

LA MATERIA ORGÁNICA PARTICULADA: COMPARACIÓN DE MÉTODOS PARA SU DETERMINACIÓN Y SU VALOR COMO INDICADOR DE CALIDAD DE SUELOS DEL CHUBUT

LINA SONIA VIDELA; CÉSAR MARIO ROSTAGNO & MARÍA ALICIA TOYOS

Centro Nacional Patagónico-CONICET. B. Brown S/N (9120) Puerto Madryn, Chubut. E-mail: videla@cenpat.edu.ar

Recibido: 31/01/08

Aceptado: 17/12/08

RESUMEN

La materia orgánica particulada (MOP) es un componente dinámico del suelo, que responde selectiva y rápidamente a los cambios de manejo y distintos tipos de disturbios. El objetivo de este estudio fue comparar dos técnicas de determinación de MOP en distintos suelos y evaluar el potencial de esta variable como indicadora de calidad de los mismos. Se estudiaron tres sitios ecológicos de la provincia del Chubut con distinto manejo o afectados por distintos disturbios: Media Luna Clausura (ML_C), Media Luna Pastoreo (ML_P), Puerto Madryn bioperturbado (PM_B), Puerto Madryn no bioperturbado (PM_{NB}), Punta Ninfas no erosionado (PN_{NE}) y Punta Ninfas erosionado (PN_E). En muestras de suelos extraídas de 0 a 5 cm (PM y PN) y de 0 a 10 cm (ML) de profundidad se determinó la materia orgánica total (MOT) y la MOP por vía húmeda (MOPh) (Método Walkley y Black) y por ignición en mufla (MOPi) a 430 °C. En los Molisoles de ML y en los Aridisoles de PM la MOPi fue mayor que la MOPh, mientras que para los Aridisoles de PN no se registraron diferencias significativas entre los dos métodos. Para los suelos con carbonatos (PM) o con alofanos (ML), el método por ignición sobreestimó los contenidos de MOP. La MOT presentó una alta correlación con la MOPh y con la MOPi para todos los suelos en conjunto ($r^2 = 0,89$ y $r^2 = 0,73$, respectivamente). El suelo que presentó una mayor relación MOP/MOT fue PN_{NE}. En contraste, el suelo PN_E mostró los valores más bajos para esta relación, lo que indicaría, por un lado, que la poca MO que contienen estos suelos está predominantemente asociada a la fracción < 0,053 mm, y por el otro, que la erosión afecta en mayor medida las reservas de MOP que las de MOT. Para los suelos PM, la relación MOPi/MOT fue mayor que uno, debido a la sobreestimación del método por ignición en estos suelos con abundante carbonatos. Tanto la MOT como la MOP determinada por los dos métodos, han permitido detectar diferencias entre tipos de manejo o estado de degradación de los suelos. De todas maneras, la MOP es proporcionalmente más afectada por la erosión y el pastoreo que la MOT, lo cual nos permitiría considerarla como un buen indicador de cambios en la calidad de los suelos bajo condiciones de pastoreo o afectados por procesos erosivos.

Palabras clave. Disturbio, manejo, erosión, bioperturbación.

PARTICULATE ORGANIC-MATTER: A COMPARISON OF METHODS FOR ITS DETERMINATION AND ITS ROLE AS AN INDICATOR OF SOIL QUALITY FOR SOME SOILS IN THE PROVINCE OF CHUBUT

ABSTRACT

Particulate organic-matter (MOP) is a dynamic soil component that quickly and selectively responds to management changes and to different disturbance regimes. We compared two techniques to determine the MOP content in different soils and assessed the potential of this variable as an indicator of soil quality. We studied the soils of three ecological sites located in the province of Chubut under different management schemes or affected by different disturbance regimes: Media Luna enclosure (ML_C), Media Luna-grazing (ML_P), Puerto Madryn bioturbed (PM_B), Puerto Madryn non-bioturbed (PM_{NB}), Punta Ninfas uneroded (PN_{NE}) and Punta Ninfas eroded (PN_E). We collected soil samples from the 0 to 5 cm (PM and PN) or 0 to 10 cm (ML) depths to determine total soil organic-matter (MOT) and MOP using wet combustion MOP_h (Walkley and Black method) and weight loss-on-ignition in a high temperature oven set at 430 °C (MOPi). In the Mollisols and the Aridisols from Puerto Madryn, MOPi was higher than MOPh; in the Aridisols from Punta Ninfas, however, the differences between MOPi and MOPh were not significant. In soils with high calcium carbonate (PM_B and PM_{NB}) or allophane (ML_C and ML_P) contents, the loss-on-ignition method overestimated MOP contents. The MOT contents were highly correlated to both MOPh and MOPi for all soils ($r^2 = 0.89$ and $r^2 = 0.73$, respectively). Both MOT and MOP were sensitive to land management and soil erosion. The soil that displayed the greatest MOP/MOT ratio was the PN_{NE}. On the contrary, the PN_E site showed the lowest values for this ratio, which would indicate that the low MOT content of this soil is predominantly associated to the < 0.053 mm fraction, and that the erosion process decreased the MOP reserves more than the MOT. For the Puerto Madryn soils, the MOPi / MOT ratio was greater than 1. This seems to be mainly due to the overestimation of the loss-on-ignition method in soils with abundant carbonates. Both MOT and MOP, determined by the two methods, can be used to detect differences in management or the state of soil degradation. However, MOP seemed to be more affected by soil erosion and sheep grazing compared to MOT. These results would allow us to consider MOP as a good indicator of changes in soil quality by either soil erosion or sheep grazing.

Key words. Disturbance, management, erosion, bioturbation.

INTRODUCCIÓN

La materia orgánica del suelo (MOS) es uno de los factores más importantes en el control de las características físicas e hidrológicas de los suelos y una fuente de nutrientes esenciales para la producción de biomasa vegetal en los distintos ecosistemas terrestres. La MOS es además de vital importancia como fuente de energía para la flora y la fauna edáficas y sustrato para sostener la diversidad biológica del suelo y sus numerosas funciones (Dubeux *et al.*, 2006).

La MOS puede ser definida como una serie de fracciones a lo largo de un continuo de descomposición. Su balance es mantenido por el aporte del mantillo al suelo, el cual ingresa al mismo como materia orgánica particulada (MOP). Conceptualmente, la MOP, a la que algunos autores también la denominan materia macroorgánica (Willson *et al.*, 2001), es la fracción transitoria de la MOS que, en ese continuo de transformación, se encuentra en un estado intermedio entre el mantillo más o menos reciente y la materia orgánica humificada (MOH) y estable. Analíticamente, la MOP es una fracción de la materia orgánica total (MOT), factible de ser aislada físicamente y definida por un rango de tamaño (e.g. 0,053 a 2,0 mm), retenida sobre un tamiz de 0,053 mm luego de que el suelo ha sido dispersado (Cambardella *et al.*, 2001).

La MOP es un compuesto dinámico del suelo y una importante fuente de carbono orgánico (CO) y nutrientes. Por tratarse de una fracción más lábil que la MOH o asociada a la fracción mineral fina, responde selectiva y rápidamente a los cambios en el uso y el manejo del suelo (Biederbeck *et al.*, 1994; Six *et al.*, 2002; Plante *et al.*, 2006). Por tal razón, la MOP se ha considerado como un potencial indicador temprano de los cambios de la calidad del suelo, además de su preponderante rol en el control de funciones claves del mismo (Doran & Parkin, 1994).

En los pastizales naturales áridos y semiáridos los estudios sobre los cambios en la calidad del suelo se han analizado en relación al pastoreo por el ganado doméstico (Milchunas & Lauenroth, 1993; Villamil *et al.*, 2001; Rostagno, 2001), la erosión de suelos (Parizek *et al.*, 2002), las actividades de servicios como la instalación de gasoductos (Kowaljow & Rostagno, 2008) y en relación a la actividad bioperturbadora de la fauna excavadora (Boqué, 2006). Las actividades naturales y antrópicas que reducen la cobertura vegetal, entre las cuales se encuentran el pastoreo, la minería, los servicios o la bioperturbación, no sólo afectan la cantidad de mantillo que llega al suelo sino que cambian la composición florística, que a su vez afecta el balance del CO y los nutrientes del suelo (Carrera *et al.*, 2003; Carrera *et al.*, 2005; Boqué, 2006).

La literatura cita diversos métodos de aislamiento de las fracciones de MOP (Cambardella & Elliott, 1992;

Galantini, 2005), y de determinación del CO de las mismas. En general, la determinación del CO de las fracciones de la materia orgánica y de la MOT del suelo se realiza por combustión por vía húmeda (Walkley & Black, 1934), por ignición (Davies, 1974) o mediante el uso de un auto-analizador (Cambardella *et al.*, 2001). De acuerdo con Carreira (2005), el método de Walkley & Black (1934) es uno de los más utilizados en los laboratorios de análisis de suelos. Este método es más costoso, insume más tiempo y es ambientalmente menos recomendable que la determinación por ignición. Por su parte, el método por ignición a altas temperaturas sobreestima los contenidos de MOS, principalmente la MOT, dado que junto con la misma se volatilizan otros compuestos que generalmente provienen de las fracciones más finas del suelo (Carreira, 2005). El empleo de autoanalizadores, reconocido como el método más preciso para la determinación de la MOS, tiene entre sus principales limitaciones la elevada inversión inicial y el requerimiento de personal altamente calificado para su manejo y mantenimiento (Cambardella *et al.*, 2001).

Para los suelos del Chubut, la MOP no ha sido considerada hasta ahora como un indicador de la calidad de los suelos bajo distintos tipos de manejo y en distintos estados de degradación. Por tal motivo, los objetivos de este estudio fueron: a) comparar dos técnicas de determinación de MOP en distintos suelos y b) evaluar el potencial de esta variable como indicadora de calidad de los suelos de los pastizales naturales de Patagonia. Un buen indicador de calidad de suelo debe ser lo suficientemente sensible a las condiciones de manejo y a su vez estar relacionado a aspectos funcionales relevantes, por lo que la MOP y su relación con la MOT deberían reflejar los cambios causados por el manejo en el funcionamiento de los pastizales naturales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se muestrearon tres sitios de la provincia del Chubut, abarcando una amplia gama de condiciones ambientales, vegetación, estado de degradación, uso y propiedades del suelo. Estos sitios fueron:

- a) Media Luna (ML) (45° 36' S 71° 25' W). La precipitación media anual en este sitio es de 374 mm y la temperatura media anual de 4,6 °C. Fisonómicamente es una estepa herbácea de *Festuca palleseus* (St. Yves Parodi), correspondiente a la Provincia Patagónica, Distrito Subandino (Soriano, 1956).
- b) Punta Ninfas (PN) (43° 05' S 64° 30' W) que posee una precipitación media anual de 260 mm y una temperatura media anual 13 °C. Fisonómicamente es una estepa arbustiva-herbácea de *Stipa tenuis* Phil., *Piptochaetium*

napostaense (Speg.) Hack. ap. Stuck., y *Chuquiraga avellanadae* L., correspondiente a la Provincia Patagónica, Distrito Central, Subdistrito Chubutense (Soriano, 1956).

- c) Puerto Madryn (PM) (42° 50' S 65° 05' W). Con una precipitación media anual de 230 mm y una temperatura media anual de 13,4 °C. Se trata de una estepa arbustiva de *Chuquiraga avellanadae* L. y *Larrea divaricata* Cav. con un tapiz herbáceo de *Stipa tenuis* Phil., *Poa ligularis* Nees ap. Steud., correspondiente a la Provincia del Monte Austral (León *et al.*, 1998).

En ML se tomaron muestras de un área clausurada al pastoreo ovino (ML_C) durante 17 años y del área adyacente a la clausura (ML_P). En PN, las muestras fueron tomadas en dos parches de vegetación característicos de esta área y que representan distintos estados de degradación del pastizal: parches no erosionados en los que dominan los pastos perennes (PN_{NE}) y parches erosionados, con pavimento de erosión (PN_E) (Beeskow *et al.*, 1995). En PM, las muestras fueron colectadas en un campo clausurado al ganado ovino, pero que se encuentra afectado por la actividad de fauna silvestre. En este caso, se tomaron muestras de suelo de acumulaciones o túmulos que representan bioperturbaciones producidas por roedores excavadores del género *Ctenomys* (tuco-tucos) (PM_P) y del suelo adyacente, aledaño no disturbado (PM_{NB}) (Boqué, 2006).

En los tres sitios se tomaron 8 muestras de suelo al azar por cada tratamiento (tipo de manejo o disturbio). En los sitios PM y PN las muestras fueron colectadas de 0-5 cm de profundidad; en el sitio ML se colectaron de 0-10 cm. Las muestras fueron secadas al aire y luego tamizadas por tamiz de 2 mm. Sobre esta fracción se determinó el contenido de carbonato de calcio (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954), la distribución de tamaño de partículas (Day, 1965) y el COT por el método de combustión húmeda de Walkley & Black (1934) y se lo expresó como porcentaje de MOT multiplicándolo por el factor 1,724. El método por ignición no es utilizado en la determinación del CO para los suelos del Chubut, ya que sobreestima los contenidos de MOT, dado que junto con la misma se volatilizan otros compuestos que generalmente provienen de las fracciones más finas del suelo (Carreira, 2005).

Definimos la MOP como una fracción aislada, de tamaño de 0,053 a 2,0 mm, que es retenida sobre un tamiz de 0,053 mm de abertura de malla después de dispersar el suelo (Cambardella *et al.*, 2001). Para su determinación se tomaron 10 g de suelo seco al aire, tamizado por 2 mm y desagregado con hexametáfosfato de sodio (5 g L⁻¹) en agitador orbital a 2000 r.p.m. durante 2 h. Posteriormente, las muestras fueron pasadas por tamiz de 0,053 mm. La fracción >0,053 mm fue secada en estufa a 100 °C durante 24 h y pesada. Sobre esta fracción se practicaron dos métodos de determinación: por vía húmeda (MOPh), según el método de Walkley & Black (1934), el cual fue considerado el método de referencia y por vía seca por ignición en mufla (MOPi). Para este último, las muestras pesadas fueron calcinadas en una mufla a 450 °C durante 4 h, enfriadas y pesadas. La MOPi se calculó como:

$$\text{MOPi (\%)} = \left(\frac{\text{PM}_{0,053 \text{ a } 2 \text{ mm}} 100^\circ\text{C} - \text{PM}_{0,053 \text{ a } 2 \text{ mm}} 450^\circ\text{C}}{100/\text{PM}_{< 2 \text{ mm}}} \right) *$$

La MOPh se calculó según la fórmula propuesta por Galantini (2005) como:

$$\text{MOPh (\%)} = \% \text{ COPh} * 1,724$$

y

$$\% \text{ COPh} = \% \text{ COPd} * [1 - (\text{FF}/100)]$$

donde PM es el peso de la muestra; FF es la fracción <0,053 mm expresada como % y COPd es el CO determinado en la fracción >0,053 mm.

También se calcularon las relaciones MOPh/MOT y MOPi/MOT.

El análisis estadístico de los datos se realizó con el programa SPSS (1997). Para verificar la significancia de las diferencias entre los distintos tratamientos (manejo y disturbios) para las variables MOT, MOPh, MOPi, MOPh/MOT y MOPi/MOT se realizó un análisis de la varianza de una vía y las diferencias significativas fueron analizadas por el test de Fisher LSD ($p < 0,05$). A través de análisis de regresión lineal se estableció la relación entre MOT y MOPh y MOPi, respectivamente.

RESULTADOS

Características de los sitios y de los suelos

Las características de los suelos de los sitios muestreados, los tipos de uso o disturbio, la fisonomía de la vegetación, la distribución de tamaño de partículas y los contenidos de carbonatos se presentan en la Tabla 1.

Todos los suelos, a excepción de PN_E, presentaron una textura franco arenosa. El suelo PN_E presentó el mayor porcentaje medio de arcilla con una textura correspondiente a la clase franco arcillo arenosa. Los contenidos de carbonato variaron entre 0% en los Haplocryolles Xéricos a más del 3% en los Haplocalcides. En estos últimos los mayores contenidos se registraron en los suelos de los túmulos producidos por la actividad excavadora de los tuco-tucos.

Comparación de métodos para determinar MOP

En la Figura 1 se presentan los valores de MOPh y MOPi para cada uno de los suelos estudiados y en la Tabla 2 los valores de MOT y la relación MOP/MOT. Los valores de MOT fueron mayores que los de MOPh y MOPi para los suelos de ML y PN, pero, contrariamente a lo esperado, para los suelos de PM los valores de MOT fueron inferiores a los de MOPi, lo que nos estaría indicando una sobreestimación de la MOP cuando se emplea

Tabla 1. Características de los suelos y la vegetación en tres sitios ecológicos de Chubut según tipo de uso o disturbio.
Table 1. Soil and vegetation characteristics for three ecological sites of the Chubut province affected by different use and disturbance.

Sitio	Suelo	Vegetación	Proporción de tamaños de partículas (%)			CO ₃ Ca (%)	
			Arena	Limo	Arcilla		
ML _C	Haplocryolls	Xérico	EH	85	13	2	0
ML _P	Haplocryolls	Xérico	EH	83	14	3	0
PM _B	Haplocalcids	Xérico	EAH	78	17	5	3,76
PM _{NB}	Haplocalcids	Xérico	EAH	74	16	10	1,84
PN _{NE}	Calcicargid	Xérico	EH	71	18	11	0,15
PN _E	Calcicargid	Xérico	EA	60	18	22	0,19

ML_C y ML_P: Media Luna clausura y pastoreo; PM_B y PM_{NB}: Puerto Madryn bioperturbado y no bioperturbado; PN_{NE} y PN_E: Punta Ninfas no erosionado y erosionado. EH: Estepa herbácea; EAH: Estepa arbustiva herbácea y EA: Estepa arbustiva.

ML_C and ML_P: Media Luna closure and grazing; PM_B and PM_{NB}: Puerto Madryn bioturbated and non bioturbated; PN_{NE} and PN_E: Punta Ninfas unneroded and eroded. EH: Grass steppe; EAH: Shrub-grass steppe and EA: Shrub steppe.

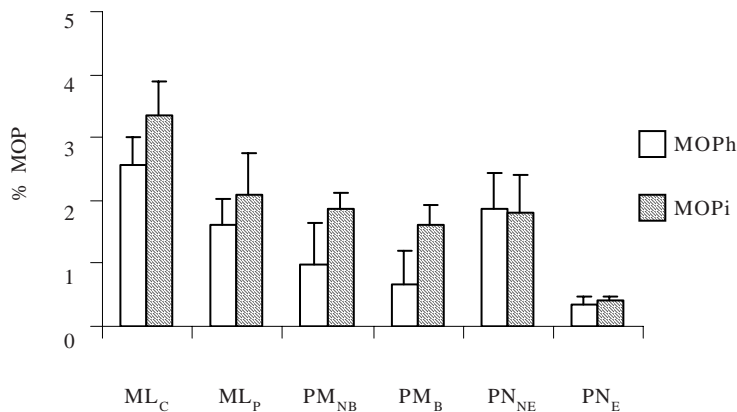


Figura 1. Contenidos de Materia Orgánica Particulada (MOP) determinada por vía húmeda (MOPh) y por ignición (MOPi) para cada uno de los suelos de los tres sitios ecológicos de Chubut según tipo de uso o disturbio. Los acrónimos de los sitios son los mismos que en la Tabla 1.

* Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre MOPh y MOPi.

Figure 1. Particulate organic matter (MOP) content as determined by wet combustion (MOPh) and by loss-on-ignition (MOPi) for soils of three ecological sites of the Chubut province affected by different use and disturbance. Acronyms are as in Table 1.

* Different letters indicate significant differences ($p < 0,05$) between MOPh and MOPi.

el método por ignición. La MOPi presentó valores mayores que la MOPh para los suelos de ML y PM, mientras que para PN, no se registraron diferencias significativas entre MOPi y MOPh (Fig. 1). La MOT presentó una alta

correlación con la MOPh y con MOPi considerando todos los suelos estudiados (Figs. 2 y 3).

Cuando se compararon las dos técnicas de determinación de MOP a través de un análisis de regresión (Fig.

Tabla 2. Valores medios y desvíos estándar (DE) de las variables analizadas de los suelos de tres sitios ecológicos de Chubut según tipo de uso o disturbio. Los acrónimos de los sitios son los mismos que en la Tabla 1.

Table 2. Mean and standard deviation (DE) for studied soil variables of three ecological sites of the Chubut province affected by different use and disturbance. Acronyms are as in Table 1.

Sitio	MOT(%)	MOPh/MOT	MOPi/MOT
	Media (DE)	Media (DE)	Media (DE)
ML _C	4,02 (0,54) a*	0,63 (0,04) ab	0,71 (0,06) a
ML _P	2,83 (0,59) b	0,56 (0,06) ab	0,61 (0,06) ab
PM _B	1,39 (0,50) c	0,67 (0,30) ab	1,15 (0,32)#
PM _{NB}	1,23 (0,35) c	0,55 (0,30) ab	1,10 (0,10)#
PN _{NE}	2,57 (0,69) b	0,74 (0,10) a	0,68 (0,10) a
PN _E	1,05 (0,30) c	0,40 (0,20) b	0,41 (0,2) b

MOT: materia orgánica total; MOPh/MOT: materia orgánica particulada determinada vía húmeda/materia orgánica total y MOPi/MOT: materia orgánica particulada determinada por ignición/materia orgánica total.

MOT: total organic matter; MOPh/MOT: particulate organic matter as determined by wet combustion/total organic matter and MOPi/MOT: particulate organic matter as determined by loss-on-ignition/total organic matter.

* Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre sitios.

* Different letters indicate significant differences ($p < 0,05$) among sites.

No se consideró en el análisis estadístico por presentar valores > 1 .

Statistical analysis was not considered as value were > 1 .

4), se observó que los valores correspondientes al suelo de Puerto Madryn fueron los que más se apartaron de la recta y que además presentaron valores de MOPi mayores que los obtenidos por vía húmeda. Sin embargo, cuando fueron excluidos los datos de PM, se pudo observar un muy buen ajuste lineal (Fig. 5).

Evaluación de la MOT y de la MOP como indicadores de calidad de suelos

Los suelos más pobres en MOT y MOP fueron los Aridisoles erosionados de PN (PN_E), y los de PM, independientemente de si habían sido afectados o no por bio-perturbación (PM_B y PM_{NB}) (Fig. 1 y Tabla 2). Los valores más altos de MOT correspondieron a los Molisoles (ML). Dentro de estos suelos también se registraron los mayores contenidos de MOP y correspondieron a los del área clausurada al pastoreo (ML_C) durante 17 años (Fig. 1). Los Aridisoles no erosionados de PN (PN_{NE}) y los Molisoles bajo pastoreo (ML_P) presentaron valores intermedios (Fig. 1).

La relación entre la MOT, MOPh y MOPi para cada suelo en función del tipo de uso o disturbio se muestra en la Figura 6 y en la Tabla 2 la relación entre la MOP y la MOT.

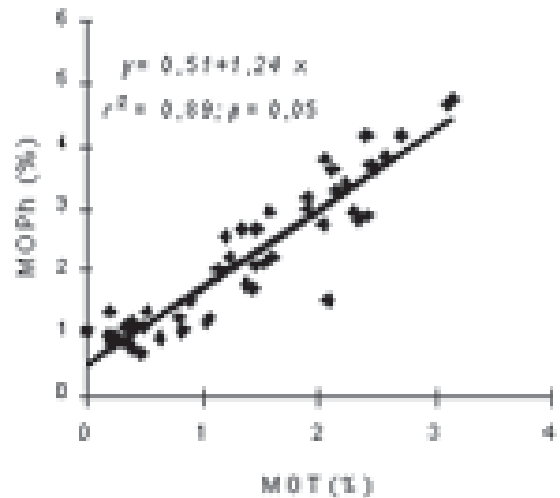


Figura 2. Relación entre materia orgánica total (MOT) y materia orgánica particulada determinada por vía húmeda (MOPh) para todos los suelos estudiados.

Figure 2. The relationship between total organic matter (MOT) and particulate organic matter content as determined by wet combustion (MOPh) for the studied soils.

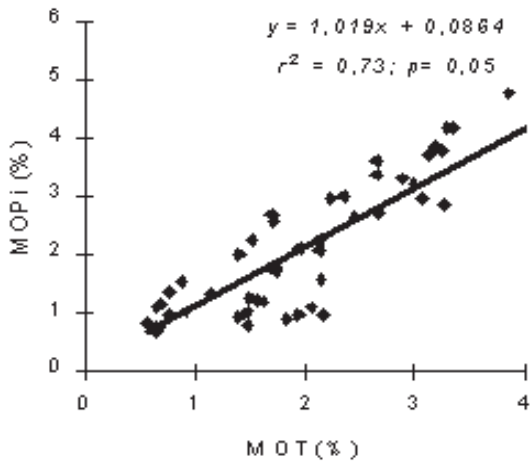


Figura 3. Relación entre materia orgánica total (MOT) y materia orgánica particulada determinada por ignición (MOPi) para todos los suelos estudiados.

Figure 3. The relationship between total organic matter (MOT) and particulate organic matter content as determined by loss-on-ignition (MOP_i) for the studied soils.

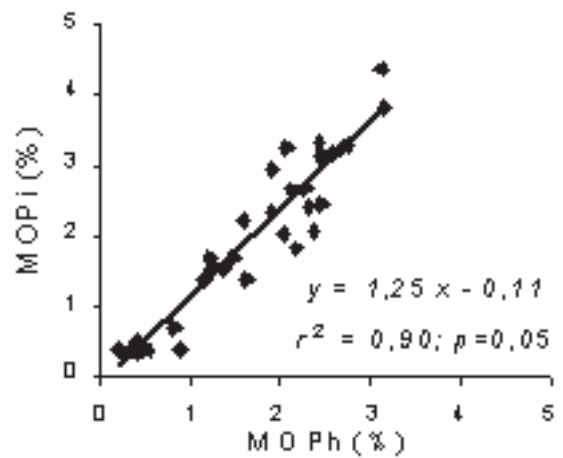


Figura 5. Relación entre materia orgánica particulada determinada por vía húmeda (MOPh) y materia orgánica particulada determinada por ignición (MOPi) excluyendo los suelos de Puerto Madryn ($p < 0,05$).

Figure 5. The relationship between the contents of particulate organic matter as determined by wet combustion (MOP_h) and particulate organic matter as determined by loss-on-ignition (MOP_i) for the studied soils, excluding the Puerto Madryn soils.

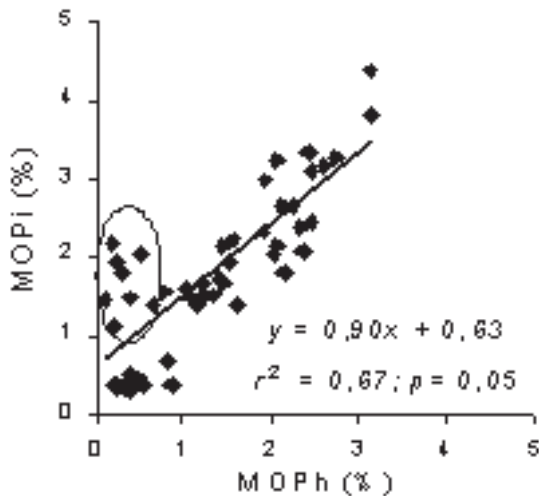


Figura 4. Relación entre materia orgánica particulada determinada por vía húmeda (MOPh) y materia orgánica particulada determinada por ignición (MOPi) para todos los suelos estudiados. Los puntos ubicados dentro del óvalo corresponden a los suelos de Puerto Madryn.

Figure 4. The relationship between the contents of particulate organic matter as determined by wet combustion (MOP_h) and particulate organic matter as determined by loss-on-ignition (MOP_i) for the studied soils. The points inside the oval belong to Puerto Madryn soils.

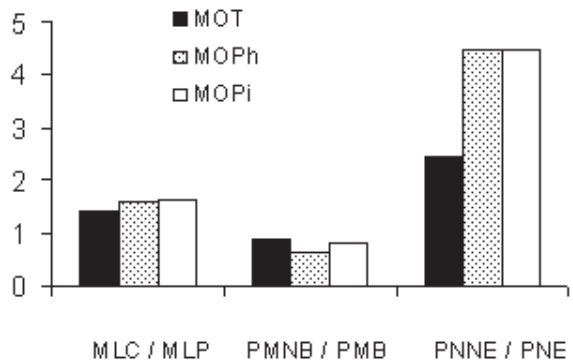


Figura 6. Relación entre la materia orgánica total (MOT), materia orgánica particulada determinada vía húmeda (MOPh) y por ignición (MOPi) de los suelos de los tres sitios ecológicos de Chubut según tipo de uso o disturbio. Los acrónimos de los sitios son los mismos que en la Tabla 1.

Figure 6. The ratio between the contents of total organic matter (MOT), particulate organic matter as determined by wet combustion (MOP_h) and particulate organic matter as determined by loss-on-ignition (MOP_i) for the soils of three ecological sites of the Chubut province affected by different use and disturbance. Acronyms are as in Table 1.

DISCUSIÓN

Comparación de métodos para determinar MOP

Los suelos de ML y PM presentaron valores mayores de MOPi con respecto al método de referencia (MOPh) (Fig. 1). Para los suelos de PM, la presencia de CO_3Ca (Tabla 1) en forma de agregados de tamaño $> 0,053$ mm, explicaría en parte los mayores valores de MOP obtenidos con el método de la mufla en comparación con los valores obtenidos por vía húmeda para MOP y MOT. Esto se debería al desprendimiento de CO_2 como consecuencia de la calcinación de los carbonatos. Para estos suelos, sería más apropiada la determinación de MOP por vía húmeda. El método por ignición podría dar valores de MOP comparables a los obtenidos por vía húmeda, si, previo a la ignición de las muestras, se eliminaran los carbonatos, tal como lo han sugerido Cambardella *et al.* (2001). Sin embargo el tratamiento con ácido clorhídrico no elimina totalmente los agregados de $\text{CO}_3\text{Ca} > 0,053$ mm, por lo que en futuros ensayos se deberían probar otros procedimientos para la eliminación de los mismos.

En el caso de los suelos de ML, parte de la diferencia entre MOPi y MOPh podría deberse a la presencia de microagregados de alofanos que provocarían la pérdida de agua de constitución; estas pérdidas podrían representar hasta un 30% en peso a temperaturas cercanas a los 400°C (Besoain, 1985). Gaitán y López (2007) han reportado la presencia de alofanos en Molisoles de régimen xérico del suroeste de la provincia de Chubut (ML). Si bien los alofanos son minerales amorfos de tamaño $< 0,002$ mm, es común la formación de agregados de tamaño $> 0,080$ mm (Dixon *et al.*, 1977), los cuales no son desagregados con el hexametafosfato de sodio. Futuros estudios en que se pruebe la desagregación con oxalato y posterior determinación de MOPi podrán corroborar las diferencias encontradas en este trabajo entre los dos métodos.

De acuerdo a lo esperado, para los suelos de PN se observaron valores similares entre MOPh y MOPi.

La comparación de las dos técnicas de determinación de MOP a través de una regresión lineal (Figs. 4 y 5), mostró un mejor ajuste cuando se excluyeron del análisis los suelos con CO_3Ca , lo que confirma que este compuesto es una importante fuente de error en la determinación de la MOPi. De todas maneras, la utilización del método por ignición trae aparejado una serie de ventajas tanto económicas en montos y tiempo, como ambientales, ya que no requiere el uso de sustancias tóxicas.

El suelo PN_E presentó los valores promedio de MOP más bajos, lo que estaría indicando que casi toda la MO

del suelo se encuentra asociada a la fracción fina, que es a su vez la más recalcitrante (Cambardella & Elliott, 1992; Bouza *et al.*, 2007).

Evaluación de la MOP como indicador de calidad de suelos

Los contenidos de MOP variaron en respuesta al tipo de uso o de disturbio en los tres suelos estudiados. En tal sentido, podemos decir que la MOP, en general, resultó un indicador sensible a los cambios producidos por el manejo (pastoreo ovino), y los disturbios (bioperturbación y erosión del suelo).

Los suelos más pobres en MOT y MOP correspondieron a PN_E , PM_B y PM_{NB} (Fig. 1, Tabla 2). Valores similares han sido encontrados en áreas de suelo desnudo o con muy baja cobertura vegetal (Rostagno *et al.*, 1991; Carrera *et al.*, 2005). Estos suelos generalmente se caracterizan por el desarrollo de costras superficiales y presentan tasas de infiltración significativamente más bajas que los suelos no degradados (Parizek *et al.*, 2002). Por otra parte, los valores más altos de MOT y MOP correspondieron a los Molisoles del SO de la provincia de Chubut, y dentro de éstos, a los del área clausurada al pastoreo (ML_C). Los suelos ML_P y PN_{NE} presentaron valores intermedios de MOT y MOP. Estos suelos corresponden a áreas de pastizales de gramíneas perennes que están bajo pastoreo ovino extensivo y donde el aporte de mantillo al suelo es menor que el de las áreas sin pastoreo.

De los tres procesos considerados, pastoreo, bioperturbación y erosión, este último parecería ser el que más impacto puede tener sobre los contenidos de la MOP y la MOT. Así, el suelo no erosionado de PN presentó cuatro veces más MOPh y MOPi que el suelo erosionado, mientras que para la MOT, la relación fue del doble (Fig. 6). Esta elevada relación entre la MOP del suelo no erosionado respecto al erosionado nos estaría indicando que la MOP es una variable mucho más sensible al proceso de erosión y un mejor indicador del impacto de este proceso en la calidad de los suelos. El mayor impacto de la erosión sobre la reserva de MOP respecto a la MOT se debería, por un lado, a la muy baja cobertura de pastos en los parches erosionados y consecuentemente al bajo aporte de mantillo y raíces y, por el otro, a la remoción del poco mantillo que es depositado sobre la superficie de estos suelos (Videla *et al.*, 2004). En tal sentido, Parizek *et al.* (2002) encontraron que, del total de los sedimentos removidos por el escurrimiento superficial en estos parches erosionados, casi un 15% está representado por MO, gran parte de la cual correspondió a MOP. Para los

suelos de ML, donde el principal factor de disturbio es el pastoreo, la relación tanto para la MOT como para la MOP entre clausura y pastoreo fue similar y de casi el doble. Bajo clausura, la producción de biomasa subterránea y los aportes de mantillo de la parte aérea de los pastos son mayores a los registrados en las áreas pastoreadas (Bertiller *et al.*, 2002), lo que se traduce en mayores contenidos de MOT y MOP del suelo.

Con respecto a la incidencia del proceso de bioperturbación sobre las distintas reservas de MO, aquellos suelos que fueron bioperturbados presentaron valores entre un 88% y 70% mayores de MOT y MOP que los no bioperturbados, por lo que los valores de la relación entre PM_{NB} y PM_B fueron menores a uno. Esto estaría relacionado con el efecto excavador de los tuco-tucos, que al limpiar sus madrigueras sacan a la superficie material vegetal de restos de alimentos y nidos y materia fecal.

El suelo que presentó una mayor relación MOPh/MOT y MOPi/MOT fue PN_{NE} (Tabla 2). Esto estaría indicando por una parte que casi toda la MO del suelo está en forma de MOP y por otro lado, al tener estos suelos bajos contenidos de arcilla, la MO humificada o que forme un complejo organomineral es escasa. Desde el punto de vista del manejo, mantener altos contenidos de MOP y evitar su rápida pérdida por erosión es la clave para el mantenimiento del sistema. En contraste, la menor relación MOP/MOT correspondió al suelo PN_E . El estado de degradación de este suelo es muy alto y si bien presenta un horizonte argílico con mayor contenido de MO, ésta representaría una fracción muy estable de MO. Para los suelos PM, la relación MOPi/MOT resultó mayor que uno, debido a la sobreestimación de la MOP por calcinación de los carbonatos presentes en estos suelos y no fueron considerados en el análisis estadístico.

CONCLUSIONES

Los valores de MOP obtenidos por vía húmeda y por ignición presentaron una elevada correlación. La determinación de MOP por ignición en suelos que presenten contenidos de minerales que se alteran a altas temperaturas, como carbonatos o agregados de alofanos, puede traer aparejado una sobreestimación de dicha variable si no se realiza un tratamiento previo para su eliminación o desagregación. La eliminación previa de carbonatos y la desagregación de los microagregados de alofano, permitiría utilizar este método que es más rápido, sencillo y de menor costo monetario y ambiental que el método de Walkley y Black.

La MOPh y la MOPi presentaron una alta correlación con la MOT para todos los suelos en conjunto y tanto la MOT como la MOP determinadas por ambos métodos fueron sensibles al tipo de manejo y al estado de conservación del suelo.

De los tres procesos considerados, pastoreo, bioperturbación y erosión, este último produjo el mayor impacto sobre los contenidos de la MOP y la MOT. Considerando que para la mayoría de los suelos estudiados, gran parte de la MO está en forma de MOP, conservar esta fracción redundará en una mayor calidad de los suelos.

BIBLIOGRAFÍA

- Beeskow, AM; N Elissalde & CM Rostagno. 1995. Ecosystem changes associated with grazing intensity the Punta Ninfa rangelands of Patagonia, Argentina. *Journal of Range Management* 48: 517-522.
- Bertiller, MB; AL Carrera; AJ Bisigato; V Rodríguez; CL Sain & F Funes. 2002. Secuestro de carbono en ecosistemas del norte de la Patagonia. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- Besoain, E. 1985. Aluminosilicatos no cristalinos y para-cristalinos del suelo. 533-642. *En: Mineralogía de Arcillas de Suelos*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Costa Rica.
- Biederbeck, VO; HH Janssen; CA Campbell & RP Zentner. 1994. Labile soil organic matter as influenced by cropping practices in an arid environment. *Soil Biology and Biochemistry* 26: 1647-1656.
- Boqué, G. 2006. Bioperturbación del suelo por pequeños roedores excavadores del género *Ctenomys*, Tuco-tucos, en una estepa arbustiva del noreste Patagónico. Tesis de la Licenciatura en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de la Patagonia-San Juan Bosco, 103 pp.
- Bouza, P; M Simón; J Aguilar; H del Valle & CM Rostagno. 2007. Fibrous-clay mineral formation and soil evolution in Aridisols of Northeastern Patagonia, Argentina. *Geoderma* 139: 38-50.
- Cambardella, CA & ET Elliott. 1992. Particulate organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *The Soil Science Society of America Journal* 56: 777-783.
- Cambardella, CA; AM Gajda; JW Doran; BJ Wienhold & TA Kettler. 2001. Estimation of particulate and total organic matter by weight loss-on-ignition. P. 349-359. *In: R Lal, JM Kimble, R; F Follett & BA Stewart (eds.)*. Assessment methods for soil carbon. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Carreira, D. 2005. Carbono oxidable. Una forma de medir la materia orgánica del suelo. [IV -1] Pp. 91-102. *En: L. Marbán & S. Ratto (eds.)*. Tecnologías en Análisis de Suelos. 1er edn. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo.
- Carrera, AL; MB Bertiller; CL Sain & MJ Mazzarino. 2003. Relationship between plant nitrogen conservation and the dynamics of soil nitrogen in the arid patagonian Monte, Argentina. *Plant and Soil* 255: 595-604.

- Carrera, AL; DN Vargas; MV Campanella; MB Bertiller; CL Sain *et al.*, 2005. Soil nitrogen in relation to quality and decomposability of plant litter in the Patagonian Monte, Argentina. *Plant Ecology*. 181: 139-151.
- Davies, BE. 1974. Loss-on-ignition as an estimate of soil organic matter. *The Soil Science Society of America. Proceeding* 38: 150-151.
- Day, PR. 1965. Particle fractionation and particle-size analysis, p.545-567. In: CA Black (*ed.*). *Methods of soil analysis. Monograph Ser. Part I, No. 9, American Society of Agronomy, Wisconsin, USA.*
- Dixon, JB; SB Weed; JA Kittrick; ML Mirford & JL White. 1977. *Mineral in Soil Environments. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA. 948 pp.*
- Doran, JW & TB Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. 3-21. In: JW Doran *et al.*, (*ed.*). *Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA Special Publication. N° 35. Madison, Wisconsin.*
- Dubeux, JCB Jr; LE Sollenberger; NB Comerford; JM Scholberg & AC Ruggieri *et al.* 2006. Management intensity affects density fractions of soil organic matter from grazed bahiagrass swards. *Soil Biology and Biochemistry* 38(9): 2705-2711.
- Gaitán, JJ & CR López. 2007. Análisis de gradiente edáfico en la Región Andinopatagónica. *Ciencia del Suelo* 25(1): 53-63.
- Galantini, JA. 2005. Separación y análisis de las fracciones orgánicas. [IV -2] Pp. 103-114. En: L Marbán & S Ratto (*eds.*). *Tecnologías en Análisis de Suelos. Ira. ed. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo.*
- Kowaljow, E & CM Rostagno. 2008. Efectos de la instalación de un gasoducto sobre algunas propiedades del suelo superficial y la cobertura vegetal en el NE de Chubut. *Ciencia del Suelo* 26(1): 51-62.
- León, RJC; D Bran; M Collantes; JM Paruelo & A Soriano. 1998. Grandes unidades de vegetación de la Patagonia. *Ecología Austral* 8: 125-144.
- Milchunas, DG & WK Lauenroth. 1993. Quantitative effects of grazing on vegetation and soils over a global range of environments. *Ecological Monographs* 63: 327-366.
- Parizek, B; CM Rostagno & R. Sottini. 2002. Soil erosion as affected by shrub encroachment in northeastern Patagonia. *Journal of Range Management* 55: 43-48
- Plante, AF; CE Stewart; RT Conant; K Paustian, & J Six. 2006. Soil management effects on organic carbon in isolated fractions of a Gray Luvisol. *Canadian Journal of Soil Science* 86: 141-151.
- Rostagno, CM. 2001. Efectos del pastoreo en la calidad de los suelos de tres unidades fisiográficas de Patagonia. XV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Varadero, Cuba.
- Rostagno, CM; HF del Valle & L Videla. 1991. The influence of shrubs on some chemical and physical properties of an aridic soil in north-eastern Patagonia, Argentina. *Journal of Arid Environment* 20: 179-188.
- Six, J; PT Callewaer; S Lenders; S De Gryze, SJ Morris; EG Gregorich; *et al.*, 2002. Measuring and Understanding Carbon Storage in Aforested Soils by Physical Fractionation. *The Soil Science Society of America Journal* 66: 1981-1987.
- Soriano, A. 1956. Los distritos florísticos de la provincia Patagónica. *Revista de Investigaciones Agronómicas* 10: 323-347.
- SPSS. 1997. Base 7.5 for Windows. User's Guide. Apss inc. USA.
- U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. USDA Handbook 60. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.
- Videla, LS; MA Toyos; CM Rostagno & M Chartier. 2004. La tasa de enriquecimiento de los sedimentos erosionados de distintos parches de vegetación del noreste de Chubut. II Reunión Binacional de Ecología, Mendoza.
- Villamil, MB; NM Amiotti & N Peinemann. 2001. Soil degradation related to overgrazing in the semiarid south Caldenal area of Argentina. *Soil Science* 166: 441-452.
- Walkley, A & A Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.
- Willson, TC; EA Paul & RR Harwood. 2001. Biologically active soil organic matter fractions in sustainable cropping systems.