitud.

Se plantearon como hipótesis: La distribución de partículas y microagregados de suelos de clima templado de la pradera pampeana responden a una distribución fractal. Se puede obtener información sobre el estado de la microestructuración de un suelo a través del estudio de la distribución de partículas, microagregados y el análisis fractal de fragmentación. Los objetivos fueron investigar el comportamiento fractal de la distribución de tamaños de partículas (DTP) y de la distribución de tamaño de microagregados (DTM) del suelo y asociar la distribución de tamaño de partículas con el material original y los procesos de transporte y sedimentación.

Se estudió la DTP y la DTM en muestras de suelos de la provincia de Buenos Aires en un transecto de 500 km, desde el Partido de Magdalena hasta Trenque Lauquen. Con la ubicación de los sitios de muestreos y determinaciones de laboratorio, las muestras se asociaron con series descriptas en cartas de suelos. Con el criterio estadístico de grupos de K media se formaron tres grupos de análisis. El Grupo 1, compuesto por suelos franco y franco arenosos, el Grupo 2 por areno franco y el Grupo 3 por franco limosos y franco arcillo-limosos.

Se realizaron determinaciones de la DTP sin materia orgánica por el método de la pipeta tradicional y determinaciones de la DTM sobre muestras sin dispersar con materia orgánica. De la

curva de DTM se obtuvo la textura aparente formada por los porcentajes correspondientes a los microagregados tamaño arena, limo y arcilla.

Los resultados de las DTP fueron contundentes: Los suelos del G1 presentaron un comportamiento fractal intermedio, puesto que fue necesario recurrir a dos modelos fractales para explicar la DTP hasta el 95% de la masa total. El G2 reunió a los suelos no fractales y el G3 a los suelos con DTP fractal donde un solo modelo describe hasta el 98% de la masa. La masa acumulada de las arenas con diámetro superior a 150 μm mostró un comportamiento no fractal en todos los casos. Las dimensiones fractales de fragmentación (D) de los Grupos 1 y 3 no se diferenciaron estadísticamente mientras que el factor de proporcionalidad, el parámetro C, sí mostró diferencias entre los Grupos. Como resultado, no citado hasta el momento, el valor de C fue considerado esencial para definir el modelo fractal de los suelos de cada Grupo. La D brinda información sobre el escalamiento, pero esta información es incompleta para definir un suelo y es imprescindible contar con el valor de C.

Otro aporte, fue el desarrollo de un modelo para estimar los parámetros fractales D y C a partir de solo dos datos, el porcentaje de arena y arcilla. Los parámetros así estimados no se diferenciaron de los obtenidos por la vía experimental.

La microestructuración de las partículas por acción de la materia orgánica resultó de tipo fractal. Las diferencias entre las áreas de las curvas de DTM y la DTP fueron significativas. Se propuso un índice de microestructuración integrando los modelos fractales de partículas y microagregados.

El efecto de la materia orgánica sobre la fracción mineral en los tres Grupos fue similar, incrementó el porcentaje de la fracción de arenas aparentes respecto de la real, mientras que los porcentajes de limos y arcillas aparentes fueron menores que los reales. Estos resultados fueron confirmados con las fotografías tomadas a través de un microscopio óptico.

La relación entre las fracciones aparentes y la materia orgánica fue diferente en cada Grupo analizado. Los Grupos 1 y 2 no mostraron relación entre ambas variables. El Grupo 3 en cambio, mostró relaciones significativas con la materia orgánica. En los suelos del G3, el estado de microestructuración dependió de los contenidos de materia orgánica del suelo.

Se desarrolló un modelo teórico, donde es posible explicar la DTP de los suelos a partir de un Material Generador de naturaleza fractal, el transporte eólico y la sedimentación diferencial del material original. Con este modelo se puede explicar que a partir de un Material Generador de naturaleza fractal es esperable encontrar suelos fractales (como los del G3) formados con el material original más fino; suelos de naturaleza fractal intermedia, donde la pérdida de partículas finas hace

necesario aplicar dos modelos para describirlos, y suelos de naturaleza no fractal (G2) los que se transformaron en suelos residualmente más gruesos. Los resultados experimentales obtenidos son consistentes con el modelo propuesto. Al tener igual "D" se asume que pertenecen al mismo Material Generador, y las diferencias se observan solamente en el parámetro C con valores medios de 19,2 en el G3 y 10,2 en el G1.

Se concluye que el proceso de microestructuración entre partículas minerales y materia orgánica, modificó la textura aparente favoreciendo el funcionamiento del sistema suelo, y que la DTP de los suelos de la región Pampeana deriva de un Material Generador fractal. Situaciones locales de materiales originales con DTP fractales, DTP de fractalidad intermedia o no fractales, son consecuencia del proceso eólico de transporte y depósito sobre este Material Generador.

Summary

The soil particle size (SPS) is the most stable physical property of a soil and its knowledge is essential because it is related to the fertility, soil handling and taxonomic classification. On the other hand, the SPS is the main ingredient to the edaphology transfer equations. The SPS can be fully quantified with the particle size distribution (PSD) analysis or briefly through the texture calculation where only the total percentage of sand, clay and silt are considered. Nowadays cartographic surveys include intermediate values within the silt fraction from 2 to 20 μm and very fine sand from 50 to 75 μm .

The fractal model has been used as a theoretical frame to describe the PSD of soils. A fractal object is formed by similar superimposed structures that can be seen at every level of detail. This property is known as self-similarity. On a fractal object the material is distributed on a diverse manner but not randomly and, statistically speaking; the generation pattern is identical and independent of the amplification factor. On a mathematical fractal the details of the pattern are exactly the same at every amplification level while in a natural fractal the repetition pattern is expected to be seen up to certain levels of amplification.

This work assumed as hypothesis that PSD and micro-aggregates of temperate climate rolling pampas soils have a fractal distribution. Information about the condition of micro-structures of a soil can be obtained thru the particles and micro-aggregates distribution analysis and fractal fragmentation analysis. The targets of this work were to investigate the fractal behavior of the soils PSD, the micro-aggregates size distribution (MSD) and the connection between soils PSD and the original material, process of transportation and sedimentation.

This work considered the PSD and MSD on soil samples of a 500km transect within Buenos Aires province, from Magdalena to Trenque Lauquen counties. Knowing the samples location and after laboratory analysis samples were classified using soil charts. Three analysis groups were configured using a statistics criteria cluster K-media, the variables. Group 1 including loam and sandy loam, Group 2 loamy sand and Group 3 silty loam and silty clay loam.

The PSD without organic matter was determined by the pipet method and the MSD was calculated on samples with no scattered organic matter. The apparent texture, which is the percentage of micro-aggregates size sand, silt and clay, was established from the MSD curve.

The results were crystal clear: Group 1 soils have an intermediate fractal behavior as they required two fractal models to explain up to 95% of the total mass. Group 2 was no fractal type soils and Group 3 was fractal soils as they required only one model to describe up to 98% of the total mass. The mass of sands accumulated with particles diameter bigger than 150 μm always behaved

as non-fractal. Statistically speaking the fractal dimension (D) of Group 1 and 3 had no difference while the proportional factor (C) was different on each group. As a result never quoted before, the factor C is considered essential in order to define the fractal model of each soil group. Fractal dimension D provides information about the fractal scaling factor but this parameter is not enough and factor C must be included in order to get a full definition of the soils.

Another contribution was the development of a model to calculate fractal parameters D and C with only two figures which are the clay and sand percentage of a soil samples. There was no difference between parameters C and D obtained with the model and the same ones determined using soil samples in laboratory.

The particles micro-structured due to organic matter effect was well described by the fractal model. The difference between the areas of PSD and MSD curves was relevant. This work proposes a micro-structure index considering together the fractal particle model and the fractal micro-particles model.

The organic matter effect onto the mineral fraction on all the three analysis groups was similar: There was an increase of the apparent sand percentage vs the real one and the apparent silt and clay percentage was lower than the real one. These results were confirmed with photos taken thru an optical microscope.

The relationship between the apparent fraction and the organic matter was different on each analysis group: Groups 1 and 2 showed no connection at all meanwhile Group 3 showed very significant relationships with the organic matter. On Group 3 soils the micro-structure is dependent upon the soil organic matter content.

With the theoretical model developed it is possible to explain the PSD of soils coming from a fractal nature Material Generator, the wind transport and the differential sedimentation of the original material. This model is able to explain that starting with an fractal nature Material Generator it is expected to find fractal soils (like Group 3) with the finest original material; intermediate fractal soils, where the loss of fine particles need two models to explain the PSD and non-fractal soils (like group 2) which became coarse residual soils. The experimental results obtained in laboratory are consistent with the proposed model. Having the same parameter D it is assumed that soils come from the same Material Generator and the differences can be observed only on the parameter C with average values of 19.2 on Group 3 and 10.2 on Group 1.

As a conclusion, the micro-structures process between mineral particles and organic matter modified the apparent texture improving the soil system functioning and the PSD of the rolling Pampas come from a fractal Material Generator. Certain local conditions with original materials with

full fractal PSD or intermedia-fractal PSD or non-fractal are a consequence of wind transport and deposit process onto this Material Generator.