

## ANÁLISIS DEL CARBONO TOTAL, ORGÁNICO E INORGÁNICO EN SUELOS DE LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA ARGENTINA

NANCI KLOSTER<sup>1\*</sup>; MICAELA PÉREZ<sup>1</sup> & ALFREDO BONO<sup>1</sup>

Recibido: 05-04-16

Recibido con revisiones: 18-05-16

Aceptado: 29-05-16

### RESUMEN

Existe una fuerte motivación por el desarrollo de métodos precisos y exactos para determinar carbono (C) en suelos, debido a la importancia agronómica y medioambiental de este elemento. En suelos calcáreos el C total ( $C_T$ ) consiste de fuentes de C orgánico ( $C_{org}$ ) e inorgánico ( $C_{inorg}$ ). Es por esto que al momento de realizar estudios de dinámica del  $C_{org}$  del suelo, se requiere un método que permita cuantificarlo sin interferencias de la fracción inorgánica. En este trabajo se determinó la aptitud del método instrumental de combustión seca empleando un equipo LECO Truspec CN para el análisis de  $C_T$ , de  $C_{org}$  y de  $C_{inorg}$  y se compararon los resultados obtenidos con el método clásico de oxidación húmeda para  $C_{org}$  y con el método de titulación simple para  $C_{inorg}$ . Los resultados obtenidos presentaron una baja relación ( $R^2=0,62$ ) entre el método de oxidación húmeda y el método de combustión seca cuando se analizaron todas las muestras bajo estudio. Sin embargo, dicha relación mejoró cuando se consideran únicamente muestras con ausencia de carbonatos ( $R^2=0,95$ ). En suelos con presencia de carbonatos se plantea como opción la estimación del  $C_{org}$  por combustión seca a partir de la diferencia entre  $C_T$  y  $C_{inorg}$ . Además se evaluó la relación entre el método de titulación simple para determinación de  $C_{inorg}$  y el método de combustión seca obteniendo un elevado coeficiente de determinación ( $R^2=0,99$ ). A partir de los resultados obtenidos se concluye que el método de combustión seca no es preciso para la determinación directa del  $C_{org}$  en muestras de suelo con presencia de calcáreo, siendo necesario aplicar métodos que permitan diferenciar el C de diferente naturaleza.

**Palabras clave.** Combustión seca, oxidación húmeda, titulación simple.

## ASSESSMENT OF TOTAL, ORGANIC AND INORGANIC CARBON IN SOILS OF SEMIARID ARGENTINIAN PAMPAS

### ABSTRACT

The development of precise and accurate methods to determine carbon (C) in soils has currently a strong motivation due to agricultural and environmental importance of this element. In calcareous soils, the total C ( $C_T$ ) consists of sources of organic ( $C_{org}$ ) and inorganic ( $C_{inorg}$ ) C. When are realized dynamics studies of soil  $C_{org}$ , a method to quantify it without interference from the inorganic fraction is required. In this paper, it was used the dry combustion method by the TruSpec CN (LECO) instrument for analysis of  $C_T$ ,  $C_{org}$  and  $C_{inorg}$  and compared the results obtained with the classical method of wet oxidation for  $C_{org}$  and the titration method for  $C_{inorg}$ . The results indicate a low ratio ( $R^2 = 0.62$ ) between the wet oxidation and dry combustion methods with all samples analyzed under study. However, this relationship improves when considering only samples with no carbonates ( $R^2 = 0.95$ ). Thus Estimating  $C_{org}$  as the difference between  $C_T$  and  $C_{inorg}$  it could be an option in calcareous soils. Furthermore we evaluated simple titration and dry combustion method for determining  $C_{inorg}$  obtaining a high determination coefficient ( $R^2 = 0.99$ ). Dry combustion method is not suitable for direct determination of  $C_{org}$  in soil samples with presence of  $C_{inorg}$ , being necessary the application of methods to differentiate carbon sources.

**Key words.** Dry combustion, wet oxidation, simple titration.

<sup>1</sup> EEA «Ing. Agr. Guillermo Covas» Anguil, INTA.

\* Autor de contacto: kloster.nanci@inta.gob.ar

## INTRODUCCIÓN

La productividad potencial de los suelos está influenciada por los contenidos de materia orgánica, un elemento clave asociado con la fertilidad de los suelos (Milne *et al.*, 2015). Esto es particularmente importante en ambientes semiáridos y subhúmedos, donde influye favorablemente sobre la dinámica del agua y de los nutrientes (Quiroga *et al.*, 2008). Las prácticas agrícolas, tales como siembra directa, la utilización de cultivos de cobertura y el uso de fertilizantes, mantienen o incrementan el contenido de materia orgánica y por lo tanto permiten mejorar el uso del suelo (Álvarez *et al.*, 2013; Álvarez *et al.*, 2015). Sin embargo, la labranza de suelos vírgenes, en general reduce el contenido de materia orgánica, lo cual deriva en el deterioro del recurso (Bono *et al.*, 2008).

La materia orgánica del suelo está constituida por todas las sustancias orgánicas carbonadas. Representa un sistema complejo de sustancias cuya dinámica es gobernada por el aporte de residuos orgánicos de diversa naturaleza y por la transformación continua a través de factores biológicos, químicos y físicos (Hayes, 2009). El principal constituyente de la materia orgánica es el carbono, que llega a representar entre el 40 y el 60% de su composición dependiendo del grado de transformación. El carbono orgánico ( $C_{org}$ ) del suelo representa un componente significativo del pool de C global y sus transformaciones regulan el contenido de dióxido de carbono en la atmósfera (Álvarez, 2005).

Al ser el C uno de los componentes más importantes de los suelos, su identificación y cuantificación permite clasificarlos, evaluar su fertilidad y estimar el riesgo de erosión. En suelos calcáreos, típicos de la Región Semiárida Pampeana, el C total está compuesto por fuentes de  $C_{org}$  e inorgánico ( $C_{inorg}$ ) (INTA *et al.*, 1980). Es por esto que al momento de realizar estudios de dinámica del  $C_{org}$ , se requiere un método que permita cuantificarlo sin interferencias de la fracción inorgánica (Ramnarine *et al.*, 2011).

Existe una fuerte motivación por el desarrollo de métodos precisos y exactos que permitan determinar el contenido de C de diferente naturaleza en los suelos, debido a la importancia agronómica y medioambiental de este elemento. El método tradicional para analizar  $C_{org}$  en suelos es el método de oxidación húmeda (Walkley & Black, 1934). Los métodos de oxidación húmeda requieren instrumentación simple y son relativamente de bajo costo económico. Sin embargo presentan la desventaja de su elevado costo operativo, el empleo de reactivos peligrosos y la generación de un volumen de residuos importante.

Existen varios métodos para cuantificar  $C_{inorg}$  en suelos, los más utilizados son aquellos que analizan el dióxido de carbono liberado luego de reacción de los carbonatos del suelo en medio ácido. El método del calcímetro de presión y el método gravimétrico requieren del empleo de aparatos de vidrio diseñados específicamente para dicho propósito (Loeppert & Suarez, 1996). El método de titulación simple se plantea como una alternativa cuando no se dispone de dichos aparatos, dado que solo requiere del uso de frascos con tapa a rosca para contener la muestra (Loeppert & Suarez, 1996).

El método de combustión seca basado en el principio de Dumas (Bremner, 1996) es una de las técnicas más importantes para determinar concentraciones de C y N en materiales de origen orgánico y mineral (Wright & Bailey, 2001). En dicho método las muestras son sometidas a una atmósfera de oxígeno y muy altas temperaturas (950-1000 °C), generando gases como dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno, los cuales son colectados y analizados mediante una celda de detección infrarrojo y una celda de conductividad térmica respectivamente (Nelson & Sommers, 1996). A diferencia de los métodos tradicionales de oxidación húmeda, esta técnica es poco laboriosa, no utiliza reactivos tóxicos y el volumen de reactivos generados es mínimo. Sin embargo el capital inicial involucrado al momento de adquirir equipos automatizados, limitan su amplia adopción. En Argentina existen antecedentes de uso de éstos equipos desde principios del siglo XXI (Lazzari *et al.*, 2001; Díaz-Zorita & Grove, 2002; Galantini *et al.*, 2002; Blanco *et al.*, 2005; Bongiovanni & Lobartini, 2009; Eyherabide *et al.*, 2014), pero se desconoce su efectividad para la discriminación de  $C_{org}$  y  $C_{inorg}$  en suelos calcáreos (Eyherabide *et al.*, 2014). Sin embargo a nivel internacional se han publicado algunos trabajos que indican que los analizadores automáticos que utilizan combustión seca para el análisis de C cuantifican tanto el  $C_{org}$  como el  $C_{inorg}$ . Para poder discriminar el análisis de  $C_{org}$  y  $C_{inorg}$  algunos autores proponen incorporar modificaciones instrumentales como la variación de temperatura o la masa de suelo analizada en el autoanalizador (Yamamuro & Kayanne 1995; Matejovic, 1997; Wright & Bailey, 2001; Gazulla *et al.*, 2012). Otra alternativa propuesta es determinar el  $C_{inorg}$  empleando un método alternativo a la combustión seca, tal como la titulación simple (Bundy & Bremner, 1972), o la determinación de  $C_{inorg}$  sobre muestra previamente calcinada en mufla a 450 °C para eliminación de  $C_{org}$ , y posterior estimación del  $C_{org}$  por diferencia (Byers *et al.*, 1978; Wang *et al.*, 2012).

A partir de los antecedentes mencionados se plantean como objetivos del trabajo: 1) Determinar la aptitud del método instrumental de combustión seca empleando el equipo LECO Truspec CN para el análisis de  $C_T$ , de  $C_{org}$  y de  $C_{inorg}$ ; 2) Comparar los resultados obtenidos por el método de combustión seca con el método clásico de oxidación húmeda para  $C_{org}$  y con el método de titulación simple para  $C_{inorg}$ .

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Muestras de suelo

Para realizar la comparación de métodos de análisis de C se utilizaron 47 muestras extraídas en capas de 20 cm hasta los 100 cm o la presencia de tosca, a partir de 12 perfiles de suelos de 10 sitios (Tabla 1). Los suelos, ubicados en la Región Semiárida Pampeana, se clasificaron como Haplustol Entico y Ustipsament Típico (Soil Survey Staff, 1999). Las muestras de suelo fueron secadas al aire y tamizadas con tamiz de 0,5 mm para análisis por combustión seca y oxidación húmeda, y con tamiz de 2 mm para análisis por titulación simple. Previo a su análisis se clasificaron según ausencia (A) o presencia (P) de calcáreo por reacción con ácido clorhídrico 30% v/v (Azcarate *et al.*, 2012).

### Análisis de carbono por combustión seca

El método de combustión seca (Nelson & Sommers, 1996) se utilizó para el análisis de  $C_T$  y de  $C_{inorg}$  empleando un equipo Truspec CN (LECO). El análisis de muestras por combustión seca se llevó a cabo de acuerdo a los parámetros recomen-

dados por el fabricante del equipo (LECO Corporation, 2005), empleando oxígeno y helio de grado 5.0. Previo al análisis de muestras incógnitas, el equipo fue calibrado empleando un suelo de referencia certificado (LECO). De acuerdo con las recomendaciones del fabricante, una regresión lineal fue utilizada para el ajuste de la curva de calibración.

El  $C_T$  se determinó sobre muestras de suelo seco y tamizado, mientras que para el análisis de  $C_{inorg}$  las muestras fueron previamente calcinadas en mufla a 430 °C durante 2 hs para eliminar el  $C_{org}$  (Davies, 1974; Wright & Bailey, 2001). El  $C_{org}$  se estimó por diferencia entre el  $C_T$  y el  $C_{inorg}$  (Nelson & Sommers, 1996). Se evaluó la recuperación de  $C_{inorg}$  por calcinación en mufla, realizando análisis sextuplicado de carbonato de sodio y carbonato de calcio, ambos de calidad pro-análisis. Además, para analizar la interferencia de  $C_{inorg}$  en la determinación de  $C_{org}$  en muestras de suelos calcáreos, se realizó un ensayo de adición de masas crecientes de carbonato de calcio pro-análisis (0,001 g a 0,020 g) a una muestra de suelo no calcáreo con un contenido de  $C_T$  de 1,4%. Esto debería indicar si la detección y cuantificación de  $C_{inorg}$  es lineal a su concentración, es decir, si se cuantifica todo el  $C_{inorg}$  presente en las muestras.

### Análisis de carbono por oxidación húmeda

El análisis de  $C_{org}$  fácilmente oxidable en muestras de suelo se realizó empleando el método de Walkley & Black (1934). Se pesaron 1,00 g de la muestra y se añadieron 5 mL de solución de dicromato de potasio 0,167 mol L<sup>-1</sup> y 10 mL de ácido sulfúrico. Se dejó en reposo durante 30 min sobre una superficie de material aislante térmico para evitar la pérdida de calor. Luego se adicionaron 15 mL de agua destilada y se dejó reposar hasta alcanzar la temperatura ambiente. Para rea-

Tabla 1. Clasificación, profundidad de muestreo, número de muestras y materia orgánica W&B a profundidad 0-20 cm de cada sitio evaluado.

Table 1. Classification, Depth and quantity of soil samples, and organic matter 0-20 cm from de evaluated sites.

Sitio	Tipo de Suelo muestreo (cm)	Profundidad	Nº muestras	MO (g 100g <sup>-1</sup> ) 0-20 cm
Winifreda**	Haplustol Entico	100	10	1,4
Anguil	Haplustol Entico	80*	4	2,9
Santa Rosa	Haplustol Entico	100	5	2,2
Trenel**	Ustipsamente Típico	80*	8	0,7
Pichi Huinca	Haplustol Entico	80*	4	1,3
Realicó	Haplustol Entico	80*	4	1,6
Macachín	Haplustol Entico	60*	3	1,9
Guatrache	Haplustol Entico	60*	3	1,4
Gral. Campos	Haplustol Entico	60*	3	2,1
Alpachiri	Ustipsamente Típico	60*	3	1,0

\*manto calcáreo por debajo de profundidad de muestreo.

\*\*dos perfiles por cada sitio.

lizar la titulación del exceso de dicromato se agregaron 3 a 4 gotas de solución indicadora de ácido difenilaminosulfónico 4-sal de bario 0,5%, 1 mL de ácido fosfórico y se añadió la solución de sal de Mohr (Sulfato de amonio y hierro (II) hexahidratado) 0,5 mol L<sup>-1</sup> hasta el viraje del indicador del color azul al verde. Paralelamente se desarrolló un blanco sin muestra de suelo. Para expresar el resultado como C<sub>org</sub> total, se utilizó el factor de corrección de 1,3 que considera una oxidación promedio del 77% (Walkley & Black, 1934).

### Análisis de carbono por titulación simple

El análisis de C<sub>inorg</sub> por el método de titulación simple se realizó siguiendo el procedimiento descrito por Loeppert & Suarez (1996). Se pesaron 5,00 g de la muestra, y se colocó en un frasco de reacción. Además se colocó 5 mL de solución de hidróxido de sodio 2 mol L<sup>-1</sup> en un recipiente pequeño ubicado dentro del frasco de reacción. Posteriormente se añadieron 20 mL de ácido clorhídrico 2 mol L<sup>-1</sup> sobre la muestra de suelo y se cerró el frasco de reacción inmediatamente para evitar pérdidas de dióxido de carbono. Se movió el frasco tapado de forma suave para garantizar el contacto total del ácido clorhídrico adicionado con el suelo y se dejó en reposo durante 24 hs. Transcurrido el tiempo de reacción, se extrajo el recipiente con hidróxido de sodio, sobre el cual se recogió el dióxido de carbono liberado y se trasvasó a un erlenmeyer de 100 mL. Se adicionó 5 mL de agua destilada para obtener un volumen final de 10 mL. Se adicionaron 3 gotas de indicador fenolftaleína y se tituló hasta punto final con ácido clorhídrico 1 mol L<sup>-1</sup>. Luego se adicionaron 3 gotas de indicador Verde de Bromocresol y se tituló hasta punto final con ácido clorhídrico 0,1 mol L<sup>-1</sup>. Se registró este último volumen de ácido y se calculó el % de C<sub>inorg</sub>. Para verificar la aptitud del método se evaluó la recuperación de C<sub>inorg</sub> realizando análisis sextuplicado de carbonato de calcio pro-análisis.

### Análisis estadístico

Se extrajo una muestra de cada profundidad y cada sitio, la cual fue analizada por duplicado en el laboratorio. Se utilizó el programa InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2015) para el análisis de resultados. Se comprobó la normalidad de los datos mediante QQ plot y test Shapiro Wilks. La comparación de los métodos para análisis de C se realizó a partir de gráficos de dispersión. Se evaluó la regresión lineal entre los siguientes métodos:

- C<sub>org</sub> oxidación húmeda vs C<sub>T</sub> combustión seca
- C<sub>org</sub> oxidación húmeda vs C<sub>org</sub> combustión seca (C<sub>T</sub> - C<sub>inorg</sub>)
- C<sub>inorg</sub> titulación vs C<sub>inorg</sub> LECO

Se trabajó con partición de muestras según ausencia o presencia de C<sub>inorg</sub> para lograr el mejor modelo de la regresión.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de regresión lineal arrojó una baja relación (R<sup>2</sup>=0,62) entre el C<sub>org</sub> por oxidación húmeda y el C<sub>T</sub> determinado por el método de combustión seca, lo cual se asocia a que los métodos cuantifican compuestos de C de diferentes orígenes (Fig. 1.a). Mientras que el método de oxidación húmeda determina C<sub>org</sub>, el método de combustión seca cuantifica C<sub>T</sub>, es decir C<sub>org</sub> y C<sub>inorg</sub>. Las muestras tienen contenidos variables de C<sub>inorg</sub> bajo la forma de carbonatos de calcio y magnesio (INTA *et al.*, 1980), lo cual podría explicar la dispersión observada en la regresión. Estos resultados difieren de los obtenidos por Eyherabide *et al.* (2014) quienes hallaron una alta relación entre los métodos (R<sup>2</sup> ≈ 0,98-0,99), trabajando con suelos no calcáreos de contenido de C<sub>org</sub> variable (0,63 a 8,99 g 100g<sup>-1</sup>), a 0-20 cm de profundidad.

Para determinar si la dispersión en la regresión se debe a contenidos variables de C<sub>inorg</sub>, las muestras se partitionaron según reacción a la adición de ácido clorhídrico 30% v/v obteniéndose dos grupos: muestras con reacción al ácido clorhídrico, lo que determina alguna presencia de C<sub>inorg</sub> (P) y muestras sin reacción al ácido clorhídrico, es decir libres de C<sub>inorg</sub> (A). De esta manera, se observó una mayor dispersión de los datos en el caso de las muestras con presencia de C<sub>inorg</sub> (R<sup>2</sup>=0,39) lo cual indica que los dos métodos están cuantificando fracciones de C diferentes (Fig. 1.b). Mientras que el método de combustión seca empleando el equipo Truspec CN determina C<sub>T</sub>, es decir C<sub>org</sub> + C<sub>inorg</sub>, el método de oxidación húmeda determina solo C<sub>org</sub>, por lo que la correlación entre los métodos es escasa cuando las muestras de suelo contienen C<sub>inorg</sub>.

En el caso de las muestras sin C<sub>inorg</sub>, se observó una estrecha relación (R<sup>2</sup>=0,95) entre los métodos de oxidación húmeda y combustión seca (Fig. 1.c). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Eyherabide *et al.* (2014) sobre muestras de suelos Molisoles con ausencia de carbonatos.

En suelos con presencia de carbonatos se utilizó como alternativa la estimación del C<sub>org</sub> a partir de la diferencia entre C<sub>T</sub> y C<sub>inorg</sub> obtenidos por el método de combustión seca y se obtuvo una buena relación en la regresión con C<sub>org</sub> (W&B) (R<sup>2</sup>=0,92) (Fig. 2). Este método de estimación de C<sub>org</sub> por diferencia está documentado en la literatura para análisis de sedimentos marinos (Byers *et al.*, 1978) y se sugiere como alternativa para el análisis de suelos con cantidades variables de carbonato de calcio (Wright & Bailey, 2001). Se destaca en ambos casos la necesidad de contro-

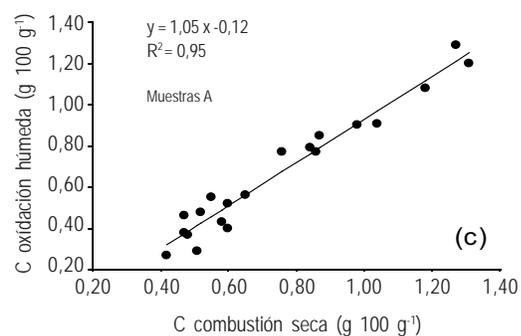
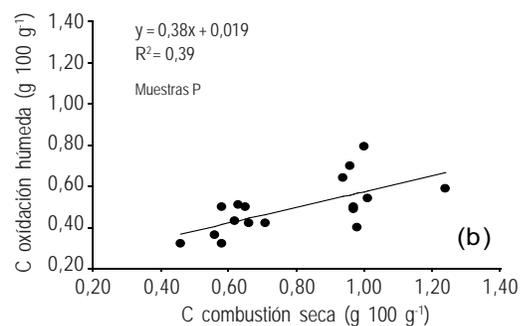
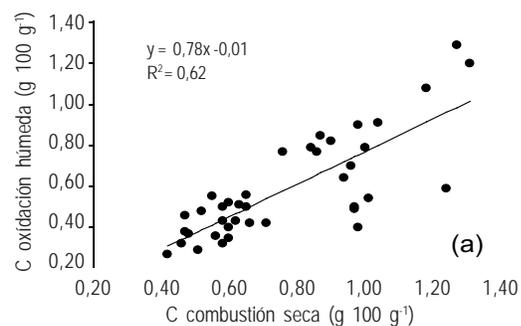


Figura 1.

Relación entre el método de oxidación húmeda y el método de combustión seca para la cuantificación de C en muestras de suelo: (a) todas las muestras, (b) muestras con reacción al ácido clorhídrico, (c) muestras sin reacción al ácido clorhídrico. ( $p < 0,01$ ).

Figure 1.

Relation between wet oxidation and dry combustion methods for C quantification in soil samples: (a) all studied samples, (b) samples with hydrochloric acid reaction, (c) samples with no hydrochloric acid reaction. ( $p < 0,01$ ).

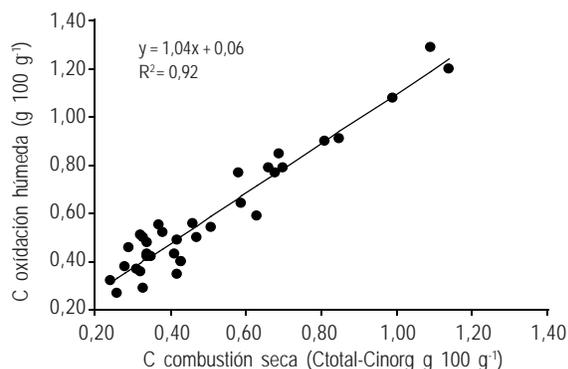


Figura 2.

Relación entre el método de oxidación húmeda y el método de obtención de C<sub>org</sub> por diferencia en muestras de suelo con presencia de calcáreo. ( $p < 0,01$ ).

Figure 2.

Relation between wet oxidation method and C<sub>org</sub> difference method for calcareous soil samples. ( $p < 0,01$ ).

lar las posibles pérdidas de  $C_{inorg}$  durante la etapa de calcinación en mufla. En este trabajo las posibles pérdidas de  $C_{inorg}$  se estudiaron evaluando la recuperación de  $C_{inorg}$  de dos reactivos de calidad pro-análisis: carbonato de sodio y carbonato de calcio, mediante análisis por combustión seca luego de la etapa de calcinación en mufla a 430 °C. La recuperación de  $C_{inorg}$  fue de 88 y 109% respectivamente, lo que indicaría que las pérdidas de carbonatos durante la calcinación a 430 °C son aceptables para el posterior análisis de  $C_{inorg}$  por combustión seca (AOAC, 2005).

En la Figura 3 se expone el  $C_T$  determinado por combustión seca en función de la concentración de  $C_{inorg}$  adicionado a una muestra de suelo de concentración conocida de  $C_{org}$ . Puede observarse que hay un incremento lineal ( $R^2=0,99$ ) del  $C_T$  detectado por combustión seca en función del agregado de concentraciones crecientes de  $C_{inorg}$ . En estudios realizados por Wright & Bailey (2001) se observó que los perfiles de incineración a temperaturas menores de 1000 °C minimizan la descomposición de carbonato de calcio, mientras que a temperaturas de 1300 °C se maximizó la recuperación de  $C_T$ . Esto coincide con los resultados de Matejovic (1997) los cuales indicaron una mayor recuperación de  $C_{inorg}$  proveniente de carbonatos con el aumento de la temperatura de combustión. Al encontrar que la cuantificación de carbonatos es dependiente de la temperatura, así como de la cantidad de muestra, la velocidad de oxidación y el flujo de oxígeno, éste concluye que la recuperación de  $C_{inorg}$  debe ser verificada para cada analizador. Con el equipo TruSpec CN, a la temperatura de combustión recomendada por el fabricante (950 °C), se

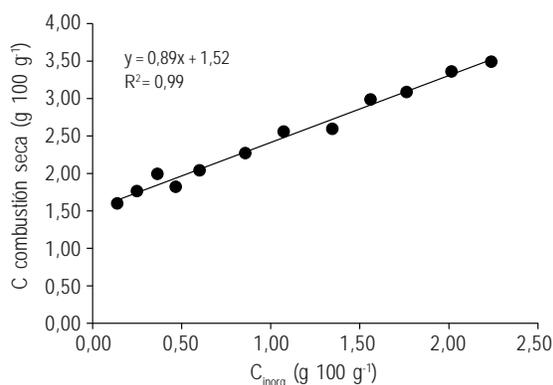


Figura 3.  $C_T$  determinado por combustión seca sobre una muestra de suelo ( $C_{org} = 1,52 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ ) con concentraciones crecientes de  $C_{inorg}$ .

Figure 3.  $C_T$  analyzed using dry combustion on a soil sample ( $C_{org} = 1.52 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ ) with  $C_{inorg}$  added.

observó que la recuperación de  $C_{inorg}$  adicionado a una muestra de suelo oscila entre 80 y 100%.

El estudio de recuperación de  $C_{inorg}$  a partir de carbonato de calcio empleando el método de titulación simple fue de 93 a 101%, por lo que el método es apto para su aplicación en la determinación de  $C_{inorg}$  en suelos. Además se obtuvo una estrecha relación entre el contenido de  $C_{inorg}$  determinado por titulación simple y por el método de combustión seca en muestras previamente calcinadas en mufla a 430 °C para eliminar  $C_{org}$  ( $R^2=0,99$ ) (Fig. 4). Si bien el método de titulación simple ha sido documentado en la literatura (Bundy & Bremner, 1972; Loeppert & Suarez, 1996), su comparación con el método de combustión seca no ha sido publicada hasta el momento. Recientemente Wang *et al.* (2012) compararon los resultados del método volumétrico de Scheibler (ONORM, 1984-1999) con el método de combustión seca para el análisis de sedimentos. Estos autores observan que el contenido de  $C_{inorg}$  determinado por combustión seca es comparable al obtenido con el método volumétrico. Se sugiere que tanto el método de titulación simple como el de combustión seca pueden ser utilizados para el análisis de  $C_{inorg}$  de acuerdo a la disponibilidad y recursos de los laboratorios de análisis.

## CONCLUSIONES

La elección del método para determinar  $C_{org}$  en suelos de la Región Semiárida Pampeana dependerá de la presencia o no de  $C_{inorg}$ . Si la reacción al ácido clorhídrico es negativa, el método de combustión seca es un método útil para

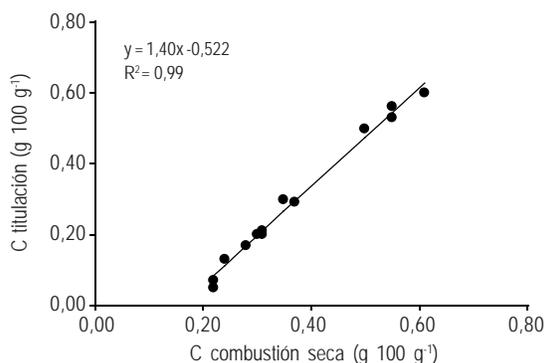


Figura 4. Relación entre el contenido de  $C_{inorg}$  determinado por titulación simple y por combustión seca en muestras de suelo con presencia de calcáreo previamente calcinadas. ( $p < 0,01$ )

Figure 4. Relation between  $C_{inorg}$  obtained for simple titration and dry combustion on pre-calcined calcareous soil samples. ( $p < 0.01$ )

determinar  $C_{org}$  y sus resultados tienen una estrecha relación con los obtenidos mediante el método de oxidación húmeda. En suelos con reacción positiva al ácido clorhídrico, el método de oxidación húmeda es el recomendado para el análisis de  $C_{org}$ . Un método alternativo para determinar  $C_{org}$  en suelos con calcáreo es la estimación a partir de la diferencia entre el  $C_T$  y el  $C_{inorg}$ . La cuantificación de  $C_{inorg}$  en suelos con presencia de calcáreo puede realizarse con el método de oxidación seca previa calcinación de la muestra en mufla para eliminación de  $C_{org}$ , aunque el método de titulación simple es una alternativa más económica, arrojando resultados similares a los obtenidos por combustión seca.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, EEA Anguil) por haber facilitado el apoyo económico e infraestructura para realizar el presente trabajo.

#### BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, C; A Quiroga; D Santos & M Bodrero. 2013. Contribuciones de los cultivos de coberturas a la sostenibilidad de los sistemas de producción. Publicación Técnica. Edi INTA. 195 pp.
- Álvarez, R. 2005. A review of nitrogen fertilization and conservation tillage effects on soil C storage. *Soil Use Manage.* 21: 38-52.
- Álvarez, R; HS Steinbach & JL De Paepe. 2015. Capítulo 3. Carbono orgánico. *En: Fertilidad de Suelos y Fertilización en la Región Pampeana.* Álvarez R (ed). Edi Facultad de Agronomía UBA. Pp 47-146.
- A.O.A.C. 2005. Official methods of analysis. Arlington VA, USA. Association of Official Analytical Chemists.
- Azcarate, P; N Kloster & G Pérez Habiaga. 2012. Reacción del suelo: pH. *En: A Quiroga & A Bono (eds).* Manual de fertilidad y evaluación de suelos. Edi INTA. Anguil. pp: 9-25.
- Blanco, MC; NM Amiotti & LS Herrera. 2005. Cambios inducidos por la implantación de olivos sobre las propiedades edáficas en el sur bonaerense. *Ciencia del suelo* 26(2): 189-196.
- Bongiovanni, MD & JC Lobartini. 2009. Efecto de sustancias orgánicas solubles del suelo sobre la absorción de hierro en plantas de girasol. *Ciencia del suelo* 27(2): 171-176.
- Bono, A; R Álvarez; DE Buschiazzi & RJC Cantet. 2008. Tillage effects on soil carbon balance in a semiarid agroecosystem. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72: 1140-1149.
- Bremner, JM. 1996. Total Nitrogen. *In: DL Sparks (ed).* Methods of soil analysis. Part 3: Chemical methods. SSSA. pp:1149-1176.
- Bundy, LG & JL Bremner. 1972. A Simple Titrimetric Method for Determination of Inorganic Carbon in Soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36(2): 273-275.
- Byers, SC; EL Mills & PL Stewart. 1978. A comparison of methods of determining organic carbon in marine sediments, with suggestions for a standar method. *Hydrobiologia* 58(1): 43-47.
- Davies, BE. 1974. Loss on ignition as an estimate of soil organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38: 150-151.
- Díaz-Zorita, M & JH Grove. 2002. Duration of tillage management affects carbon and phosphorus stratification in phosphatic Paleudalfs. *Soil & Tillage Research.* 66: 165-174.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Eyherabide, M; H Saínz Rozas; P Barbieri & HE Echeverría. 2014. Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo. *Ciencia del Suelo* 32(1): 13-19.
- Galantini, JA; RA Rosell; G Brunetti & N Senesi. 2002. Dinámica y calidad de las fracciones orgánicas de un Haplustol durante la rotación trigo-leguminosa. *Ciencia del Suelo* 20(1): 17-22.
- Gazulla, MF; M Rodrigo; M Orduña & CM Gómez. 2012. Determination of Carbon, Hydrogen, Nitrogen and Sulfur in geological materials using elemental analyzers. *Geostandars and Geoanalytical Research* 36(2): 201-217.
- Hayes MHB. 2009. Evolution of concepts environmental natural nonliving organic matter. *In: Senesi N, Xing B & P Min Huang (ed).* Biophysico-chemical processes involving natural nonliving organic matter in environmental systems. John Wiley. New Jersey. pp: 2-40.
- INTA; Gobierno de La Pampa & UNLPam. 1980. Inventario integrado de recursos naturales de la provincia de La Pampa. Buenos Aires: ISAG.
- Lazzari, MA; MR Landriscini; MA Cantamutto; AM Miglierina; RA Rosell; FE Mockel & ME Echagüe. 2001. Absorción de nitrógeno por cebada cervicera en dos suelos del sur bonaerense, Argentina. *Ciencia del Suelo* 19(2): 101-108.
- LECO Corporation. 2005. [www.leco.com](http://www.leco.com). Fecha de último acceso 13/02/2013.
- Loeppert, RH & DL Suarez. 1996. Carbonate and Gypsum. *In: DL Sparks (ed).* Methods of soil analysis. Part 3: Chemical Methods. Madison: SSSA. pp:437-474.
- Matejovic, I. 1997. Determination of carbon and nitrogen in samples of various soils by the dry combustion. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 28(17&18): 1499-1511.
- Milne E & otros. 2015. Soil Carbon, multiple benefits. *Environmental Development* 13: 33-38.
- Nelson, DW & LE Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. *In: DL Sparks (ed).* Methods of soil analysis. Part 3: chemical methods. Madison: SSSA. pp: 961-1010.
- ONORM. Austrian Standards Institute. Chemical Analysis of soils-determination of carbonate. 1984-1999.
- Quiroga A; R Fernandez; D Funaro & N Peinemann. 2008. Materia orgánica en Molisoles de la Región Semiárida Pampeana. Influencia sobre propiedades físicas y productividad. *En: Galantini JA (ed).* Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina. Edi UNS. Bahía Blanca. Pp: 97-130.
- Ramnarine, R; RP Voroney; C Wagner Riddle & KE Dunfield. 2011. Carbonate removal by acid fumigation for measuring the  $^{13}C$  of soil organic carbon. *Can. J. Soil Sci.* 91: 247-250.
- Soil Survey Staff. 1999. Soil taxonomy. 2<sup>th</sup> Edition. United States Department of Agriculture. Washington DC. 869 pp.

- Walkley, A & IA Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.
- Wang, J; L Zhu; Y Wang; S Gao & G Daut. 2012. A comparison of different methods for determining the organic and inorganic carbon content of lake sediment from two lakes on the Tibetan Plateau. *Quaternary International* 250: 49-54.
- Wright, AF & JS Bailey. 2001. Organic carbon, total carbon, and total nitrogen determinations in soils of variable calcium carbonate contents using a LECO CN-2000 dry combustion analyzer. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32(19-20): 3243-3258.
- Yamamuro, M & H Kayanne. 1995. Rapid direct determination of organic carbon and nitrogen in carbonate-bearing sediments with a Yanaco MT-5 CHN analyzer. *Limnol. Oceanogr.* 40(5): 1001-1005.