

VARIABILIDAD ESPACIAL DEL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO DE UNA PLANTACIÓN DE VIÑEDO

D. García Sinovas; C. M. Moreno Vargas; J. Atienza del Rey y P. Marinero Diez

Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León, Ctra. de Burgos, km 118, 47080, Valladolid. garsinda@jcy1.es

RESUMEN. El contenido de materia orgánica en suelos es una de las propiedades de mayor interés debido a su papel en la estructura y a su reconocida influencia en la dinámica de solutos. Su caracterización es por tanto, un aspecto de gran interés. Los contenidos de M.O. en suelos dedicados a plantaciones de viñedo son relativamente bajos, por lo que la incertidumbre y posibles errores del método analítico pueden condicionar estudios de variabilidad espacial. En este trabajo se elabora y valida un método de análisis de la materia orgánica de acuerdo con los criterios de la Norma ISO-17025 y se diseña un control de calidad, incluyendo un estudio de la variabilidad que la metodología introduce en los resultados.

Con la sistemática desarrollada se ha llevado a cabo un muestreo previo y un muestreo final de 36 y 386 muestras representativas de una parcela de viñedo ubicada en el Instituto Tecnológico Agrario, cuyo fin es evaluar el número de muestras necesarias que han de tomarse para caracterizar esta propiedad.

El trabajo se completa con un estudio geostatístico de los valores de materia orgánica, con lo que pueden extraerse conclusiones para planes de muestreo futuros, desarrollo de modelos de simulación a escala de campo y aplicación práctica de problemas de fertilización.

ABSTRACT. Organic Matter content is among the most important soil properties due to its structural function and role in the fate of solutes in soil. Assuming that O.M. content in vineyard soils are relatively low, the knowledge and control of the uncertainty of analytical method become indispensable, prior to a field characterisation.

In this work, a method of analysis of soil organic matter is developed and validated in accordance with ISO-17025 standards, including a study of the variability that the methodology introduces in the results. Using this method, a characterization of O.M. content in a vineyard plot sited in the Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (Valladolid, Spain) was carried out. The work is completed with a geostatistic study of the organic matter values, in order to obtain conclusions for our future samplings, development of simulation models at field scale and practical applications of fertilization problems.

1. Introducción

Los horizontes superficiales de los suelos sometidos a laboreo suelen contener entre el 1 y el 3 % de materia orgánica. A pesar de que el contenido de este constituyente del suelo no es muy elevado, su papel en la estructura y procesos que tienen lugar en los sistemas suelo-agua-soluto es fundamental. En la práctica, se suele distinguir entre dos tipos de materia orgánica; la total, que incluye todo tipo de compuestos orgánicos y la oxidable, que está totalmente transformada y que por lo tanto es la que influye en mayor medida en las propiedades físico-químicas del suelo.

La importancia que se le reconoce a la materia orgánica deriva de su intervención en procesos como la formación y estabilización de agregados, el ciclo biogeoquímico de nutrientes, el pH del suelo y el balance de agua y energía. Así, la materia orgánica tiene un papel importante en la retención de humedad, dado su carácter hidrofóbico (Nelson, 1996) y afecta a la densidad aparente y estructura del suelo. Otro aspecto importante es su papel en los equilibrios de oxidación-reducción de prácticamente cualquier elemento químico (Sauvé et al., 1998; Yermiyahu et al., 1995) y muy particularmente su papel regulador de muchas de las transformaciones en el ciclo del nitrógeno (Johnsson et al., 1987). Además y como aspectos más relevantes, interviene en el transporte de agua y solutos, como la adsorción-desorción de pesticidas (Benoit et al., 1996; Barriuso et al., 1992), hidrocarburos aromáticos (Totsche et al., 1997) y óxidos (Gu et al., 1994).

La retención de estos solutos suele expresarse a través de un coeficiente de distribución K_d , que es la constante de proporcionalidad entre la cantidad de soluto en las fases adsorbida y disuelta. La correlación entre el coeficiente de adsorción (K_d) de moléculas orgánicas polares y apolares con el contenido de carbono orgánico del suelo, viene dada por el coeficiente K_{oc} (Benoit et al., 1996):

$$K_{oc} (\text{dm}^3/\text{Kg}) = [K_d (\text{dm}^3/\text{Kg}) \times \% \text{ carbono orgánico}] \times 100 \quad (1)$$

siendo K_d :

$$K_d (\text{dm}^3/\text{Kg}) = [\text{Total adsorbido (g/Kg)} / \text{concentración de la solución en el equilibrio (g/dm}^3)] \quad (2)$$

Dado que el contenido en materia orgánica es uno de los factores con mayor incidencia en la adsorción de determinados compuestos y que su análisis es mucho más sencillo y rápido que la realización de isotermas de adsorción, resulta interesante abordar una metodología de caracterización de su contenido a escala de campo. Dicha caracterización debe tener en cuenta que los suelos son heterogéneos y que sus características varían en todas las direcciones, por lo que se requiere atender a consideraciones de variabilidad espacial.

Puesto que la propiedad que vamos a caracterizar se estima a partir de un método químico y que los valores de porcentaje de M.O. son habitualmente bajos, es necesario tener en cuenta la presencia de una variabilidad inherente al método de caracterización, que habrá que distinguir de la variabilidad espacial real. A pesar de que este valor puede estimarse a partir del variograma, en un estudio estadístico, conviene que sea controlado durante las tandas de análisis, llevando a cabo estudios simultáneos de la incertidumbre del método analítico utilizado y planificando un método de control de calidad.

Atendiendo a estos planteamientos, los objetivos planteados en este trabajo fueron la caracterización geoestadística del contenido de materia orgánica en un área de 12.000 m², con estimación previa de la incertidumbre y control de la variabilidad del método analítico empleado para la estimación de la variable en campo.

2. Material y métodos

2.1. Parcela Experimental

La parcela experimental está situada en el término municipal de Valladolid, en la Finca Zamadueñas perteneciente al Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León, en el Km. 118 de la Carretera de Burgos. Se encuentra sobre una terraza del Río Pisuerga a una altura de 10 m sobre su cauce. El Mapa de suelos de Castilla y León atendiendo a la clasificación de la FAO, cartografía la zona de la parcela como Fluvisol cálcico o calcáreo.

Se trata de una plantación de viñedo, cuyas dimensiones son 110,2 m x 108,2 m, dividida en cuatro subsectores, separados por una carretera (Cr) y un camino auxiliar (Ca), como puede verse en la figura 2; en la figura también se aprecian cuatro áreas sombreadas, que se corresponden con la superficie plantada de viñedo, habiendo sido desechado el muestreo de las primeras filas debido a su posible efecto de borde al encontrarse próximas al camino. El marco de plantación está distribuido en 2,80 m entre las filas y 1,15 m entre las plantas a lo largo de la fila. En la tabla 1 se citan las características más relevantes.

Tabla 1. Características físico-químicas.

Textura	pH	CIC	Carbonatos
Franco-Arenosa	7,67	1,26 meq/100g	34,5%
Caliza Activa	pF 0,33 atm	pF 15 atm	
4,58%	10,4%	6,25%	

2.2. Muestreo previo y plan final de muestreo

Siguiendo las indicaciones de Mulla et al. (2002) y asumiendo una distribución normal de los datos se partió de la ecuación 3 (Warrick and Nielsen, 1980) para plantear un muestreo previo de la parcela.

$$n = 1,96^2 \frac{\sigma^2}{\bar{X} x d^2} \tag{3}$$

donde σ es la varianza, \bar{X} el valor medio y d el rango de error aceptado sobre la media. Resolviendo esta ecuación para un valor medio de esta propiedad en campo de un 1%, un error en valor de la propiedad del 10% y un coeficiente de variación (C.V.) del 30% (Mulla et al. 2002), dado que $\sigma^2 = (CV \times \bar{X})/100$, el número de muestras necesario sería de: $1,96^2 \times 0,3^2 / (1 \times 0,1)^2 = 35$ muestras.

Decidieron tomarse 36 muestras de acuerdo a la figura 1.

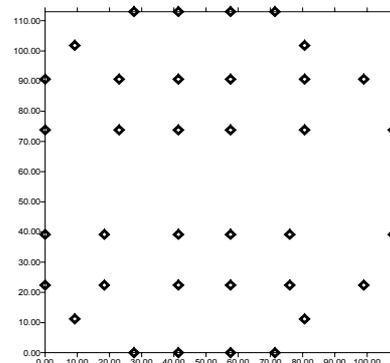


Fig. 1. Rejilla de puntos para el muestreo previo.

Para las 36 muestras se obtuvo un valor medio de M.O. en la parcela de 1,23% y un valor de la varianza de 0,0522. Para el cálculo del número de muestras final se utilizó un intervalo de confianza del 98% y se recalculó la ecuación 3 para los valores obtenidos en el muestreo previo arrojando como resultado un total de 386 muestras necesarias. Este número de muestras permitía además establecer una rejilla suficientemente densa para un posterior estudio geoestadístico (Fig. 2). La decisión fue apoyada además sobre un semivariograma realizado con el muestreo previo.

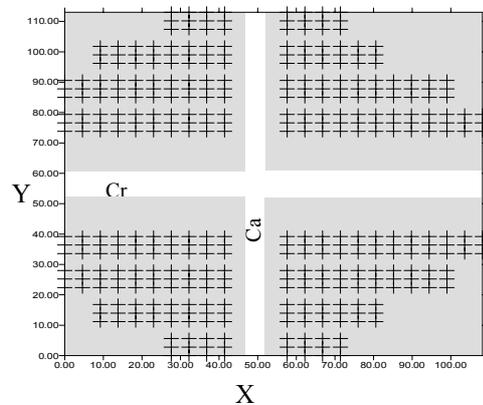


Fig. 2. Mapa final de muestreo. Situación de los 384 puntos donde se han tomado las muestras de suelo. (Distancias en m).

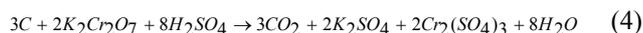
2.3. Toma de Muestras

Las muestras de suelo se tomaron del horizonte superficial, aproximadamente de los primeros 30 cm, mediante una barrena Edelman de 7 cm de diámetro. La muestra se introdujo en una bolsa de plástico etiquetada y se trasladó al laboratorio para ser analizada. Las muestras fueron secadas al aire y tamizadas a 2 mm antes de su análisis.

2.4. Determinación de la Materia Orgánica

El principal componente de la M.O. del suelo es el carbono orgánico, por lo que todos los métodos basados en la oxidación del carbono orgánico del suelo sirven como determinación indirecta de la M.O. El valor de la M.O. del suelo se obtiene a partir del contenido en carbono orgánico multiplicado por el factor 1,724 (coeficiente de Waskman). El método más utilizado es el de Walkley y Black, cuyo fundamento es la determinación del carbono orgánico que se oxida con dicromato potásico en presencia de ácido sulfúrico; el exceso de oxidante se valora con sulfato ferroso amónico (sal de Mohr) y la cantidad de carbono orgánico oxidado se calcula a partir de la cantidad de dicromato reducido. (M.A.P.A., 1994).

La oxidación de la materia orgánica con dicromato en medio ácido, se desarrolla siguiendo la siguiente reacción:



2.5. Incertidumbre del método y Control de Calidad

La validación consiste en realizar y estudiar un número determinado de pruebas analíticas, de forma que se establezcan las características técnicas para cumplir las especificaciones relativas al funcionamiento del método de análisis de acuerdo a unos criterios (en nuestro caso propusimos los de la norma ISO-17025), mientras que el control de calidad asegura que las operaciones realizadas durante el procedimiento analítico, así como la instrumentación y reactivos necesarios, se han preparado y utilizado de una forma correcta, y que la incertidumbre del resultado de análisis se encuentra bajo límites establecidos.

Una de las claves es la disposición de una muestra de referencia que se analiza en cada tanda de análisis (material certificado). Dado que no existe un suelo con un contenido de M.O. certificado, fue necesario preparar un material de referencia que sirviese para la validación y control de calidad del método. Con este fin se utilizó suelo con una cantidad conocida de glucosa ($C_6H_{12}O_6$), ya que todo el carbono que contiene es susceptible de ser oxidado. El suelo de referencia, libre de materia orgánica se obtuvo por calcinación en mufla durante 18 horas a 540 °C. Los resultados de la determinación analítica en 5 repeticiones de muestras de suelo con cantidades crecientes de materia orgánica: 0g; 0,5g; 1g; 1,5g; 2g; 2,5g figuran en la Tabla 2.

Tabla 2. Determinación analítica de % de M.O. en suelos de referencia.

ml de la Disolución de Glucosa	g de Suelo exento de M.O.	Suelo con % de M.O.	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^o
0	1,5	0	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04
2	1,5	0,4586	0,42	0,46	0,45	0,47	0,48
4,5	1,5	1,0319	0,99	1,04	1,02	1,03	1,03
6,5	1,5	1,4906	1,45	1,48	1,48	1,50	1,50
4,5	0,75	2,064	2,00	2,03	2,09	2,08	2,11
5,5	0,75	2,5226	2,51	2,57	2,55	2,59	2,58

El límite de detección (L.D.) cuantifica la parte inferior del intervalo de concentración que se puede medir. Según la IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada), se calcula a partir de las rectas de calibrado mediante la expresión:

$$L.D.=3S_{y/x}/m \quad (5)$$

donde m es la pendiente de la recta de calibrado y $S_{y/x}$ es la desviación estándar del ajuste. Su valor fue 0,1787.

La incertidumbre es debida a la variabilidad propia del proceso de medida (errores aleatorios). Se evalúa mediante el análisis de réplicas de un material de referencia estable o de adiciones conocidas sobre una muestra y se rige por la siguiente expresión (EURACHEM/CITAC 2000):

$$U = K \cdot (\sqrt{(W * S_{MR} / \sqrt{N_{MR}})^2 + (C/\sigma)^2}) \quad (6)$$

donde K es un factor de corrección y tomará distintos valores en función del grado de confianza, normalmente se toma K=2 (confianza aproximadamente del 95%).

El primer término de la raíz corresponde al cálculo de la incertidumbre del material de referencia, Para obtener este valor se ha utilizado el método de adiciones que consiste en añadir una cantidad conocida de glucosa al suelo exento de materia orgánica, y comparar la diferencia entre los resultados que se obtienen de la muestra adicionada con el valor teórico de la adición que se toma como valor de referencia. El segundo término $(C/\sigma)^2$ corresponde al cálculo de la incertidumbre del sesgo, es decir, los errores provocados por variaciones impredecibles, siendo C la corrección o sesgo y σ un coeficiente que depende del tipo de distribución. La función que estima la incertidumbre en función de la concentración puede verse en la figura 3.

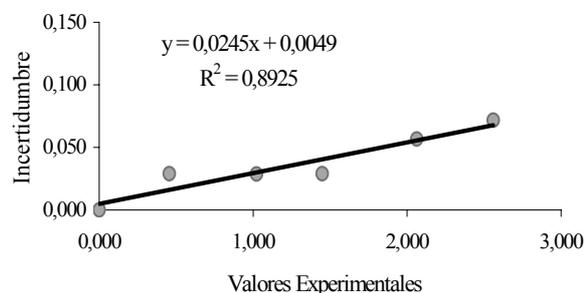


Fig. 3. Representación gráfica de la incertidumbre.

Por último, y para determinar si la técnica analítica se encuentra dentro del intervalo de error aceptable es preciso la elaboración de los diagramas de control (figura 4). Para

ello es preciso determinar la media y la variabilidad del proceso; construida la media, los niveles superior e inferior del diagrama se obtienen sumándole y restándole a ésta el triple de la desviación estándar de las medidas (EURACHEM/CITAC 2000).

Tabla 3. Parámetros estadísticos del diagrama de control de calidad expresados en % de M.O.

Media	0,582
Desviación Estándar	0,021
Límite Superior	0,645
Límite Inferior	0,52

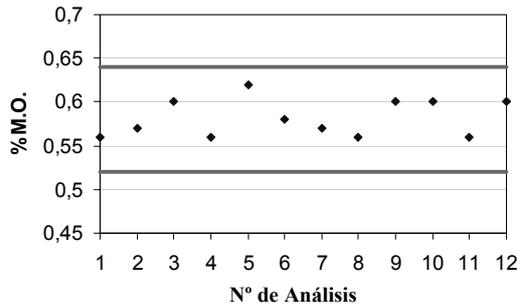


Fig. 4. Diagrama de control de calidad. Los puntos representan los valores obtenidos para una misma muestra de referencia en cada tanda de análisis

3. Estudio Geoestadístico

Este estudio ha sido realizado sobre un total de 386 puntos del muestreo final (Fig. 2).

3.1. Estadística

En primer lugar, se identificaron los valores outliers mediante el diagrama de tronco y hoja (Tabla 4). Se observaron 9 valores atípicos, que se alejan de la distribución normal de los datos ($\leq .70$ y ≥ 1.81). Estos valores representan menos del 3 % del total de los datos y no fueron desechados para posteriores análisis estadísticos, al comprobarse que no afectan a los valores medios obtenidos para la distribución.

Tabla 4. Diagrama de tronco y hoja.

Frequency	Stem & Leaf
4.00	Extremes ($\leq .70$)
7.00	7 . 49&
7.00	8 . 67&
19.00	9 . 1235789&
51.00	10 . 02345566778888999&
66.00	11 . 00111233344455667788999
88.00	12 . 00011222333455566677778889999
53.00	13 . 000122234556777889
32.00	14 . 022344556789&
25.00	15 . 011234579
14.00	16 . 12679&
13.00	17 . 0247&
5.00	Extremes (≥ 1.81)
Stem width: .10000	
Each leaf: 3 case(s)	

La Tabla 5 muestra los estadísticos descriptivos: media, mediana, moda, coeficiente de variación (CV), varianza, asimetría y curtosis de la distribución de valores de M.O. en campo, los cuales nos dan una primera idea de la distribución y dispersión de los resultados obtenidos.

Tabla 5. Estadísticos descriptivos de los datos de materia orgánica.

Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Moda
0,40	2,04	1,257	1,245	1,29
C.V.	Varianza	Asimetría	Curtosis	
18,30%	0,0529	0,265	0,955	

A la vista de estos resultados se observa que el valor máximo de contenido de materia orgánica en la parcela es de 2,04%, siendo el valor mínimo de 0,4%. Los valores de la media, mediana y moda son prácticamente iguales, y los valores de curtosis y asimetría obtenidos, sugieren que muchos de los datos están distribuidos de una manera homogénea, es decir, siguen una distribución normal. El C.V. obtenido es moderado (18,3%) siendo acorde con los valores propuestos por Mulla and McBratney (2002) que clasifican el C.V. de esta propiedad como moderado-alto, con valores del 21-41%.

Introduciendo estos valores en la ecuación 3, observamos que el número de muestras necesario para caracterizar la parcela desde el punto de vista analítico y estadístico sería de 9 para un error tolerado de un 10% sobre la media y de 5 para un error de un 20% sobre la media. Estos valores son considerablemente inferiores a los planteados en el muestreo previo inicial y es debido al valor tan bajo que se ha obtenido para la varianza, casi la mitad de lo esperado. Obsérvese también que el error cometido en la estimación de la varianza a partir de 36 muestras respecto de las 386 muestras utilizadas finalmente es tan sólo de un 4,2% y en el caso de la media de un 2,2% de error, lo que implica que bajo estos criterios, el muestreo está sobredimensionado y que habríamos llegado a las mismas conclusiones con un número de muestras mucho menor.

Desde el punto de vista geoestadístico la cantidad de muestras requerida será mayor, dado que para variables con dependencia espacial, la información proporcionada por cada muestra se ve minimizada.

3.2. Geoestadística

Aunque en este trabajo se ha desarrollado una metodología para llevar a cabo muestreos con un alto grado de automatización, es interesante siempre optimizar el número de experimentos mínimo necesario para la caracterización de la variabilidad. Para ello, se hace necesario profundizar en la relación entre la variabilidad de las medidas y la distancia entre estas.

En primer lugar se estimó el variograma de superficie (Fig. 5), donde el valor de cada celda representa una clase de distancia direccional. El resultado es un mapa de píxeles con una clase especial de georeferencia, que ayuda a visualizar la posible anisotropía de los datos y determinar la dirección del eje de anisotropía. En este caso los valores

más elevados de anisotropía se encuentran en la dirección de 135° y los menores en la dirección de 0°.

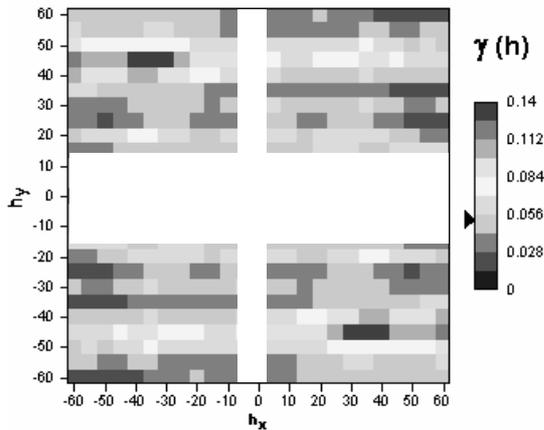


Fig. 5. Variograma de superficie.

El variograma omnidireccional (figura 6) fue ajustado a un modelo teórico esférico por medio de la metodología de los mínimos cuadrados ponderados (Burrough y Van Keulen, 1986); muestra el comportamiento típico de una variable regionalizada, con una varianza de 0,0545 que va aumentando progresivamente hasta un rango de 19,6 m, lejos de los 112-250 m citados por Mulla et al. (2002).

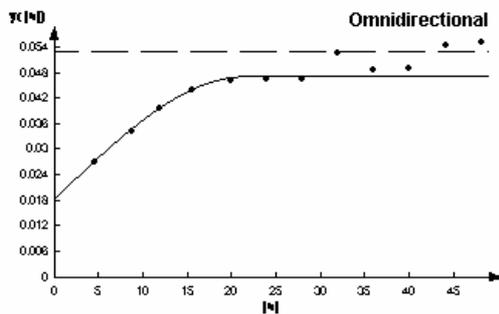


Fig. 6. Variograma omnidireccional ajustado.

El valor del nugget sería comparable con la incertidumbre del método de determinación de la magnitud (incluiría errores accidentales en el muestreo, transporte y manipulación de la muestra, etc.). Observando ambos valores se aprecia que para un valor medio de 1,25% de M.O. en la parcela, el valor de la incertidumbre en la determinación analítica es de 0,04, casi el doble que el nugget del variograma que es 0,0186, debido principalmente a que en la incertidumbre analítica inciden más fuentes de error que en la geoestadística.

Los variogramas direccionales se han calculado considerando las direcciones de 0° ± 22.5°, y 90° ± 22.5° y aparecen representados en la figura 7.

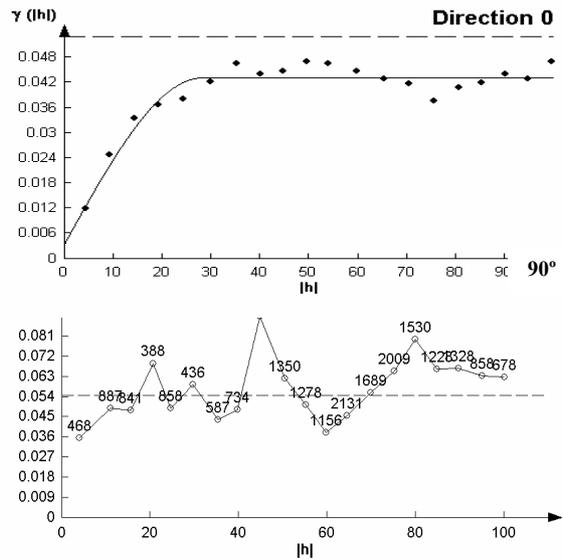


Fig. 7. Variogramas direccionales para 0° y 90°.

El variograma en la dirección 0° (eje X), que se correspondería con la menor anisotropía observada en el variograma de superficie, ha sido modelado ajustándole a un modelo esférico; y muestra una clara dependencia del contenido de M.O. con la distancia presentando un rango de 23 m, mayor que el del diagrama omnidireccional y un nugget de 0,0036, también menor que el del diagrama omnidireccional. Por el contrario el variograma en la dirección 90° no muestra una clara independencia con la distancia.

Con los resultados obtenidos en los análisis del contenido de materia orgánica se han elaborado mapas que reflejan gráficamente y de una manera más explícita que los variogramas la distribución y variabilidad de este parámetro en la parcela (Fig. 8), para ello es necesario conocer los valores de esta propiedad en puntos no muestreados, para lo que se recurrió a la interpolación geoestadística mediante krigeado.

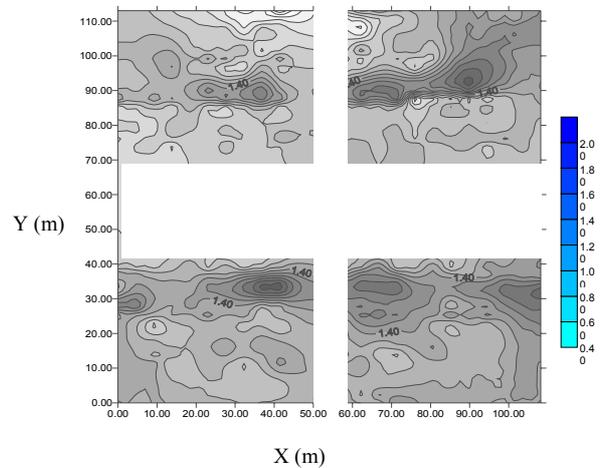


Fig. 8. Mapa de distribución de la M.O. en la parcela.

Con un C.V. del 18%, se observa una variación espacial moderada en toda la parcela aunque se aprecien zonas con un elevado contenido próximas a otras de contenido muy inferior. Los valores más altos se observan para dos franjas en la dirección del eje X (0°), correspondientes a los 30 y 90 m, presentando el resto de la parcela una distribución homogénea, siendo los valores algo más bajos en los dos subsectores superiores.

4. Resumen y conclusiones

A partir del estudio de la incertidumbre del método de determinación de M.O., se ha obtenido un límite de detección del 0,1787% y una incertidumbre que viene dada por la expresión $Y = 0,0245x + 0,0049$, donde x es la concentración de M.O.

Los valores de M.O. en campo siguen una distribución normal, presentando un coeficiente de variación moderado.

La M.O. tiene relativamente poca correlación espacial en la parcela estudiada; los valores son muy similares en muestras próximas aumentando rápidamente con la distancia, al contrario de lo esperado, dado que esta propiedad presenta rangos de dependencia muy elevados.

Los variogramas direccionales muestran una cierta dependencia en la dirección 0°, donde se aprecia la menor variabilidad espacial. En esta dirección, la dispersión de los pares de medidas aumenta hasta un rango de 23 m, no observándose correlación espacial de la variabilidad en la perpendicular del sistema cartesiano establecido, dado que en la dirección 90-135° la variabilidad es alta, como mostró el variograma de superficie.

El krigado confirma los resultados de los variogramas, observando que los valores más altos y más bajos de M.O. se distribuyen a lo largo de franjas sobre el eje X, por lo que la mayor variabilidad se encuentra desplazándose a lo largo del eje Y (90°).

Se han establecido criterios para responder a las dos cuestiones más importantes que se nos plantean ante un muestreo:

i) Cuántos puntos se han de muestrear: Desde el punto de vista analítico y estadístico, introduciendo en la ecuación 1 los valores recalculados de C.V. y media, para un error de un 10 % de materia orgánica sobre la media sería necesario el muestreo de 9 puntos, mientras que si permitiéramos un error de un 20 % únicamente bastaría con tomar 5 muestras. Desde el punto de vista de la geoestadística y para muestras en las que se espera correlación espacial, la información proporcionada por cada muestra se ve minimizada, por lo que es necesario tomar un mayor número de muestras aunque en todo caso el mínimo no puede ser inferior al que proporcione los pares de puntos mínimos para el variograma; según la

aproximación de Mulla, serían necesarias respectivamente 14 y 8 muestras.

ii) A que distancia unos de otros. El rango nos indica que la distancia máxima a la que deberíamos tomar una muestra de otra con una varianza conocida sería de 19,6 m.

La correlación del contenido de M.O. con otras propiedades tales como adsorción-desorción y transporte, es interesante a la hora de plantear los muestreos, dado que el conociendo esta propiedad y su relación con la propiedad a estudiar, puede reducir de manera considerable el número de muestras a tomar y determinar, lo que adquiere una mayor importancia en aquellas cuya caracterización sea larga y costosa.

Agradecimientos. Este trabajo ha sido financiado con fondos del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León, proyecto "Estudio de los suelos de uso agrícola: fertilidad y recomendaciones de abonado".

Referencias

- Barriuso, E.; Baer, U. And Calvet, R 1992. Dissolved organic matter and adsorption-desorption of dimefuron, atrazine, and carbetamide by soils. *J. Environ. Qual* 21: 359-367
- Benoit, P.; Barriuso, E.; Houot, S. And Calvet, R. 1996. Influence of the nature of soil organic matter on the sorption-desorption of 4-chlorophenol, 2,4-dichlorophenol and the herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D). *European Journal of Soil Science*, 47: 567-578
- Burrough, P.A. and Van Keulen, J. 1986. PC-GEOSTAT. A geostatistical package for microcomputer. Dept. Physical Geography, University of Utrecht. The Netherlands. 97 p.
- EURACHEM/CITAC Guide 2000. Quantifying uncertainty in analytical measurement. Second Edition. QUAM: P1.
- Gu, B.; Schmitt, J.; Chen, Z.; Liang, L. and McCarthy, J. 1994. Adsorption and desorption of natural organic matter on iron oxide: mechanism and models. *Environ. Sci. Technol.* 28(1): 38-46
- Johnsson, H., L. Bergstrom, P. Jansson y K. Paustiaen, 1987. Simulating nitrogen dynamics and losses in a layered agricultural soil. *Agric. Ecosystems and the Environ.* 18:333-356.
- Kögel-Knabner, I 1993. Biodegradation and humification processes in forest soils. *Soil Biochemistry*, 8: 105-105
- M.A.P.A. (1994). Métodos oficiales de Análisis. Parte III. Madrid. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Mulla, D. J. and Mc Bratney, A. B. (2002). Soil spatial variability en Soil Physics Companion, editado por A. Warrick
- Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1996. Total Carbo, Organic Carbon and Organic Mater. P. 1001-1062. In D. L. Sparks (ed.). Method of Soil Analysis, Part 3 Chemical Methods. SSSA Book Series N°5, Madison, WI.
- Sauve, S.; McBride, M. and Hendershot, W. 1998. Soil Solution Speciation of Lead(II): Effects of Organic Matter and pH. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:618-621.
- Totsche, K. U.; Danzer, J. and Kögel-Knabner, I. 1997. Dissolved organic matter-enhanced retention of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil miscible displacement experiments. *J. Environ. Qual.* 26: 1090-1100
- Warrick, A. W., and D. R. Nielsen, 1980. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Applications of Soil Physics. D. Hillel (Ed.). Academic Press, New York, pp.319-344.
- Yermiyahu, U.; Keren, R. and Chen, Y. 1995. Boron Sorption by Soil in the Presence of Composted Organic Matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:405-409.