

Materia orgánica particulada y mineralogía de un Andisol bajo labranza y barbecho

Particulate organic matter and mineralogy of one Andisol After tillage and fallow

Ramiro Ramírez Pisco ^{1,2}, Edna Ivonne Leiva Rojas ^{1,3}, Ronny Fernell Restrepo Yépez ^{1,4}.

¹Universidad Nacional de Colombia - sede Medellín. Medellín, Colombia. ²✉ rramirez@unal.edu.co, ³✉ eileiva@unal.edu.co, ⁴✉ frestre@gmail.com



<https://doi.org/10.15446/acag.v70n4.80861>

2021 | 70-4 p 329-337 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 03-07-2019. Acep.: 26-10-2021

Resumen

La zona hortícola colombiana del oriente Antioqueño se encuentra en laderas donde se ha perdido gran parte de la capacidad productiva de sus suelos debido a la labranza continua. El objetivo de la investigación es determinar los cambios en contenido de la materia orgánica particulada (MOP) y en la mineralogía de un Andisol, en seis condiciones de manejo del suelo, en Marinilla (Antioquia, Colombia). Bajo el diseño en parcelas divididas, se realiza el muestreo de suelo (tres repeticiones por tratamiento) en parcelas con suelo virgen (SV), con 5, 10 y 20 años de labranza convencional (LC) y en parcelas con 5 y 10 años de barbecho (B). En cada una de las situaciones se muestrea con barreno hasta 0,2 m de profundidad. En cada muestra se cuantifica la MOP, se realizan análisis químicos (pH, Mg, K, P, S) y físicos (porosidad total, densidad aparente y diámetro medio ponderado en húmedo (DMPH)). La MOP fue sensible a los procesos de LC, disminuyendo en un 35 % y 75 % después de 5 y 10 años, respectivamente, en relación con el SV. El barbecho durante 5 años incrementó en forma significativa la MOP respecto de los suelos de LC. La MOP y DMPH presentaron una relación logarítmica ($R^2 = 0,80$) que sugiere la influencia de la MOP en la estabilización de los agregados y en la fertilidad física del suelo. La dinámica de la MO con los óxidos amorfos de Fe y Al afectaron en corto tiempo la mineralogía de la fracción de arcilla debido al manejo del suelo.

Palabras clave: agregación, arcillas interestratificadas, goetita, manejo del suelo, materia orgánica particulada

Abstract

The Colombian horticultural area of eastern Antioquia is located on hillsides where lots of the productive capability of the soil has been lost due to the continuous tillage. The objective of the research was to determine the changes in the content of particulate organic matter (POM) and the mineralogy of an Andisol in six conditions of soil management, in Marinilla (Antioquia, Colombia). In split plots, the soil sample was taken in each situation, with three replications per treatment, in plots of virgin soil (VS) with 5, 10, and 20 years of conventional tillage (CT), and 5, 10 years of fallow (F). It was sampled with an auger to 0.2 m depth. In each sample the POM was quantified: chemical analyzes were carried out (pH, Mg, K, P, S) and physical (total porosity, bulk density, and mean weight diameter (MWD) of water-stable). The POM was sensitive to the tillage processes, decreasing by 35 % after 5 years and 75 % after 10 years, in relation to the virgin soil (VS). The POM was increased significantly during the first 5 years of fallow in relation to CT soils. The POM and MWD showed a logarithmic relationship ($R^2 = 0.80$), which indicates the influence of the POM on the stable aggregates and on the physical fertility of the soil. In short time, the dynamics of OM with the amorphous oxides of Fe and Al have affected the mineralogy of the clay fraction due to soil management.

Keywords: aggregation, goethite, interlayered clays, particulate organic matter, soil management.

Introducción

En Colombia, los suelos de la zona hortícola del oriente Antioqueño, en su mayoría derivados de cenizas volcánicas (Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), 2007), han perdido gran parte de su fertilidad y características físicas y químicas debido a la siembra continua, a la labranza con arado de disco, arado rotatorio y azadón. El cambio de uso y manejo del suelo modifican la materia orgánica (MO), la densidad y la porosidad (Zúñiga *et al.*, 2014; Toledo *et al.*, 2013), aspectos que influyen sobre la producción de los cultivos y el ingreso del agricultor.

El suelo es una mezcla de partículas minerales, MO en diversos grados de descomposición, iones, agua y aire, en proporciones variables; la proporción en que se distribuyan estos materiales determinarán la fertilidad del suelo. La MO es un componente fundamental del suelo, que contribuye a su fertilidad y a su productividad (Lal, 2014), a través de su influencia en propiedades físicas, químicas, entre ellas la estructura, la porosidad, la infiltración, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica del suelo.

La MO del suelo a pesar de estar en menor proporción, muy por debajo de la fracción mineral, en su ausencia se carece de la función ambiental del suelo, entre otras ser una fuente importante de nutrientes para las plantas en distintos ecosistemas, tanto naturales como los sometidos al manejo agronómico (Bongiorno *et al.*, 2019; Fließbach *et al.* 2007; Cambardella y Elliott, 1992,) y se reporta que algunas formas del carbono orgánico del suelo son más frágiles o sensibles al manejo y la labranza, su contenido se altera, por lo que podrían ser un indicador significativo de calidad del suelo (Bongiorno *et al.*, 2019; Marriott y Wander, 2006).

La materia orgánica particulada (MOP) corresponde a restos vegetales, animales y fúngicos en distintos grados de descomposición, fácilmente descomponibles o de rápido ciclado, está compuesta principalmente por fragmentos entre 0.053 y 2 mm de tamaño, con una densidad $< 1,85 \text{ g cm}^{-3}$ (Cambardella y Elliott, 1992). La fracción activa de la MO del suelo puede ser estimada a través de la determinación de la MOP, debido a que esta fracción es la más sensible a los distintos manejos agronómicos del suelo (Blanco-Moure *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2007; Bongiovanni y Lobartini, 2006)

Por otro lado, los andisoles presentan características muy particulares que favorecen la actividad agrícola y forestal, estas propiedades se deben a que de las cenizas volcánicas se derivan materiales amorfos, entre ellos la alófana e imogolita, y sucede la interacción entre amorfos minerales (de Fe y Al) y amorfos orgánicos (Shoji *et al.*, 1993; Duhaufour, 1984). En el barbecho la cantidad de materiales orgánicos acumulados, por el descanso de

la actividad agrícola, serán los que posteriormente tendrán la oportunidad de interactuar y acomplejarse con los minerales amorfos, mientras que con la labranza la MO se degrada y se pierde afectando la retención y humedad del suelo y sus características ándicas.

El objetivo de este trabajo fue determinar los cambios en contenido de materia orgánica particulada (MOP) y en la mineralogía de un Andisol, bajo labranza y barbecho en el municipio de Marinilla (Antioquia-Colombia).

Materiales y métodos

Localización. El trabajo se realizó en el Municipio de Marinilla ubicado a 45 km al oriente de la ciudad de Medellín, a $6^{\circ} 09' 50.05 \text{ N}$ y $75^{\circ} 17' 15.8 \text{ O}$, en la vereda Montañitas, a una altitud de 1800 m., con una precipitación promedio anual de 1400 mm, su distribución es bimodal, con los periodos de lluvia de marzo a mayo y de septiembre a noviembre (IGAC, 2007). La zona de vida corresponde a Bosque Húmedo Montano Bajo según la clasificación propuesta por Holdridge (IGAC, 2007).

El diseño experimental correspondió a parcelas divididas, por el historial de manejo: suelo virgen (SV), 5, 10 y 20 años con labranza convencional (LC), 5 y 10 años de barbecho (B). Se realizó muestreo al azar, con 3 repeticiones. La muestra fue extraída con barreno del horizonte superficial hasta los 0,20 m.

El suelo analizado es un Hydric melanudand medial isotérmico (IGAC, 2007). Para cada muestra se determinó la densidad aparente por el método del cilindro (IGAC, 2006), el diámetro medio ponderado en húmedo (DMPh) y la estabilidad estructural por el método De Booth y De Lenner modificado (Ramírez, 2016), y se midió el pH (en relación 1:1), el carbono orgánico por el método de Walkley Black, la C.I.C y bases intercambiables Ca, Mg, K fueron extraídas con acetato de amonio 1M a pH 7, el aluminio intercambiable con KCl 1M; P por el método de Bray II (IGAC, 2006).

La composición mineralógica se determinó por difracción de rayos X (DRX) en las muestras saturadas con Mg y etilenglicol, tratadas a temperatura de 550°C de acuerdo a la metodología para el análisis de suelos del IGAC (2006).

Para la determinación de materia orgánica particulada (MOP), el suelo se secó al aire y se obtuvo la fracción orgánica retenida en el tamiz de $53 \mu\text{m}$. por el procedimiento propuesto por Cambardella y Elliott (1992).

Se realizó análisis de varianza y prueba de comparación de Duncan con los promedios de las variables evaluadas, entre los usos del suelo y se ajustó el modelo logarítmico entre MOP y DMPh, los análisis fueron realizados con el programa R Studio.

Resultados y discusión

Caracterización química. El contenido en materia orgánica (MO) fue significativamente menor en los suelos labrados a 5, 10 y 20 años (18,9%, 8,2% y 2,2% respectivamente) que en SV (36,0%) (Tabla 1). Sin embargo, el contenido en MO después de 5 y 10 años de barbecho (17,6 % y 21,5%, respectivamente) aumentó respecto de los suelos labrados pero sin alcanzar el contenido evidenciado en el suelo virgen. El contenido de MO después de 5 y 10 años de LC (18,9% y 8,2%) disminuyó respecto del suelo virgen (36,0%) (Tabla 1). Consecuentemente la MO después de 5 y 10 años de barbecho (17,6 % y 21,5%, respectivamente) se incrementó significativamente respecto de los suelos con LC pero sin alcanzar el contenido evidenciado en SV.

Los Andisoles se caracterizan por su alto contenido de MO, propio del desarrollo del complejo aluminio-humus (Malagón et al., 1991) sin embargo, esta MO es susceptible al manejo, disminuyendo su contenido de manera significativa por acción de la continua labranza del suelo (arado de discos y arado rotatorio) y el monocultivo (Shoji, et al., 1993; Lopes et al., 2017; Silva et al., 2007). Sin embargo, como muestran nuestros resultados, se logra incrementar la MO con periodos relativamente cortos de barbecho, 5 años, aunque la tasa de incremento posterior a este período disminuye.

Los valores de pH corresponden a los más frecuentes en andisoles del trópico, se incrementó luego de 5 y 10 años de LC, en una unidad, con respecto a la situación prístina (Tabla 1), pero, después de 5 y 10 años de barbecho el pH disminuyó progresivamente respecto de los suelos labrados, sin alcanzar el valor cuantificado en SV (Tabla 1). El incremento en la acidez del suelo, por los periodos

de barbecho, se debe a que la carga variable se enriquece de protones (H⁺) provenientes de los ácidos orgánicos no acomplejados con los amorfos inorgánicos, alúmina-humus (Dahlgren et al., 2004).

El mayor contenido de aluminio se evidenció en suelo virgen (11,21 cmol⁺Kg⁻¹), disminuyendo progresivamente luego de 5, 10 y 20 años de labranza (0,8 cmol⁺Kg⁻¹, 0,2 cmol⁺Kg⁻¹ y 0,1 cmol⁺Kg⁻¹ respectivamente) (Tabla 1). Aunque las diferencias no fueron significativas, después de 5 y 10 años de barbecho se incrementó el contenido de aluminio (a 1,0 y 1,8 cmol⁺Kg⁻¹, respectivamente) respecto a los suelos con labranza, alcanzando sólo el 12%, del contenido en aluminio del reportado en suelo prístino (Tabla 1).

El contenido de calcio intercambiable es muy bajo en el SV (0,1 Cmol⁺Kg⁻¹), por su material parental y por el lavado de los cationes durante la formación del suelo (Malagón et al., 1991), sin embargo, luego de 5 y 10 años de cultivo, se incrementó progresivamente (a 4,1 y 7,3 Cmol⁺Kg⁻¹, respectivamente), dadas las aplicaciones de cal, comunes a estos sistemas de producción. Después de 5 y 10 años de barbecho el contenido de calcio disminuye (a 1,2 y 0,1 Cmol⁺Kg⁻¹) respecto del suelo de labranza, alcanzando el valor evidenciado en la situación prístina (Tabla 1).

El magnesio se incrementó luego de la labranza (a 0,7 cmol⁺Kg⁻¹), sin embargo, disminuyó luego del barbecho, presentando un valor igual al evidenciado en suelo prístino (0,1 cmol⁺Kg⁻¹). Parece normal que las bases, K, Ca y Mg se incrementen al cambiar a uso agrícola, asociado con el grado de perturbación humana (Asio et al, 1999).

El potasio en forma similar a lo ocurrido con el calcio y el magnesio se incrementó luego de 5 y 10 años de labranza (0,4 y 0,7 cmol⁺Kg⁻¹) y luego

Tabla 1. Características físicas y químicas del suelo, con diferente historial de manejo.

Característica	Virgen	Labranza Convencional			5 años	
		5 años	10 años	20 años	5 años	10 años
MO %	36,0 a	18,9 b	8,2 c	2,2 d	17,6 b	21,5 b
pH	4,6 b	5,6 a	5,6 a	4,4 b	5,4 a	5,1 a
Al (cmol ⁺ kg ⁻¹)	11,2 a	0,8 b	0,2 b	0,1 b	1 b	1,8 b
Ca (cmol ⁺ kg ⁻¹)	0,1 c	4,1 b	7,3 a	3,1 bc	1,2 c	0,1 c
Mg (cmol ⁺ kg ⁻¹)	0,1 b	0,7 a	0,7 a	0,2 b	0,2 b	0,1 b
K (cmol ⁺ kg ⁻¹)	0,2 b	0,4 b	0,7 a	0,3 b	0,9 a	0,3 b
P (mg kg ⁻¹)	1,7 b	8,7 ab	11,3 a	2,0 b	3,7 ab	2,7 b
C.I.C.	73,9	55,3	35,9	12	48,5	53,9
DMPH (mm)	2,5 a	2,2 b	1,3 d	Masivo	2,0 c	2,2 b
Porosidad total (%)	86,1 a	80,4 b	70,8 c	61,6 d	72,7 c	87,5 a
Macroporos (%)	29,2 a	17,9 b	16,2 b	6,4 c	16,3 b	37,3 a
Densidad aparente g cm ⁻³	0,3 d	0,4 c	0,7 b	1,0 a	0,6 b	0,3 d

Diferentes letras dentro de cada fila muestran diferencias significativas entre los diferentes manejos del suelo. (Prueba de Duncan P<0.05). MO : materia orgánica. C.I.C: capacidad de intercambio catiónico. DMPH: diámetro medio ponderado en húmedo. Macroporos: >100 µm.

disminuyó en 20 LC. El incremento significativo en 10 LC, de Ca, Mg y K ocurrió por las aplicaciones de fertilizantes (Asio et al, 1999), propias en sistemas de producción hortícolas, sin embargo, disminuyó progresivamente durante los periodos de barbecho (0,9 a 0,3 cmol+Kg⁻¹), siendo su contenido superior al evidenciado en suelo virgen (0,2 Cmol+Kg⁻¹).

El contenido en fósforo se incrementó después de 5 y 10 años de labranza (8,7 a 11,3 mg Kg⁻¹) respecto del SV, disminuyendo progresivamente durante el barbecho (3,7 a 2,7 mg Kg⁻¹, respectivamente) y superando el valor de SV (1,7 mgKg⁻¹). El incremento en fósforo es propio de estos sistemas de producción debido a su continuo aporte a través de la fertilización. Sin embargo, el P intercambiable recuperó e incluso superó el valor del SV debido a la alta fijación de fosfatos propia de los andisoles (Shoji et al., 1993).

La alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) se debe a los materiales amorfos inorgánicos y orgánicos, propiedad característica de los andisoles (Malagón et al., 1991), que permitió el incremento de las bases (Ca, Mg, K) durante los 10 años de labranza convencional por la adición de fertilizantes, no obstante, la saturación de bases disminuye progresivamente al incrementarse el periodo de barbecho.

Materia orgánica particulada (MOP). El contenido de MOP, disminuyó significativamente en la medida en que el suelo fue sometido a labranza, pasando de 78,5 g kg⁻¹ en SV a 51,0, 12,9 y 6,7 g kg⁻¹ después de 5, 10 y 20 años de LC, respectivamente (Figura 1), resultado similar reportan para un molisol en Etiopía, después de 26 años de cultivo hubo pérdida significativa de la MOP (Ashagrie et al., 2007).

El barbecho durante 5 y 10 años incrementó la MOP a 40,5 y 69,9 g kg⁻¹, respectivamente (Figura 1). Otros resultados, en caña, muestran que con 2 años de labranza la MOP disminuyó un 42%, pero

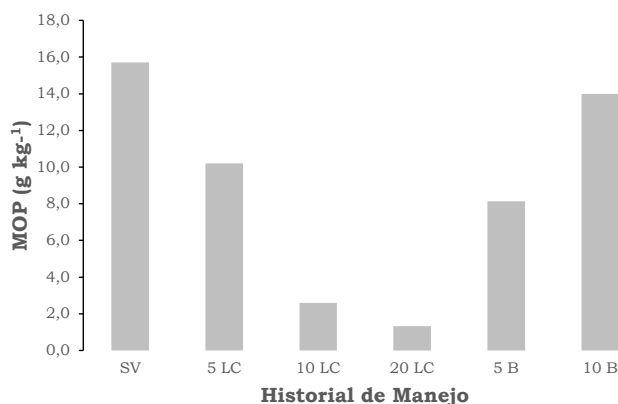


Figura 1. Media del contenido de materia orgánica particulada (MOP) en suelo virgen (SV), suelo sometido a labranza convencional (LC) durante 5, 10 y 20 años y suelos en barbecho durante 5 y 10 años. Diferentes letras indican diferencias significativas, (prueba múltiple de Duncan P≤0.05).

transcurridos 18 y 25 años de cultivo, alcanzó el 80% del contenido inicial, el aporte de hojarasca permanente sería un proceso similar al del barbecho, de igual manera las gramíneas aportan continuamente MO al suelo (Ramírez, 2016) y se menciona que en pastizales no intervenidos la MOP fue de 20,1 g kg⁻¹ y con labranza fue de 11,7 g kg⁻¹ (Silva et al., 2007), es así como el manejo del suelo influye fuertemente en la fracción de MOP (Bongiorno et al., 2019, Blanco-Moure et al., 2013, Marriott y Wander, 2006).

En estos andisoles tropicales el contenido de carbono se incrementa con el barbecho y disminuye por la labranza, dado que la pérdida de humedad de la MO y su exposición a la oxidación por los microorganismos, provoca su mineralización (Huang et al., 2010; de Souza et al., 2010), y se incrementa su pérdida por erosión. En el cambio de uso del suelo, de bosque nativo a cultivos, se disminuye el carbono orgánico y los nutrientes, con el consecuente deterioro de la estructura del suelo (Six, et al., 2004).

La disminución del contenido de MOP en los suelos bajo labranza, muestra que esta es una fracción sensible a los cambios (Bongiorno et al. 2019, Blanco-Moure et al., 2013; Bongiovanni y Lobartini, 2006; Cambardella y Elliott, 1992) y al aumentar con el barbecho, en el corto plazo, en estos andisoles, la MOP sería un indicador apropiado de la calidad del suelo.

Materia orgánica particulada y estabilidad de agregados. En la medida en que se incrementó el contenido de MOP (Figura 1) aumentó el diámetro medio ponderado (DMPH) en los distintos historiales de manejo del suelo (Tabla 1). Entre los mecanismos propuestos para explicar la estabilización de la materia orgánica del suelo, aparece el físico, en el cual la MOS es protegida por la estrecha asociación con las partículas de limo y arcilla formando los agregados de suelo (de Souza et al., 2010; Silva et al., 2007, Six, et al., 2004) que podría explicar en parte el aumento del DMPH de los agregados en el suelo virgen y con 5 y 10 años de barbecho.

La relación logarítmica entre MOP y DPMh (Figura 2), indica la relevante participación de la MOP en la agregación del suelo (Six, et al., 2004). El DMPH se explica a partir del logaritmo natural de la MOP, el aumento de tamaño de los agregados, en un 80%, es debido al contenido de la MOP.

Los procesos de labranza en este Andisol ocasionaron cambios en la MOP del suelo, lo que determinó un deterioro físico reflejado en la disminución del DMPH, (Six, et al., 2004) y detrimento biológico al disminuir el carbono. Resultados similares, en andisol mexicano, el cambio de bosque a cultivo de papa disminuyó el DMP, pero se conservó una microestructura fuerte por la complejación del carbono orgánico con amorfos de Al y de Fe (Meza y Geissert, 2003).

En el barbecho el frecuente aporte de MO, activa a los microorganismos y en el proceso de transformación se liberan agentes de unión órgano-mineral, permitiendo la formación de agregados de mayor tamaño y la estabilidad estructural (Ramírez, 2016; Silva et al., 2007), por el tipo de arcillas de los andisoles (Meza y Geissert, 2003). La MOP es fundamental en la formación y estabilización de los macroagregados del suelo, siendo estos los responsables de la aireación, movimiento del agua, desarrollo de raíces y presencia de organismos que aseguran la fertilidad física del suelo.

Composición mineralógica. Las arenas de estos suelos muestran abundancia de cuarzo, con excepción de los suelos de 20 años LC y los suelos de 5 años de B (Tabla 2); los feldespatos predominan en SV, suelos de 5 años de LC y suelos de 10 años B; los anfíboles son más abundantes en SV, en suelos de 5 años LC y suelos de B durante 5 años, también se encuentran piroxenos y vidrios, minerales típicos de suelos derivados de cenizas volcánicas (IGAC, 2007).

Los piroxenos, anfíboles y feldespatos fueron encontrados en suelos en barbecho (Tabla 2), minerales que por su velocidad de alteración y los nutrientes que pueden liberar favorecerían la fertilidad en estos suelos (Dorrnsoro, et al. 1988).

Las arcillas presentes en el suelo virgen son: interstratificados, clorita, haloisita, methaloisita, montmorillonita, comunes a los suelos derivados de cenizas volcánicas (Nanzzy, 2002; Besoain, 1985) (Figura 3). El análisis por Rayos X revela el patrón mineralógico característico de los andisoles: alófana-haloisita-caolinita (Nanzzy, 2002; Malagón et al., 1991).

La alófana (aluminio-silicatos no cristalino o amorfos) fue corroborada en estos con la prueba de Fieldes y Perrot (con NaF). En SV es posible que por la humedad y los componentes húmicos preserven la condición amorfa de complejos aluminio-humus y filosilicatos 2:1, montmorillonita (Dahlgren et al., 2004; Nanzzy, 2002).

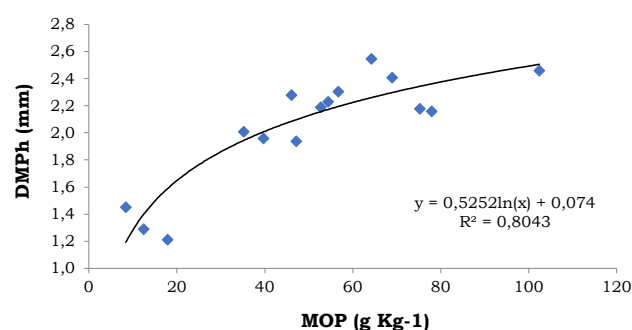


Figura 2. Relación entre el contenido de materia orgánica particulada (MOP g kg⁻¹) y el diámetro medio ponderado en húmedo (DMPh), en Andisol.

a presencia de vermiculita, esmectita, clorita e interstratificados, (Figuras 3, 4 y 8) en SV, suelos LC 5 años y con 10 años de barbecho, pueden provenir de las micas primarias por múltiples procesos, y le otorgan al suelo alta CIC y potencial productivo (Dorrnsoro et al., 1988).

En Andisoles, la vermiculita es un constituyente relativamente frecuente, aunque en cantidades pequeñas (Besoain, 1985), se presenta en forma de partículas finas a menudo asociada con mica y montmorillonita o interstratificada con estos minerales, como pudo verse en los suelos prístinos y 5 LC (Figuras 3 y 4).

En los difractogramas de 10 y 20 años de LC se aprecian picos correspondientes a caolinita y a gibsita (Figuras 5 y 6) que se presentan en los andisoles de mayor evolución (Malagón et al., 1991) por neoformación a partir de materiales amorfos de la meteorización de las cenizas volcánicas y feldespatos en presencia de una estación seca (Nanzzy, 2002) como en los suelos estudiados; además la analogía estructural entre alófana y caolinita permite sugerir que parcialmente la caolinita se produce a expensas de los centros activos de génesis de la alófana.

Los minerales interstratificados (Figura 7 y 8) o minerales de capa mixta, en condiciones de humedad, como en 5 y 10 años de barbecho, la posibilidad de que arcillas no expandibles, como la clorita y las micas, se degraden a arcillas expandibles, indican recuperación del suelo; igualmente a partir las formas interstratificadas por neoformación pueden generarse esmectitas, que aparecen en los suelos de 10 años de barbecho (Figura 8) (Dahlgren et al, 2004; Besoain, 1985; Nanzzy, 2002).

La presencia de goetita en los suelos 10 LC y 20 LC puede estar asociada a la disminución de la MO, dado que los complejos MO-Fe tienden a hidrolizarse y los hidróxidos de Fe con ligeros cambios de oxidación pasan a goetita (Malagón et al, 1991; Acevedo-Sandoval et al. 2004). La interacción de

Tabla 2. Composición porcentual de la fracción arena de un Andisol (SV, suelo virgen, 5LC 5 años de labranza, 10LC 10 años de labranza, 20LC 20 años de labranza, 5B 5 años de barbecho, 10B 10 años de barbecho).

MINERALES	SV	5 LC	10 LC	20 LC	5 B	10 B
Piroxenos	2	2	0	0	0	2
Feldespatos	20	14	5	1	8	23
Cuarzos	16	15	11	0	6	11
Vidrios	17	1	1	1	2	8
Biotitas	0	3	0	1	0	0
Alterados (*)	0	47	80	97	61	20
Fitolitos	4	3	2	0	6	19
Anfíboles	41	13	2	1	14	1
opacos de alterados	1	3	0	0	2	1
Clorita	0	0	0	0	2	0

(*) Corresponden posiblemente a Limonita, por el color.

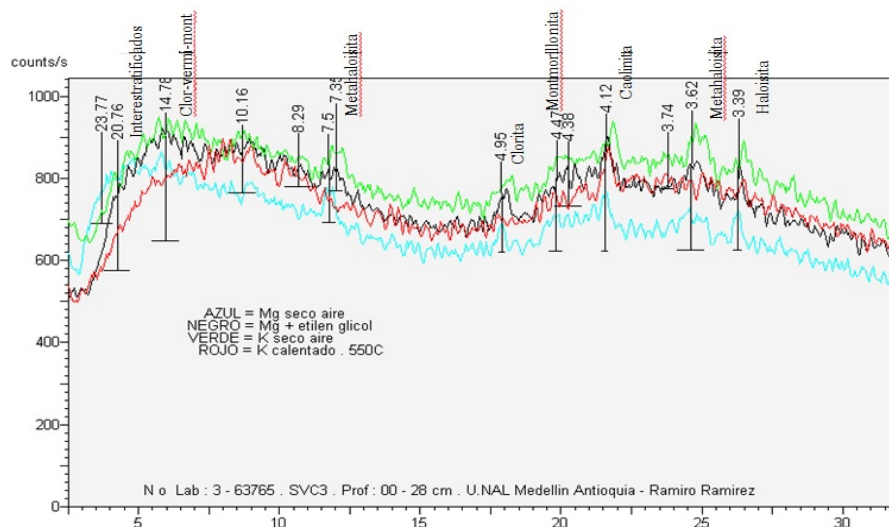


Figura 3. Difractograma del Andisol colombiano en condición virgen (SV).

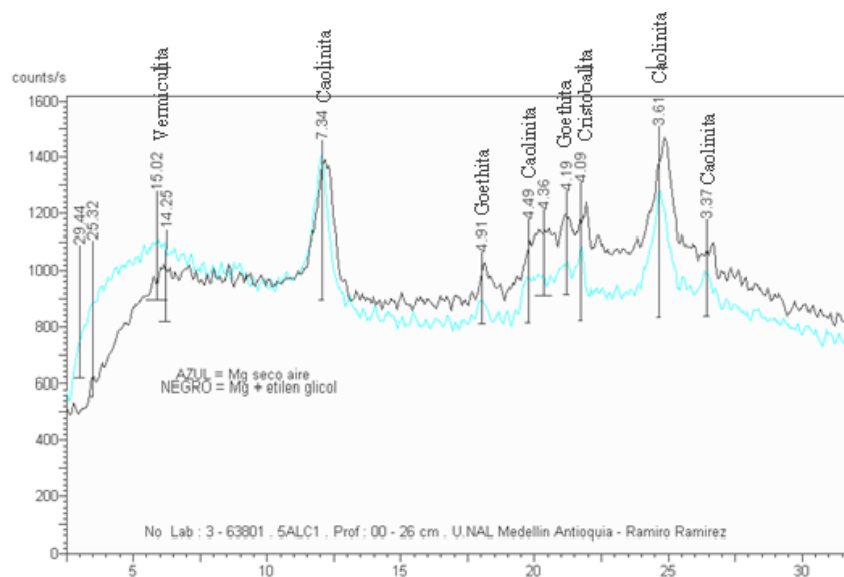


Figura 4. Difractograma de un Andisol colombiano después de 5 años de labranza (5LC).

los componentes amorfos orgánicos e inorgánicos, como los de hierro, en los andisoles es compleja (Malagón et al, 1991) y dinámica con cambios en corto plazo, como se evidencia en estos suelos. La gibsita es un mineral autigénico proveniente de las cenizas volcánicas de ocurrencia en los andisoles maduros y envejecidos, que se corresponderían con las condiciones estudiadas.

En los suelos después de 5 y 10 años de barbecho, el incremento de la MO facilita su amplia interacción con los amorfos inorgánicos, por ser la alófana un fuerte adsorbente de las sustancias orgánicas, retrasaría su degradación, favoreciendo su dinamismo y evolución (Duchaufour, 1984).

Los ácidos húmicos preservan la condición amorfa de los geles minerales inmovilizando los hidróxidos de Fe y Al, en correspondencia la alúmina, ejerce un efecto en la evolución de la MO, porque estos compuestos al mantener la humedad constante aceleran la descomposición de la materia orgánica fresca, es decir la hojarasca de los barbechos, pero a su vez estabilizan y protegen sus compuestos humificados, contra la biodegradación microbiana favoreciendo su acumulación en el suelo (Duchaufour, 1984).

La presencia de minerales interestratificados, caolinitas, vermiculitas y gibsita en los suelos con 5 años de barbecho (Figura 7) y la posterior acumulación de restos vegetales, MOP y MO explican

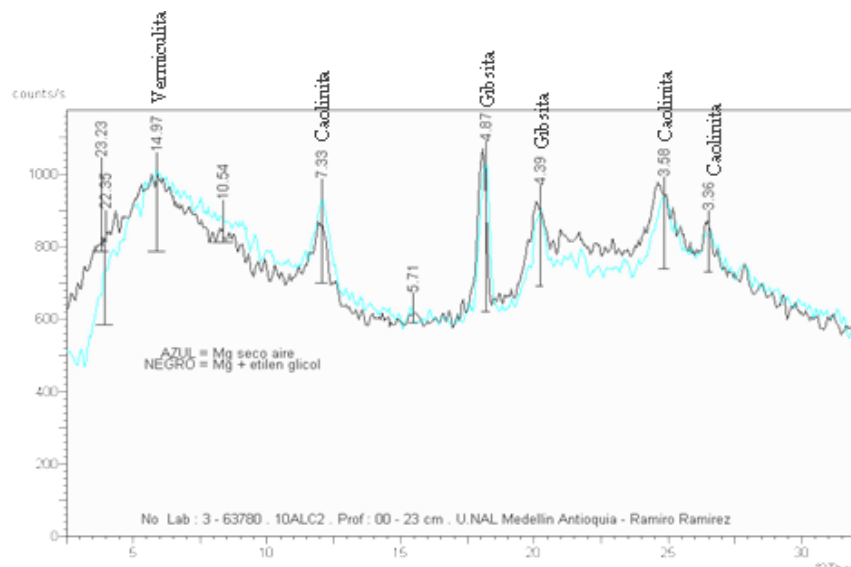


Figura 5. Difractograma de un Andisol colombiano luego de 10 años de labranza.

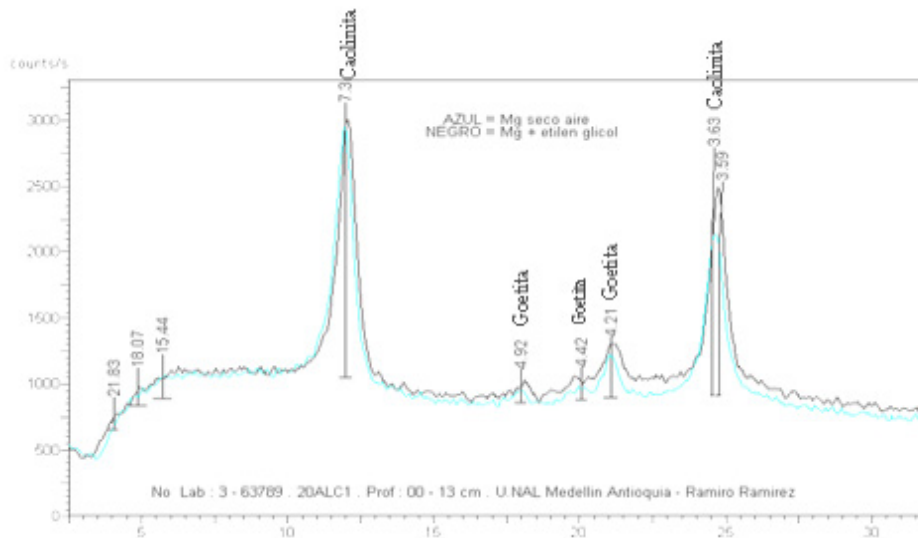


Figura 6. Difractograma de un Andisol colombiano luego de 20 años de labranza.

que con 10 años de barbecho aparezcan haloisitas, metahaloisitas, interestratificados y esmectitas (Figura 8). Los cambios en la fracción arcilla por efectos del barbecho están relacionados con la actividad de la MO, debido a que los complejos de alúmina-humus en enriquecimiento de MO (barbecho), por su reactividad, baja el pH y puede aparecer Al soluble, que al coprecipitar con sílice forma arcillas aluminosilicatadas (Dahlgren, et al. 2004), inicialmente pobres en sílice como la haloisita, pero a medida que avanza el proceso metaestable aparecen metahaloisita y caolinita (Malagón et al., 1991) proceso evolutivo de los andisoles. A partir de los interestratificados se neoforman vermiculitas y esmectitas características de andisoles jóvenes.

En los suelos mantenidos en barbecho, parece haber operado una “recuperación” de la capacidad productiva del suelo, que coincide con el incremento de la MO y la presencia de esmectita, que ejercen efectos favorables en cuanto a la capacidad de intercambio de cationes, la retención de humedad y la porosidad, que entre otras son características de aumento en la fertilidad del suelo.

En los suelos degradados, 10 y 20 años de LC con color amarillo, contrasta con el oscurecimiento al dejarlos en barbecho, este empardecimiento sugiere un incipiente proceso de melanización, estimulado por la acumulación de MO que se estabiliza con los minerales de hierro y aluminio y las arcillas derivadas; lo interesante es la relativa rapidez con que se

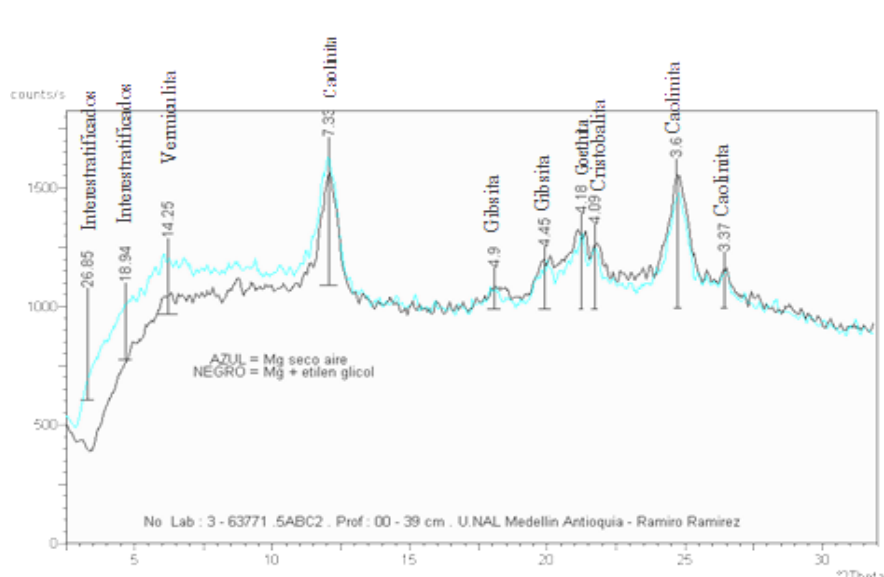


Figura 7. Diffractograma de un Andisol colombiano luego de 5 años de barbecho.

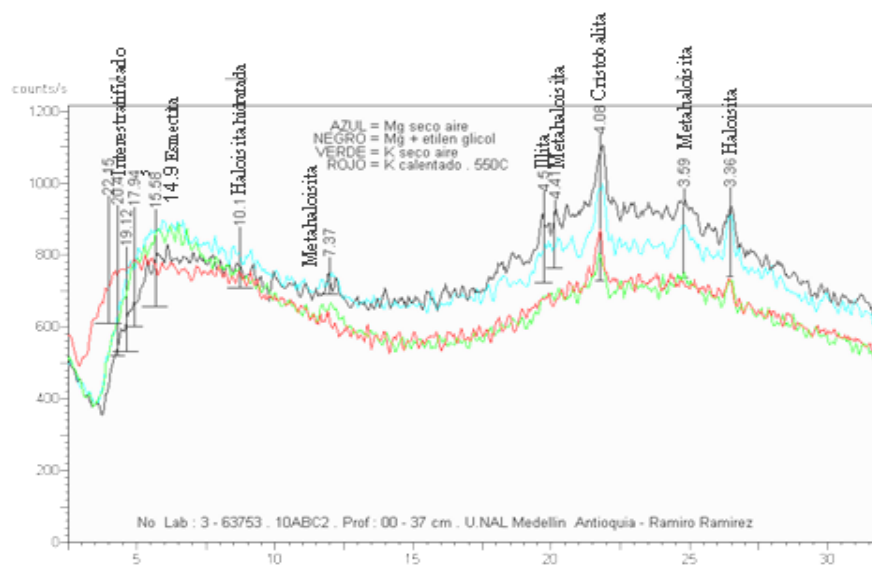


Figura 8. Diffractograma de un Andisol colombiano luego de 10 años de barbecho.

producen estas transformaciones, pues se observó que en 10 años de barbecho se puede invertir el proceso degradativo de la labranza.

Conclusiones

La MOP es sensible a los procesos de labranza, similar a lo evidenciado con el DMPH. Se presenta una relación logarítmica directa y positiva entre MOP y DMPH, que indica la influencia de la MOP en la estabilización de los agregados y en la fertilidad física del suelo.

El barbecho por su aporte en MO al suelo genera una serie de procesos que cambian la dinámica de los amorfos inorgánicos y originan modificaciones en la mineralogía de la fracción arcilla semejante a la de andisoles jóvenes.

La labranza altera el ambiente edáfico que favorece la formación de caolinitas y óxidos de Fe y Al característicos de andisoles envejecidos. Los cambios en la MOP y en la mineralogía por el manejo del suelo se registraron en relativo corto tiempo.

Referencias

- Acevedo-Sandoval, O., Ortiz-Hernández, E., Cruz-Sánchez, M. y Cruz-Chávez, E. (2004). El papel de óxidos de hierro en suelos. *Terra Latinoamericana*, 22(4), 485-497. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57311096013.pdf>
- Ashagrie, Y., Zech, W., Guggenberger, G. y Mamo, T. (2007). Soil aggregation, and total and particulate organic matter following conversion of native forests to continuous cultivation in Ethiopia. *Soil and Tillage Research*, 94(1), 101-108.
- Asio, V.B., John, R. y Stahr, K. (1999). Changes in the properties of a volcanic soil (andisol) in Leyte (Philippines) due to conversion of forest to other land uses. *Journal of Science*, 128(1), 1-13. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=PH2000100347>
- Besoain, E. (1985). *Mineralogía de arcillas de suelos*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Blanco-Moure, N., Gracia, R., Bielsa, A.C. y López, M.V. (2013). Long-term no-tillage effects on particulate and mineral-associated soil organic matter under rainfed Mediterranean conditions. *Soil Use and Management*, 29(2), 250-259. <https://doi.org/10.1111/sum.12039>
- Bongiorno, G., Bünemann, E.K., Oguejiofor, C.U., Meier, J., Gort, G., Comans, R., ... de Goede, R. (2019). Sensitivity of labile carbon fractions to tillage and organic matter management and their potential as comprehensive soil quality indicators across pedoclimatic conditions in Europe. *Ecological Indicators*, 99, 38-50. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.008>
- Bongiovanni, J.C. y Lobartini, M.D. (2006). Particulate organic matter, carbohydrate, humic acid contents in soil macro- and microaggregates as affected by cultivation. *Geoderma*, 136(4), 660-665. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.05.002>
- Cambardella, C.A. y Elliott, E.T. (1992). Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, 56(3), 777-783. <https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x>
- Dahlgren, R.A., Saigusa, M. y Ugolini, F.C. (2004). The Nature, Properties and Management of Volcanic Soils. *Advances in Agronomy*, 82, 113-182. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(03\)82003-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(03)82003-5)
- De Souza, E.D., Costa, S.E.V. de A., Anghinoni, I., Carvalho, P.C. de F., Oliveira, E.V.F., Martins, A.P., ... Andrighetti, M. (2010). Soil aggregation in a crop-livestock integration system under no-tillage. *Ciência do Solo*, 34(4), 1365-1374. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400033>
- Dorronsoro, C., Arco, J. y Alonso, P. (1988). Índices de alteración mineral en las fracciones arena gruesa de suelos. *Anales de Edafología y Agrobiología*, 47(1-2), 111-134.
- Duchaufour, P.H. (1984). *Edafología, edafogénesis y clasificación*. Masson.
- Fließbach, A., Oberholzer, H.R., Gunst, L. y Mäder, P. (2007). Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118(1-4), 273-284. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.05.022>
- Huang, S., Sun, Y.N., Rui, W.Y., Liu, W.R. y Zhang, W.J. (2010). Long-term effect of no-tillage on soil organic carbon fractions in a continuous maize cropping system of Northeast China. *Pedosphere*, 20(3), 285-292.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2006). *Métodos analíticos de Laboratorio de suelos*. (6.ª ed.). IGAC.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2007). Estudio semidetallado de suelos de las áreas potencialmente agrícolas del Departamento de Antioquia. (Vols. 1-3). Imprenta Nacional.
- Lal, R. (2014). Societal value of soil carbon. *Journal of Soil and Water Conservation*, 69(6), 186A-192A. <https://doi.org/10.2489/jswc.69.6.186A>
- Lopes, I.M., Assunção, S.A., de Oliveira, A.P.P., dos Anjos, L.H., Pereira, M.G. y Lima, E. (2017). Carbon fractions and soil fertility affected by tillage and sugarcane residue management of a Xanthic Udults. *Semina: Ciências Agrárias*, 38(5), 2921-2932. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n5p2921>
- Malagón, D., Pulido, C. y Llinas, R. (1991). Genesis y taxonomía de los andisoles colombianos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). *Investigaciones*, 3(1), Bogotá, 118p.
- Marriott, E.E. y Wander, M. (2006). Qualitative and quantitative differences in particulate organic matter fractions in organic and conventional farming systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(7), 1527-1536. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.11.009>
- Meza, E. y Geissert, D. (2003). Estructura, agregación y porosidad en suelos forestales y cultivados de origen volcánico del Cofre De Perote, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 5(2), 57-60. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49750209>
- Nanzoy, M. (2002). Unique Properties of Volcanic Ash Soils. *Global Environmental Research*, 6(2), 99-112.
- Ramírez, R. (2016). Fertilidad integral del suelo. En A. Torrente (Ed.), *Actualización en fertilidad del suelo* (pp. 41-56). Sociedad colombiana de la ciencia del suelo (SCCS).
- Shoji, S., Nanzoy, M. y Dahlgren, R.A. (1993). *Volcanic ash soils- Genesis, properties and utilization*. Elsevier.
- Silva, A.J., Ribeiro, M.R., Carvalho, F.G., Silva, V.N. y Silva, L.E. (2007). Impact of sugarcane cultivation on soil carbon fractions, consistence limits and aggregate stability of a Yellow Latosol in Northeast Brazil. *Soil and Tillage Research*, 94(2), 420-424. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.09.002>
- Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S. y Deneff, K. (2004). A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and Tillage Research*, 79(1), 7-31. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.03.008>
- Toledo, D., Galantini, J., Ferreccio, E., Arzuaga, S., Gimenez, L. y Vázquez, S. (2013). Indicadores e índices de calidad en suelos rojos bajo sistemas naturales y cultivados. *Ciencia del suelo*, 31(2), 201-212.
- Zúñiga, F., Dec, D., Valle, S., Dörner, J. y MacDonald, R. (2014). Estabilidad estructural de un Andisol (Typic Durudand) bajo bosque nativo y pradera en el Sur de Chile. *Agro Sur* 42(3), 55-66. <http://revistas.uach.cl/index.php/agrosur/article/view/4113/5164>