




EVALUACIÓN DE LA POROSIDAD DEL SUELO EN UN *Typic Hapludands* UTILIZANDO LA TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA

Cristian Arias Aguirre; Ángela Pinzón Pinto 

Universidad de
Cundinamarca, facultad de
Ingeniería Agronómica,
Facatativá, Colombia

 mangelapinzon@gmail.com

Palabras clave: tomografía
computarizada, porosidad,
Typic Hapludands.

RESUMEN

*Los recientes avances en Tomografía Computarizada proporcionan herramientas de evaluación para estudiar las propiedades internas del suelo; con esta técnica se profundiza en el conocimiento de la porosidad del suelo, su distribución, tamaño, conectividad y su relación con otros procesos edáficos: movimiento del agua y solutos, intercambio gaseoso, disposición y distribución de las raíces y la supervivencia de la biota del suelo dentro del perfil. El objetivo de esta investigación fue aplicar esta nueva tecnología para profundizar en el conocimiento de la porosidad del suelo *Typic Hapludands*, en diferentes usos: agrícola (fresa), pecuario (ganadería) y en descanso (sin uso en los últimos 5 años). Al examinar las imágenes obtenidas del escaneo, se encontró que la macroporosidad y la mesoporosidad son abundantes en el suelo en descanso, el cual presenta gran cantidad de poros conectados y de diversas formas y tamaños. En el suelo con cultivo de fresa, hay un aumento de poros pero disminuyen en tamaño, debido al manejo, se encontró una relación aproximada de 1:1 entre meso y microporos, favorables para el movimiento y retención de agua y solutos necesarios para la planta; hay pérdida significativa de la porosidad en el suelo bajo uso pecuario con respecto a los demás tratamientos, debido al daño que causa el pisoteo del ganado al modificar la estructura y por ende la porosidad. En conclusión, la TC permite conocer a partir de imágenes 2D y 3D, detalles morfológicos de impacto en la descripción y estudio de la porosidad del suelo.*

EVALUATION OF SOIL POROSITY IN A *Typic Hapludands* USING COMPUTERIZED X-RAY TOMOGRAPHY

Key words: Computerized
tomography, porosity, *Typic*
Hapludands.

SUELOS ECUATORIALES
43 (2): 67-75

ISSN 0562-5351

ABSTRACT

*Recent advances in CT provide the means to study internal soil properties, such as, pore size, distribution, and connectivity; relation with other soil processes can also be studied, such as water movement, gas exchange and nutrients movement. Even root distribution and soil biota survival may also be studied by this technique. The main objective of the present work was to apply this new technology in order to go deeper in the phenomenology of soil porosity in a *Typic Hapludands* under different uses: agriculture (strawberry), grazing (cattle) and fallow (for five years). Scanning images examination showed soil abundant macro and mesoporosity in fallow station. It was also possible to see a large number of connected pores of diverse shape and size. In the cultivated soil, CT images show porosity increase, even if pore size diminishes due to tillage; a relationship of 1:1 was found between meso and micropores, which is favorable for water and solutes retention necessary to the plants. A significant loss of porosity in the soil under cattle grazing use as compared to other uses was due to a loss of the structure as a result of misguided practices. As a conclusion, through 2D and 3D images, TC permits to go deeper into morphology details, not seen under routine observations.*

INTRODUCCIÓN

La investigación propone la introducción de una nueva técnica en suelos, la Tomografía Computarizada de Rayos X, la cual fue utilizada por primera vez en la ciencia del suelo por Petrovic *et al.*, (1982), Hainsworth y Aylmor (1983), Crestana *et al.*, (1985), Anderson *et al.*, (1988), Warner (1990), quienes demostraron su aplicación para medir la distribución espacial (2 y 3 dimensiones) de la estructura y porosidad del suelo. Desde entonces, los avances en la instrumentación de la TC han permitido conocer más a fondo características y propiedades del suelo tales como la porosidad, la estructura, el flujo preferencial, la aireación y la actividad de la edafofauna.

El suelo utilizado en la presente investigación es un *Typic Hapludands* derivado de cenizas volcánicas. Las características y propiedades de los andisoles están estrechamente relacionadas con los procesos evolutivos que los tipifican; éstos pueden integrarse en el concepto de Andolización con dos subproductos específicos relacionados con la formación de complejos Al-Humus de preferencia en los epipedones, y en la generación de productos (alofánicos) como la alófana, la imogolita entre otros, en los endopedones (Malangón, 1995). La alteración genera fracciones coloidales con bajo grado de ordenamiento cristalino (alófanos, imogolita, ferrihidrita), mientras que el complejo Al-Humus ayuda a estabilizar los compuestos húmicos en el epipedón. Las principales características mineralógicas, morfológicas, físicas, químicas y biológicas de los suelos ándicos, tienen su origen fundamental en los procesos evolutivos; en resumen, dichas características modales varían con el subproceso específico y son las siguientes:

Las propiedades físicas de los suelos ándicos presentan características muy especiales, tales como, baja densidad aparente, una alta retención de humedad, una alta estabilidad estructural; pero todas estas características pueden ser afectadas cuando se someten los suelos al secado intensivo, debido a que éste produce una contracción y reacomodación de sus agregados, dando origen a una dinámica en las propiedades físicas (Pinzón, 2006). El secado del suelo enmascara el contenido de arcilla debido a la cementación que sufre el suelo al ir perdiendo su contenido de agua; la plasticidad es una de las propiedades físicas que distingue a los materiales alofánicos de los materiales cristalinos (Takenaka, 1979).

La porosidad es una de las propiedades del suelo que resulta más alterada por las prácticas de manejo, el tráfico de la maquinaria, la actividad biológica y el uso en ganadería, por ello, es importante, conocer con más profundidad su tamaño, forma y conectividad, lo cual es muy difícil detectar con los métodos tradicionales, por lo tanto la nueva técnica de la TC revela aspectos aún no diferenciables en cuanto al estudio de la porosidad. Por esta razón, el conocimiento que se adquiriera como resultado de esta investigación utilizando la Tomografía Computarizada, generará un gran impacto en las posibilidades de interpretación de las características de los suelos para su posible uso y manejo. Teniendo en cuenta lo anterior se planteó el siguiente objetivo general: evaluar la porosidad del primer horizonte del suelo *Typic Hapludands* en muestras no alteradas, mediante la introducción de la técnica de la Tomografía Computarizada de Rayos X. Como complemento del objetivo general se trazaron los siguientes objetivos específicos: conocer los posibles cambios en tamaño, forma y conectividad de los poros; y establecer comparaciones de la porosidad bajo tres usos de suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio

El suelo utilizado se recolectó en el municipio de Facatativá, a 45.3 km de la ciudad de Bogotá.

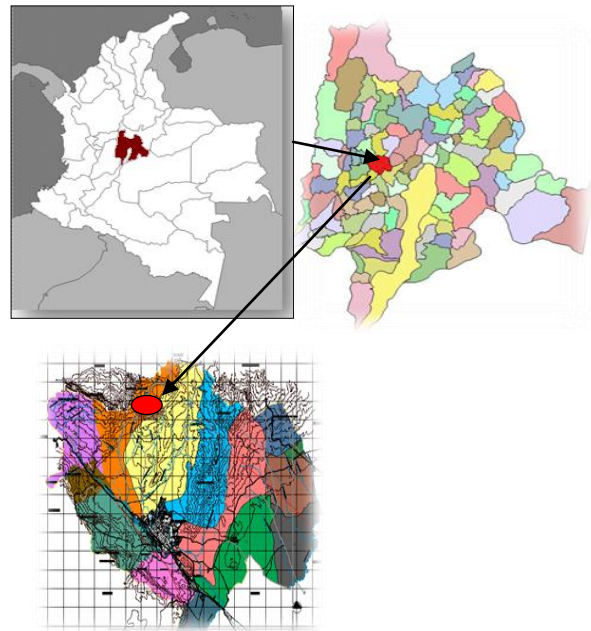


Figura 1. Mapas de localización del área de trabajo.

Suelo

El suelo utilizado en la investigación es un *Typic Hapludands* (Pinzón, 2011), localizado en ladera de la loma, con pendiente del 12%; es un suelo profundo, bien drenado y de evolución moderada a partir de ceniza volcánica.

Morfológicamente el perfil (figura 2) presenta los siguientes horizontes: Ap-Ah-Bw1-Bw2-C. El horizonte Ap tiene un espesor de 22 cm, color negro (2.5YR2/0), textura franca y estructura granular, consistencia en húmedo friable, abundantes poros medios y finos, actividad de organismos alta, abundantes raíces finas y medias, reacción fuerte al fluoruro de sodio y pH 5.5. El horizonte Ah (22 - 35cm), es de color gris muy oscuro (2.5YR3/0), textura franco arcillosa y estructura granular gruesa, consistencia en húmedo friable, abundantes poros finos y pocos medianos, actividad de organismos alta, abundantes raíces finas y pocas gruesas, reacción fuerte al fluoruro de sodio y pH 5.3. A continuación aparece un horizonte cámbico (35 - 90cm) constituido por dos subhorizontes (Bw1 y Bw2); el primero de color pardo amarillento (7.5YR5/4), textura franco arcillosa, estructura en bloques subangulares medios, consistencia en húmedo friable, abundantes poros finos, actividad de organismos media, raíces abundantes gruesas, reacción fuerte al fluoruro de sodio y pH 5.6.

El horizonte Bw2 es de color amarillo rojizo (7.5YR7.5/6), textura franco arcillosa, estructura en bloques subangulares fuertes, consistencia friable en húmedo, abundantes poros finos, actividad de organismos media a baja, presencia de raíces baja, reacción fuerte al fluoruro de sodio y pH 4.4. Finalmente, se encuentra el horizonte C de color amarillo (10YR7.5/6), con moteados grisáceos en un 20% (2.5YR6/0), textura arcillosa, sin desarrollo estructural y pH 4.2.

Propiedades físicas. La textura del horizonte Ap es franca, la retención de humedad a punto de saturación es de 115.3%, la capacidad de campo es de 97.8% y el punto de marchitez permanente es de 69.4%; la densidad real es de $2\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ y la densidad aparente tiene un valor de $0.7\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$; predominan los microporos.

Propiedades químicas. El pH fluctúa entre 5.5 (horizonte Ap) y 4.2 (horizonte C); los valores de la capacidad de intercambio catiónico presentan un rango entre 53.81 y 12.2meq/100g, los valores más

altos se encuentran en los dos primeros horizontes; los contenidos de materia orgánica disminuyen significativamente desde el horizonte Ap al C; el valor más alto se encuentra en el horizonte Ah. El fósforo no presenta variación a través del perfil, con valores de 1 y 2 ppm.

Propiedades mineralógicas. En los análisis de arena el mineral predominante es el cuarzo en un 50%, abundantes minerales opacos (25-50%), anfíboles y piroxenos corresponden a un 20%, la biotita y la epidota se encuentran en un 1-5%, también se observan trazas de zircón menos del 1%. En el análisis de arcilla, predomina la presencia de material no cristalino (ceniza volcánica), hay abundante caolinita, menores cantidades de cuarzo presente, algo de metahalosita y escasos contenidos de gibsita y cristobalita.



Figura 2. Perfil de Suelo *Typic Hapludands* en Facatativá, Cundinamarca (Pinzón)

Muestreo

El muestreo se llevó a cabo en las fincas: Villa Vista (ganadería) (latitud $4^{\circ}51'58.32''\text{N}$) (longitud $74^{\circ}17'27.37''\text{O}$); Monte Verde (fresa) (latitud $4^{\circ}51'32.72''\text{N}$) (longitud $74^{\circ}17'4.77''\text{O}$) y en descanso (altitud $4^{\circ}51'17.35''\text{N}$) (longitud $74^{\circ}16'56.25''\text{O}$). Para mantener uniformidad en relación a propiedades topográficas e intrínsecas del suelo entre las fincas, se

realizaron visitas preliminares, se hicieron calicatas y se tomaron muestras para conocer las propiedades físicas, químicas y biológicas en los tres usos.

Las muestras fueron tomadas en el primer horizonte del suelo *Typic Hapludands* por duplicado, para un total de seis muestras; se utilizaron cilindros PVC de 11 cm. de diámetro y 6 cm. de alto (figura 3). En campo se hicieron pruebas de ceniza volcánica, pH, textura organoléptica, color y observaciones de estructura y presencia de organismos. Se recolectaron muestras para determinar propiedades físicas, químicas y mineralógicas en el laboratorio.



Figura 3. Toma de muestras en el primer horizonte

Tomografía computarizada

La Tomografía Computarizada (T.C.) es un procedimiento de diagnóstico que utiliza un equipo de rayos X especial para crear imágenes transversales y longitudinales del cuerpo por estudiar. Para esta investigación se utilizó un tomógrafo medico HiSpeed Dual – General Electric. El equipo funciona mediante la emisión de un haz muy fino de rayos X. Este haz incide sobre el objeto en estudio, el cual es

atravesado por la radiación y esta es absorbida por los detectores; luego el emisor del haz, que tenía una orientación determinada cambia su orientación para barrer la muestra; éste espectro es también recogido por los detectores y un ordenador (computadora) “suma” las proyecciones generadas por los detectores, promediándolas y nuevamente el emisor cambia su orientación (grados de inclinación). Finalmente, las proyecciones son reconstruidas para generar imágenes en 2D y 3D. Las muestras fueron llevadas al centro diagnóstico MD – DIAGNOSTICOS especialistas en imágenes con reconstrucción en 3D, donde se realizaron las tomografías computarizadas y se obtuvieron cortes en cada muestra de suelo con intervalos de 0.5mm, con vista coronal, lateral y frontal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos a partir de la TC del suelo *Typic Hapludands* en diferentes usos (en descanso, fresa y ganadería) muestran que esta técnica permite evaluar, caracterizar y conocer la conectividad de los poros, aprovechando que el suelo no se disturba durante el procedimiento.

Porosidad del suelo en descanso

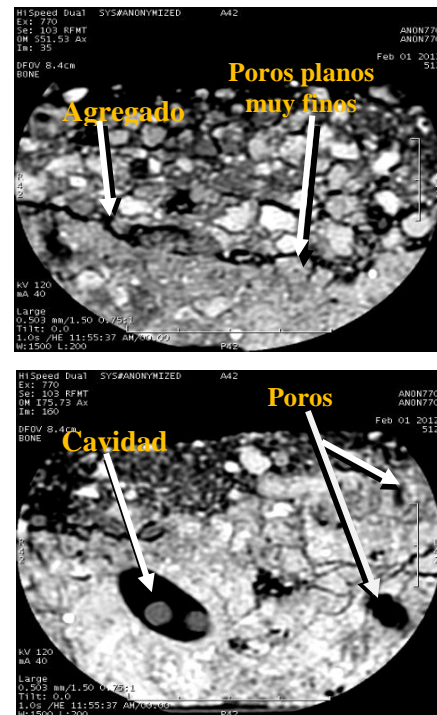


Figura 4. Corte longitudinal con vista frontal de las dos muestras del suelo en descanso.

La figura 4 muestra los cortes longitudinales del suelo en descanso (obtenidos por el equipo), que se generan cada 0.5mm; el ordenador suma las proyecciones mediante algoritmos matemáticos, para mostrar finalmente una imagen 2D. Se observan diferentes tipos de poros en este suelo; son dominantes los poros medios o mesoporos, conectados entre sí y con diversas formas (redondos y planos); además se puede observar claramente el efecto de la actividad de la lombriz de tierra que deja cavidades ovales y tubulares. La figura 5 es una vista lateral del suelo en descanso, en ella se observa la lombriz de tierra y su efecto en el suelo.

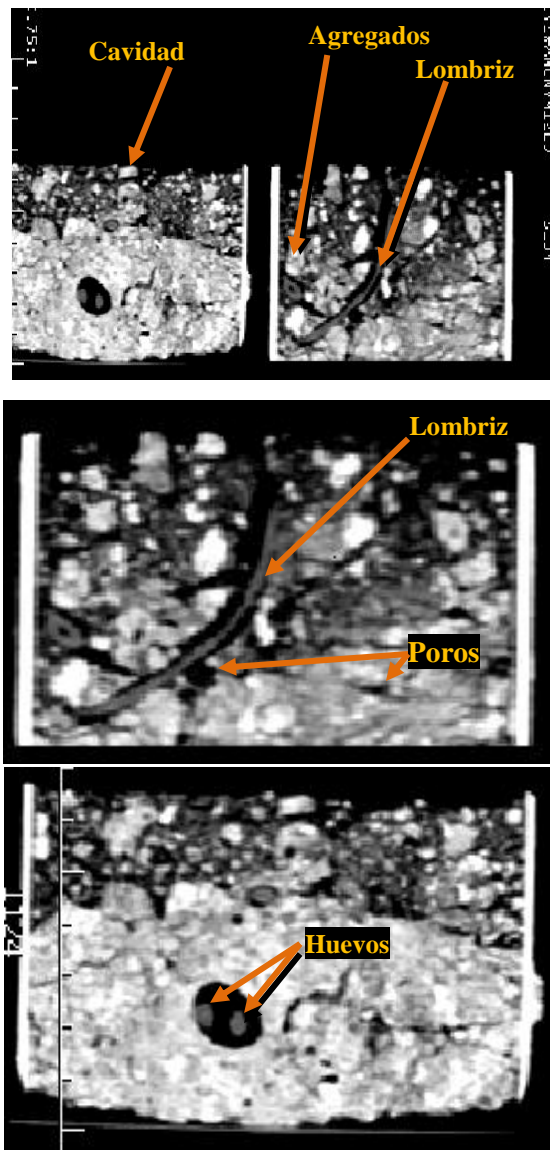


Figura 5. Corte longitudinal con vista lateral de las muestras del suelo en descanso en donde se aprecia la actividad edafofaunística.

Porosidad del suelo bajo uso agrícola (Cultivo de fresa)

En suelos bajo cultivo de fresa, ocurre una disminución del tamaño de agregados a formas más finas por actividades de labranza, como se aprecia en la figura 6. A consecuencia de ello, la porosidad cambia, incrementándose el número de poros finos, en una relación aproximada 1:1 entre meso y microporos.

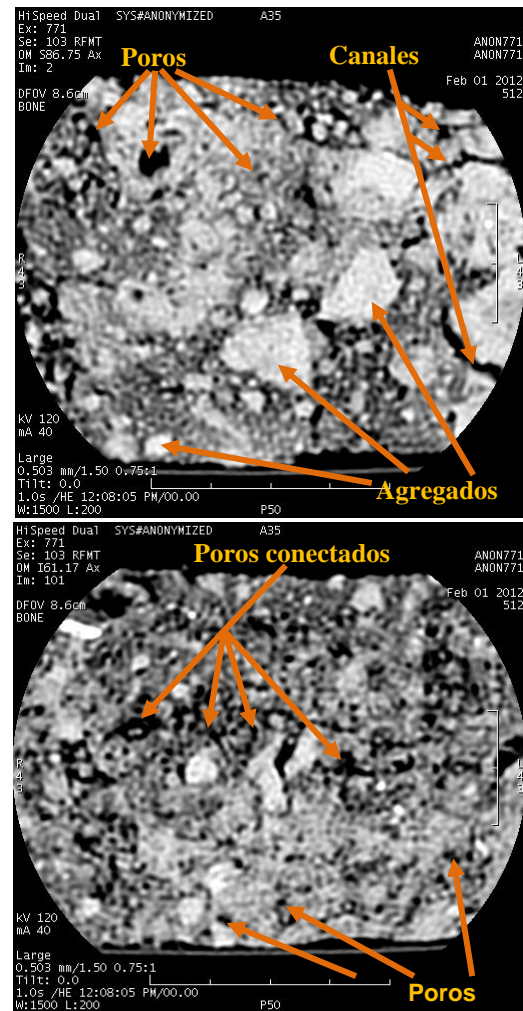


Figura 6. Corte longitudinal con vista frontal de las dos muestras del suelo bajo uso agrícola.

También se observa una mayor proporción de canales y poros conectados en comparación con el suelo en descanso; se puede inferir una infiltración del agua más rápida como también una alta retención de humedad y de solutos, favorables para los requerimientos hídricos y nutricionales de la planta.

En la vista lateral de la figura 7 se observa mayor cantidad de microporos pero con poca conexión.

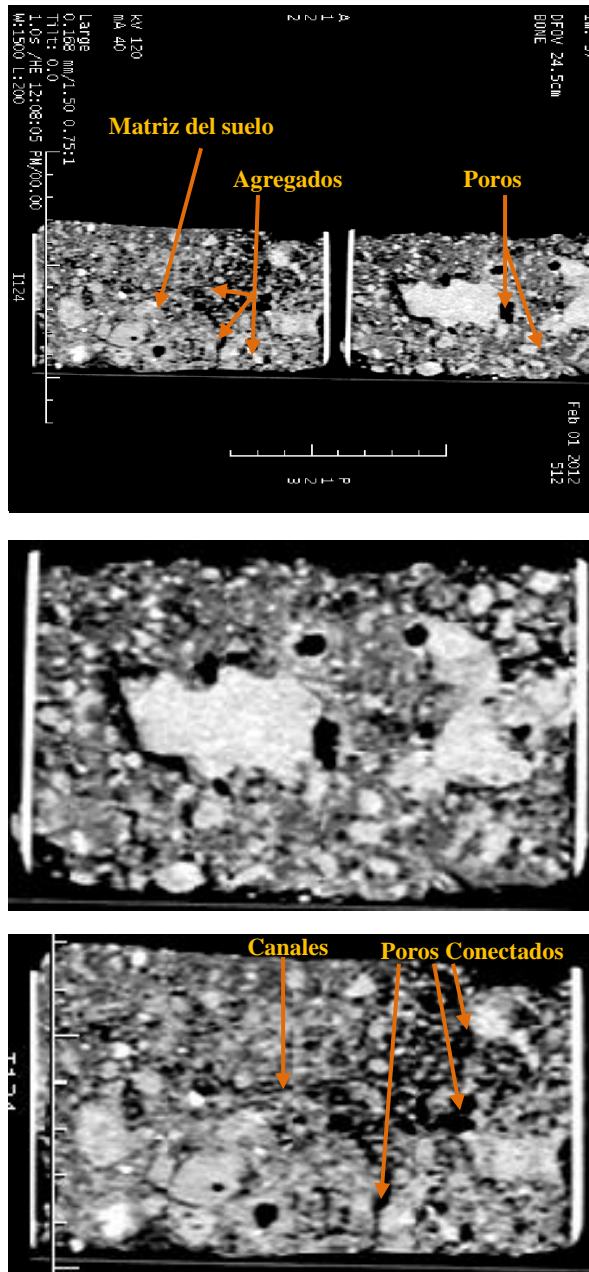


Figura 7. Corte longitudinal con vista lateral de las muestras del suelo bajo uso agrícola.

Porosidad del suelo bajo uso pecuario (ganadería).

El uso del suelo en actividad pecuaria lo afecta especialmente desde el punto de vista físico, hay pérdida de la estructura, aumento de la densidad aparente, disminución de la porosidad especialmente

la macro y mesoporosidad, baja retención de humedad, disminución del movimiento de solutos y del intercambio gaseoso; también resulta afectada la meso y microfauna; esto hace que la calidad de los pastos se vea afectada influyendo en la producción ganadera. Todo esto conlleva que el suelo vaya mostrando signos de erosión en forma laminar que puede a largo plazo generar cárcavas difícilmente recuperables.

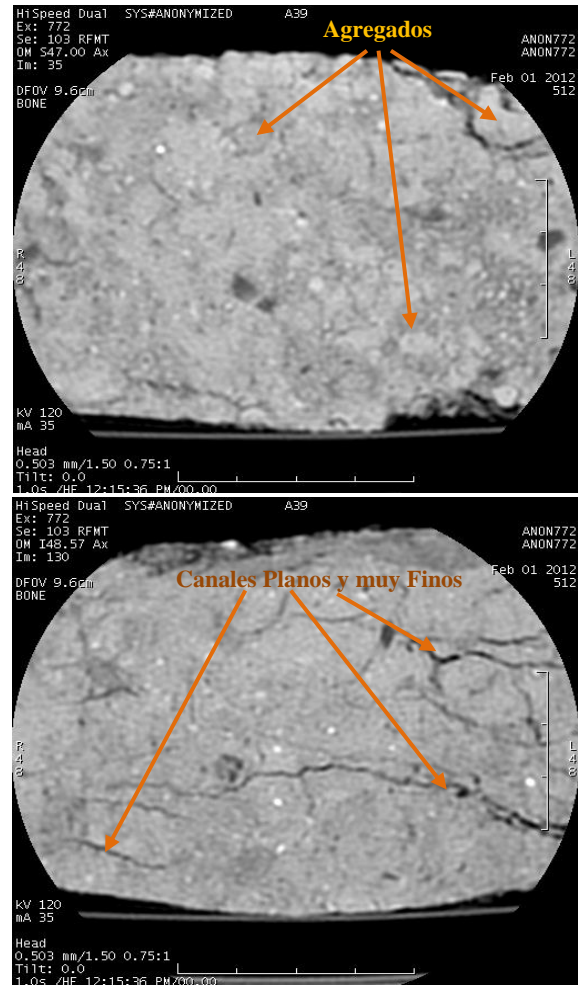


Figura 8. Corte longitudinal con vista frontal de las dos muestras del suelo bajo uso pecuario.

En la figura 8 se evidencia la pérdida de estructura (masiva), no hay macroporos, no se observa actividad de edafofauna, lo anterior es la consecuencia por la fuerza ejercida sobre el suelo por el peso de los bovinos; como consecuencia se genera gradualmente la densificación de los agregados del suelo y se reduce al máximo el espacio interpedal; esto da como resultado la

perdida de porosidad y estructura, así mismo, resultan restricciones en el intercambio gaseoso, la velocidad de infiltración y la conductividad hidráulica, disminuye la resistencia para la penetración de raíces, y la edafofauna disminuye en comparación al suelo agrícola y al suelo en descanso.

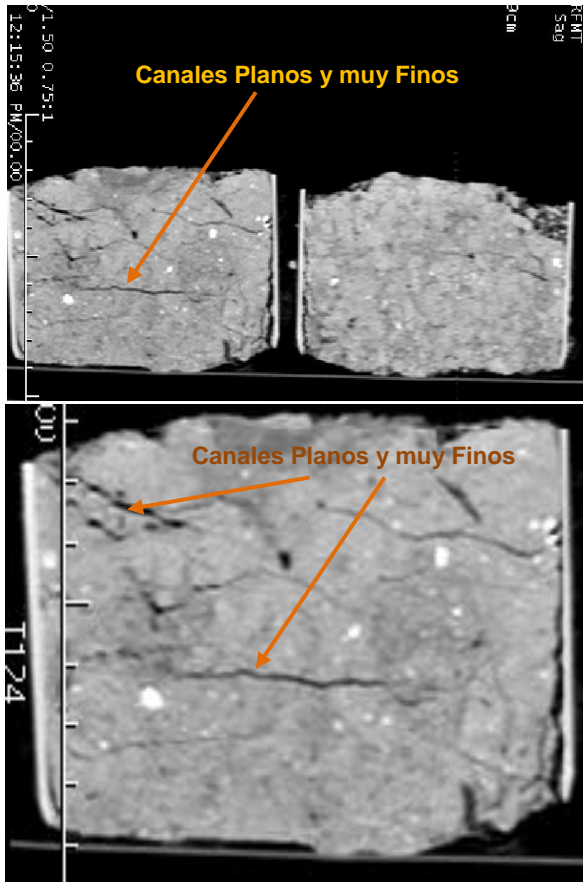


Figura 9. Corte longitudinal con vista lateral de las muestras del suelo bajo uso pecuario

En la figura 9, de corte longitudinal, no se observan macroporos ni se diferencian agregados en comparación a los suelos de uso agrícola y sin uso agropecuario, por lo que la pérdida de la macroporosidad y estructura es evidente.

En la figura 10 se aprecian graficas 3D y sus respectivos mapas. En ellas se observa más claramente diferencias en tamaño, forma, conexión y distribución de los poros en relación al uso. Al comparar las figuras A1 (suelo en descanso), B1 (suelo bajo uso agrícola) y C1 (suelo en ganadería) correspondientes a vistas 3D, se aprecia la diferencia tanto en tamaño y cantidad de poros entre uno y otro uso, como también la disminución en el tamaño de los agregados. La

figura A2, B2 y C2 corresponden a los mapas de los diferentes usos, donde las áreas negras corresponden a la porosidad del suelo

Comparación de la porosidad en los tres usos.

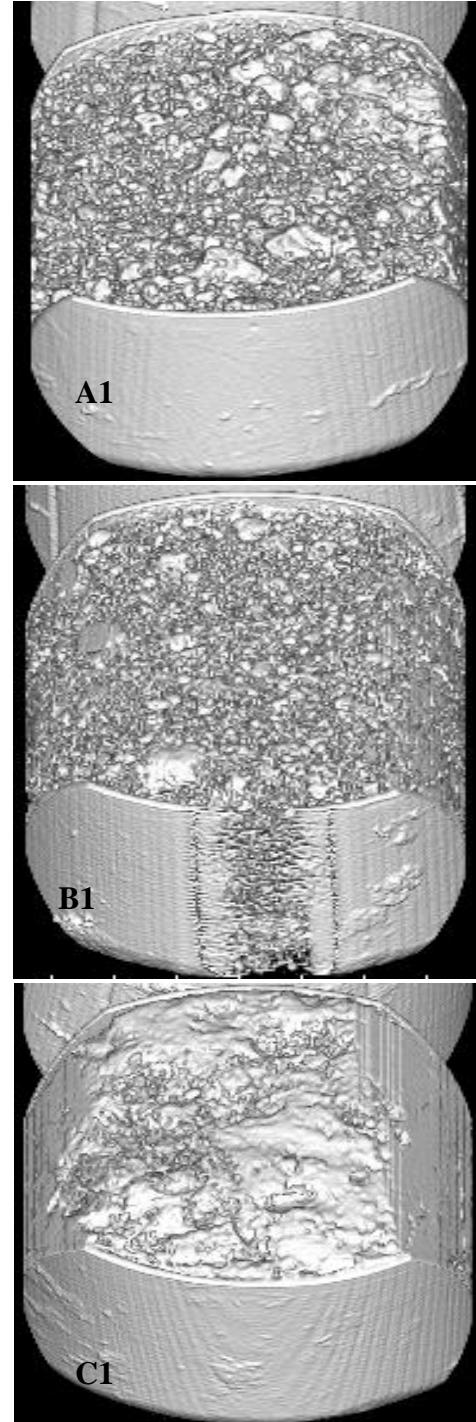


Figura 10. Comparación de vistas 3D y mapas de porosidad, según el uso del suelo.

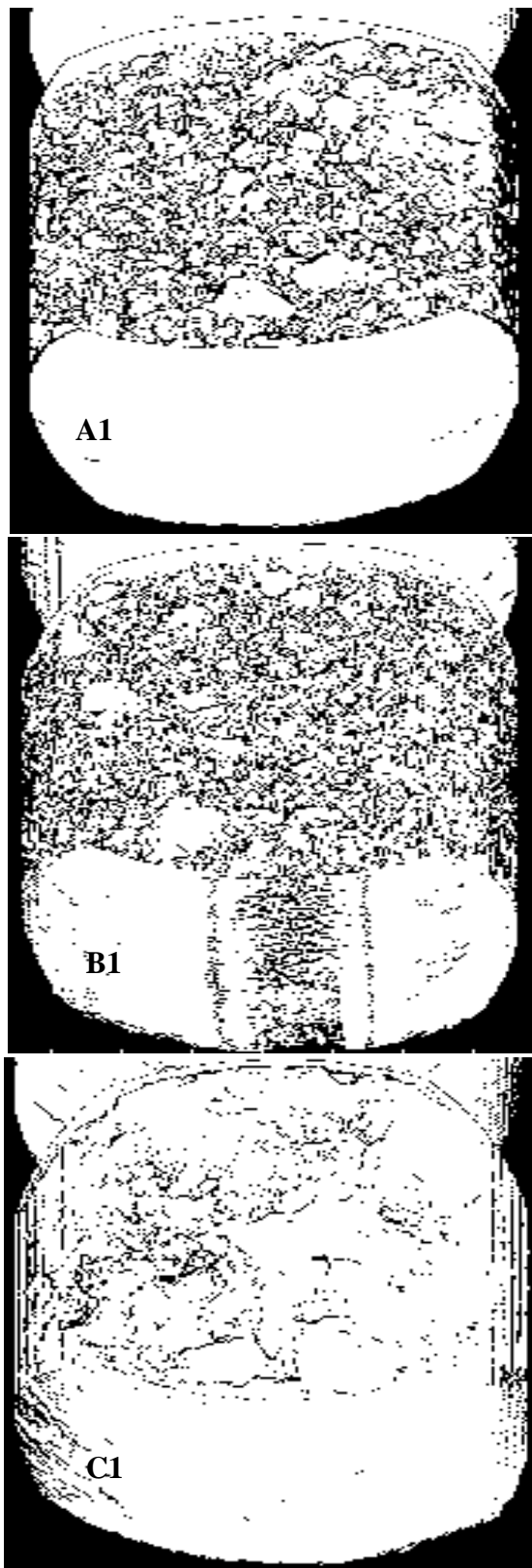


Figura 10. Comparación de vistas 3D y mapas de porosidad, según el uso del suelo. (Continuación)

CONCLUSIONES

La Tomografía Computarizada es una técnica muy útil que facilita una mayor comprensión de propiedades del suelo en muestras no disturbadas, que difícilmente pueden ser evaluadas con los métodos rutinarios. La TC arroja imágenes de forma inmediata, lo cual ayuda a la obtención de resultados en muy corto tiempo. En la aplicación de la Tomografía Computarizada de Rayos X para el análisis de la porosidad en las distintas muestras de suelo en relación a su uso, se pudo ver que la metodología propuesta para dicho análisis logró dar a conocer a partir de imágenes 2D y 3D la conexión, la forma y los tamaños de los poros en cada corte generado.

Los resultados obtenidos permiten tener un conocimiento más profundo y preciso no solo de la porosidad del suelo sino de otras características derivadas de ella y cómo el uso modifica las propiedades del suelo. Por buena y por precisa que pueda parecer esta técnica, es necesario efectuar su evaluación desde algunos puntos de vista de costos en trabajos rutinarios, nivel logrado específico en que se mejoren las descripciones y las interpretaciones de las imágenes y posibilidad de aplicación en otras ramas del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDERSON, S.H. and HOPMANS, J.W.(1994) Tomography of Soil-Water-Root Processes. Minnesota: Society of Agronomy, 1994. SSSA Special Publication.nº 36, ASA/SSSA Inc.
- CRESTANA S., MASCARENHAS S. and POZZI-MUCELLI R. S. (1985) Statical and dynamical three dimensional studies of water in soil using computed tomography scanning. USA: Soil Science, 140:326-32.
- GANTZER C. J. and ANDERSON S. H. (2002) Computed tomographic measurement of macroporosity in chisel-disk and no-tillage seedbeds. Columbia: University of Missouri, Soil & Tillage Research 64: 101-111. PII: S0167-1987(01)00248-3.
- GREVERS M. C. J., DE JONG E. and ARNAUD R. J. ST.(1989) The characterization of soil macroporosity with CT scanning. Canada: Saskatchewan Institute of Pedology, Can. J. Soil Sci. 69:2: 629-637

- HEERAMAN D.A., HOPMANS J. W. and CLAUSNITZER V. (1997) Three dimensional imaging of plant roots in situ with x-ray computed tomography. Netherlands: Plant and Soil. 189: 167-179.
- KRAVCHENKO A.N., WANG A. N. W., SMUCKER A. J. M. and RIVERS M. L. (2011). Long-term Differences in Tillage and Land Use Affect Intra-aggregate Pore Heterogeneity. Madison: Soil Science Society of America, Soil Sci. Soc. Am. J. 75:1658-1666.
- M. LAIA M. A. and CRUVINEL P.E. (2008) Applying an Improved Square Root Unscented Kalman Filtering in Tomographic Projections of Agricultural Soil Samples. Rio Grande, Brasil: Universidade de São Paulo, 18, 1: 17-31.
- PAPADOPOULOS A., BIRD N.R.A., WHITMORE A.P., MOONEY S.J. (2009) Investigating the effects of organic and conventional management on soil aggregate stability using X-ray computed tomography.. Journal of Soil Science, 60: 360-368.
- PERRET J., PRASHER S.O., KANLZAS A., and LANGFORD C.(1998). Characterization of Macropore Morphology in a Sandy Loam Soil Using X-Ray Computer Assisted Tomography and Geostatistical Analysis. Canada: Canadian Water Resources Journal, 23 (2): 143 – 165.
- PETROVIC, A. M.; SIEBERT, J. E.; RIEKE, P. E. (1982) .Soil bulk density in three dimensions by computed tomography scanning. USA: Soil Science Society of America, Soil Sci. Soc. of Am. J., 46:445-50.
- PINZÓN, A. (2006).Apuntes Sobre Física De Suelos. Ed. Cargraphics, 203 p.
- PINZÓN, A. (1992) Distribución de poros por tamaño en un Typic Natrustalfs de la Sabana de Bogotá.Investigaciones. I.G.A.C.Vol.4
- PINZÓN, A. (2011) Edafología. Ed. Cargraphics.302 pag.
- PINZÓN, A. (1999) .Estimación de Fractales en la Evaluación de la Porosidad del Suelo. XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo en Chile, medio magnético.
- RICHARD A. and WILLIAM D. (2001) Acquisition, optimization and interpretation of X-ray computed tomographic imagery: applications to the geosciences. Austin: Department of Geological Sciences, University of Texas at Austin,. Computers & Geosciences 27: 381-400. PII: S0098-3004(00)00116-3.
- SANCHÉS M. A.(1999)- Quantification of soil physical properties by using X-ray computerized tomography T.C. and standard laboratory (STD) methods.Thesis. Pennsylvania: Iowa State University. 132 p.
- SEIGNEZ N., GAUTHIER A., BRUNEL C., DUBOIS M., POTDEVIN J. L. and MESS F. (2009).Development of Plant Roots Network in Polluted Soils: An X-ray Computed Microtomography Investigation.Europa: Springer Science Water Air Soil Pollut, DOI 10.1007/s11270-009-0192-8.
- SOIL SURVEY STAFF.(2006) Claves para la Taxonomía de Suelos. USA: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos - Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Décima edición. 325p.
- TAINA I. A., HECK R. J. and ELLIOT T. R. (2007) .Application of X-ray computed tomography to soil science: A literature review. Canada: Department of Land Resource Science, University of Guelph, Can. J. Soil Sci. 88: 1-20.
- TOLLNER E. W., MELEAR N. D., RODRIGUEZ L. A., WRIGHT M. E. (1998) Soil aggregate size distributions using x-ray images. American Society of Agricultural Engineers: Information & Electrical Technologies Div. of ASAE, 41(4): 1207-1215.
- UDAWATTA R. P., ANDERSON S.H., GANTZER C. J., and GARRETT H. E. (2006)Agroforestry and Grass Buffer Influence on Macropore Characteristics: A Computed Tomography Analysis. Madison: Soil Science Society of America Journal, 70: 1763-1773.
- WARNER G.S. (1990) Characterization of soil macropores by computed tomography. Ph.D. Thesis.Univ. of Minnesota. St. Paul, MN.
- WARNER G. S. and NIEBER J. L.(1991) Evaluation of computed tomography to determine the distribution of macropores in soil. Minnesota: Water Resources Research Center - University of Minnesota, 54 p.
- UNIVERSITY OF SYDNEY, NEW ZEALAND (2004): X-ray investigations of intact soil cores with and without living crop roots. Conferencia. (3: 5-9, diciembre, 2004: New Zealand, Australia). 7 p.