



Facultad de Ciencias Agropecuarias
Universidad Nacional de Córdoba



Área de Consolidación

MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LA INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA

Carbono Orgánico total y particulado: potenciales indicadores de calidad en suelos de la región pampeana bajo siembra directa



Autora: Ana Natalia Bustos

Tutor del Área de Consolidación MClA: Ing. Agr. (Dr) Mariano Córdoba

Directora de beca: Ing. Agr. (Msc) Carolina Álvarez

Año 2016



ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
RESUMEN	5
INTRODUCCIÓN	6
OBJETIVOS	10
Principales	10
Específicos	10
MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
Descripción del sitio	11
Características del sitio experimental y del ensayo	12
Procedimiento de Análisis.....	12
Modelo Lineal Mixto propuesto para el análisis del COT.....	13
Modelo Lineal Mixto propuesto para el análisis del COP > 200 μ m	13
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
Análisis descriptivo.....	15
Modelación de los contenidos de COT y COP	18
Ajuste de un modelo lineal mixto para COT y el COP de las fracciones entre 53-200 μ m y <53 μ m con especificación de la estructura de varianzas heterogéneas.....	18
Ajuste de un modelo lineal mixto para el COP de la fracción lábil >200 μ m	20
CONCLUSIONES	23
BIBLIOGRAFÍA.....	24
ANEXO	26



ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. Medidas resumen para la variable COT.....	16
Tabla 2. Comparación de modelos.....	18
Tabla 3. Comparación de modelos sin correlación espacial vs. correlación espacial cuadrática	21
Tabla 4. Comparación de modelos con distintas especificaciones de heteroscedasticidad.....	21
Figura 1. Diferencias en los promedios de COT entre profundidad, año y tratamiento.....	15
Figura 2. Niveles de COT según el tratamiento y la profundidad.	15
Figura 3. Contenido de CO en diferentes fracciones orgánicas del suelo para diferentes secuencias de cultivo. Gráfico a) 0-5 m y b) 5-10cm.....	17
Figura 4. Diagramas de dispersión para el COT y COP de las fracciones más estables. Gráfico a) COP <53 μ m y b) COP 53-200 μ m.	17
Figura 5. Dinámica de la respuesta modelada de COT para la interacción de las variables tratamiento y profundidad.	18
Figura 6. Niveles promedio de COP en la fracción entre 53-200 micras y su E.E.....	19
Figura 7. Niveles promedio de COP para la fracción menor a 53 micras y su E.E.....	20
Figura 8. Promedios de carbono orgánico para la fracción >200 micras y su E.E.....	21



AGRADECIMIENTOS

A mi tutor del trabajo final del Área de Consolidación Métodos Cuantitativos para la Investigación Agropecuaria de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba, Ing. Agr. (Dr) Mariano Córdoba, por guiarme en el desarrollo de los análisis, por su tiempo y dedicación.

A mi directora de beca, Ing. Agr. Carolina Álvarez por su apoyo continuo y su gran disposición para la formación para mi persona, tanto en lo profesional como en lo personal.

A la Ing. Agr. (Dra) Cecilia Bruno y MSc. Julio Di Rienzo, por sus valiosos aportes y calidad docente.

A todos los integrantes de la Cátedra de Estadística asociada al Área de Consolidación MCI, por su disposición para nuestro aprendizaje y desarrollo como futuros profesionales.

Al Grupo de trabajo de Recursos Naturales, al Laboratorio de Suelos y Agua y a los ayudantes técnicos de la EEA-INTA Manfredi por su colaboración a lo largo de la beca, especialmente a Sebastián Salas.



RESUMEN

El objetivo del siguiente trabajo fue evaluar la potencialidad que posee el carbono orgánico total y el de sus fracciones como indicadores de calidad de un suelo de la región pampeana de Córdoba. El estudio se realizó en un ensayo iniciado en 1995 en la EEA INTA Manfredi sobre un Haplustol típico. Se evaluaron 4 secuencias de cultivos bajo siembra directa y un testigo definido por la situación prístina, 5 tratamientos en total, durante dos campañas agrícolas (2012/2013-2014/2015). En cada tratamiento se determinó el contenido de carbono orgánico total (COT) y contenido de carbono orgánico particulado de las fracciones $>200\mu\text{m}$, entre 53-200 μm y $<53\mu\text{m}$ en dos profundidades, entre 0-5cm y entre 5-10cm. Para el análisis estadístico se ajustaron modelos lineales mixtos con diferente estructura de correlación del término de error, incluyendo correlaciones del tipo espacial. El modelo incluyó como efectos fijos el tratamiento, la profundidad, la campaña y sus interacciones para evaluar la respuesta en los niveles de carbono orgánico (CO). Los resultados mostraron que los contenidos de CO fueron indicadores del cambio en el uso de la tierra, denotando una pérdida del 37% entre la situación original y los sistemas en producción en todo el espesor estudiado, observado esto en el COP de las fracciones menores e intermedias. En el análisis del COT se observó un efecto positivo del cultivo de cobertura cuando el antecesor de la secuencia fue soja. El carbono de la fracción $>200\mu\text{m}$ entre 5-10 cm fue la más sensible para detectar los efectos de las prácticas agrícolas en el corto plazo.

Palabras claves: modelo mixto, fracciones de la materia orgánica, uso de la tierra, secuencia de cultivos



INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo se enmarca en el área de consolidación “Métodos Cuantitativos para la Investigación Agropecuaria” y la información a analizar se obtuvo de una beca de capacitación a través del Convenio entre el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y la Asociación Universitaria de Educación Superior, que fue desarrollada en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Manfredi en el año 2015. La temática de la misma se centra en el estudio del impacto de la diversificación de los agroecosistemas sobre variables microbianas del suelo y su relación con propiedades físicas y químicas del suelo.

Durante el período 1988-2002, los censos agropecuarios del INDEC muestran que la superficie dedicada a cultivos anuales se expandió en la provincia de Córdoba a una tasa anual del 14% contra un 0,4% a nivel nacional. Como ocurre a nivel mundial, la expansión agrícola influye sobre el clima, los ciclos del agua, el carbono y el nitrógeno en la biosfera, las emisiones de gases causantes del efecto invernadero y la biodiversidad. Al mismo tiempo, ante una demanda creciente de alimentos y fibras, el aumento de la superficie agrícola aparece como un proceso ineludible. Entonces se generan así dos posiciones diferentes: por una parte, la producción agropecuaria y sus sectores industriales y comerciales asociados celebran la incorporación de nuevas áreas productivas al mapa agrícola del país y los ingresos que generan, y por otra parte, las entidades conservacionistas alertan sobre riesgos para la continuidad de los ecosistemas, mientras grupos políticos pronostican efectos sociales negativos (Paruelo et al., 2005). Frente a este escenario, como futuros profesionales se nos exige atender a dicha creciente demanda mundial de alimentos pero de manera sustentable ambientalmente. Para ello debemos problematizarnos con las cuestiones ambientales, ya que los factores que utilizamos para producir son escasos y algunos no renovables, como lo es el suelo. Se genera la necesidad entonces, de planificar el uso del suelo y para ello necesitamos contar con elementos que nos permitan diagnosticar su estado y que sean indicadores sensibles de los efectos que producen las distintas prácticas agronómicas.

En la búsqueda de indicadores de calidad o de salud de un suelo, surge la importancia de estudiar la materia orgánica (MO), ya que es el principal factor en el control de la capacidad del recurso para mantener la productividad agrícola, la calidad ambiental y sustentabilidad social (Manlay et al., 2007). Definida como la fracción orgánica del suelo excluido los residuos animales y



vegetales aún no descompuestos (Overstreet, 1997), varía desde residuos recientemente incorporados hasta la compleja estructura del humos alcanzada luego de siglos.

La MO del suelo influye directa e indirectamente sobre la estructura, porosidad, absorción y retención de agua, disponibilidad de macro y micro nutrientes, capacidad de intercambio catiónico y aniónico, producción de sustancias inhibitoras y activadoras para el desarrollo de microorganismos, intercambio gaseoso y de otras propiedades edáficas (Gasparoni, 2008).

El principal constituyente de la MO es el carbono, que llega a representar entre el 40% y 60% dependiendo del estado de transformación, teniendo marcado efecto sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, de allí la importancia de su cuantificación como uno de los indicadores más importantes de la calidad del mismo.

Existen numerosos estudios que afirman que las prácticas agronómicas modifican la dinámica de la MO, a través de los cambios en la cantidad y calidad de los aportes orgánicos que ingresan al suelo, de su ubicación y acceso para los organismos descomponedores y de las modificaciones sobre el ambiente edáfico (Galantini et al., 2008). Por otro lado, otros autores plantean que la dinámica del carbono orgánico total aporta muy poco para el estudio de los efectos en el corto plazo de las prácticas agronómicas (Tan et al., 2007). En cambio, el estudio de sus fracciones, más sensibles a los efectos del diferente uso de la tierra, pueden ser utilizados como indicadores tempranos de la dirección de esos cambios (Six et al., 2003).

Desde el punto de vista práctico, una separación útil debería permitir aislar fracciones de la MO total que tengan un significado funcional diferente, que sean sensibles para detectar efectos de corto plazo en los diferentes sistemas de producción y que aporten información relevante sobre el ciclo y la disponibilidad de nutrientes.

Podemos dividir la materia orgánica en tres fracciones con características y propiedades marcadamente diferentes:

- a) Residuos orgánicos, material vegetal y animal en diferente fase de su transformación, que pueden presentar entre el 10 y el 35% de C, también denominada MO lábil, principal fuente de fertilidad química y física.
- b) La biomasa microbiana viva, que varía entre el 1 y el 5%



- c) El material humificado con peso molecular relativamente elevado, amorfo, coloidal, de coloración amarillo a oscuro, que representa del 50 al 85% del material orgánico del suelo y es la fracción más estable

La necesidad de aplicar modelos matemáticos para simular los cambios de la MO bajo diferentes situaciones y usarlos como herramienta de diagnóstico y monitoreo, ha llevado a definir compartimentos o fracciones conceptuales. En este sentido, la aplicación del fraccionamiento físico por tamaño de partícula es una herramienta importante para el estudio de corto plazo de las diferentes prácticas agropecuarias (Galantini, 2008), que permite detectar diferencias en los contenidos y calidad de las fracciones orgánicas debido a factores naturales (Quiroga et al., 2001; Galantini et al., 2004), así como el efecto de la rotación de cultivos (Casanovas et al., 1995; Galantini et al., 2002). La base fundamental de esta separación se basa en el rol de los minerales edáficos dentro de la estabilización y ciclado de la MO y sugiere tres niveles:

- 1) Complejos órgano-minerales, donde las características de los minerales y la MO, y su interacción regulan la velocidad de descomposición
- 2) Agregación de los complejos órgano-minerales, donde la MO lábil puede ser protegida físicamente dentro de los agregados
- 3) Estructura del suelo, incluye a los dos anteriores, y donde tienen importancia los aspectos biológicos y de manejo que modifican la porosidad influyendo sobre la velocidad de transformación de los compuestos orgánicos lábiles

Por lo cual, se decide determinar el contenido de carbono orgánico total (COT) y el carbono orgánico particulado (COP) de las fracción mayor a 200 micras ($F > 200 \mu\text{m}$) representando la MO lábil, la fracción intermedia comprendida entre 53 y 200 micras ($F_{5-200} \mu\text{m}$) y la fracción menor a 53 micras ($F < 53 \mu\text{m}$).

Ahora bien, surge entonces la necesidad de buscar métodos o herramientas que nos permitan obtener información precisa de los datos medidos, más aún en situaciones en las que es difícil utilizar los modelos lineales clásicos de análisis de varianza porque no se cumplen los supuestos de independencia, normalidad, igualdad de varianzas o incluso linealidad. La modelación de datos experimentales en el marco teórico de los modelos lineales y mixtos brinda la posibilidad de analizar datos con estructuras de dependencia, desbalances y falta de normalidad (Balzarini et al., 2005). Diversas estrategias, bajo el mismo marco teórico permiten modelar variabilidad



sobre y más allá de la componente usual asociada a los términos de error. Existen muchos beneficios que pueden obtenerse con el uso de modelos mixtos (Balzarini et al, 2005).

Los objetivos del siguiente trabajo se basan en la evaluación de los efectos que producen distintas secuencias de cultivos conducidos bajo siembra directa sobre los niveles de carbono orgánico del suelo total y por fracción, en relación a la situación original o prístina. Para el análisis estadístico se ajustan modelos lineales mixtos para la modelación de la respuesta del carbono orgánico, incluyendo factores fijos y sus múltiples interacciones y bajo diferentes estructuras de modelación del término de error aleatorio, que logren explicar con mayor confiabilidad cómo se modifica dicha respuesta según la rotación, la profundidad y el año. Se realizan comparaciones entre los modelos ajustados para decidir cuál de ellos conviene a cada variable a través del uso de criterios de selección de modelos basados en la verosimilitud y penalizados por el número de parámetros estimados en el modelo. Además, se plantea realizar análisis de correlación entre las variables determinadas.



OBJETIVOS

Principales

Establecer la potencialidad que poseen la concentración y dinámica del carbono orgánico total del suelo y de sus fracciones como indicadores de la calidad de los suelos de la región pampeana de Córdoba.

Específicos

Evaluar la relación entre los contenidos de cada fracción de COT y COP.

Diagnosticar el contenido de COT y COP en los sistemas en producción en comparación con la situación original e identificar qué prácticas agronómicas, en relación a la secuencia de cultivos bajo siembra directa, son las adecuadas para el tipo de suelo en cuestión.



MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sitio

La fuente de información utilizada se obtuvo de un ensayo de larga duración de la Estación Experimental Agropecuaria INTA-Manfredi donde se estudian distintas secuencias de cultivos de cosecha y cultivos de cobertura, iniciado en el año 1995. Para los fines de este trabajo, se utilizaron datos de dos campañas agrícolas (2012/2013 y 2014/2015) donde se analizó las variaciones del contenido de carbono orgánico en una secuencia Soja-Maíz con cultivo de cobertura y sin cultivo de cobertura, bajo siembra directa. El ensayo posee tres repeticiones por tratamiento. Las unidades experimentales (UE) están definidas por parcelas de 110 metros de largo y 35 metros de ancho. Además se consideró como testigo, una situación prístina (sin disturbio antrópico) representada por el bosque nativo asociado donde se establecieron tres puntos de muestreo. Los tratamientos se enumeran a continuación:

- Testigo Prístino (P)
- Antecesor Soja Sin Cultivo de Cobertura (Sj SC)
- Antecesor Soja Con Cultivo de Cobertura (Sj CC)
- Antecesor Maíz Sin Cultivo de Cobertura (Mz SC)
- Antecesor Maíz Con Cultivo de Cobertura (Mz CC)

El cultivo de cobertura invernal utilizado fue Triticale, en el cual se interrumpe su crecimiento en plena encañazón, momento donde se aplica un herbicida.

El muestreo se llevó a cabo luego de la cosecha de los cultivos estivales (Mayo 2013; Mayo 2015). Se tomaron muestras compuestas formadas por 15-20 sub-muestras por UE en dos profundidades, entre 0-5 cm y 5-10 cm. Las muestras se tamizaron por malla de 2mm.

Se determinó el contenido de carbono total (COT) por el método descrito por Walkley & Black (1934), y además se realizó fraccionamiento físico por tamaño de partícula empleando la técnica de tamizado en húmedo del suelo adaptada de Feller (1979, 1994) que permite la separación de la fracción de suelo mayor a 200 micras ($F > 200 \mu\text{m}$), la comprendida en entre 53 y 200 micras ($F_{53-200} \mu\text{m}$) y la fracción restante menor a 53 micras ($F < 53 \mu\text{m}$).

Las fracciones fueron secadas en estufa a 65°C para su posterior análisis de carbono.



Características del sitio experimental y del ensayo

El ensayo situado en Manfredi (31° 49' Lat. S.; 63°46' Long. O.) pertenece a la región natural denominada Pampa Loésica Alta comprendida dentro de la llanura central de Córdoba. Se ubica a 292 msnm y presenta un relieve de lomas planas muy extendidas con pendientes que no superan el 0,5%, desarrolladas sobre sedimentos loésicos de textura franco limosa, enriquecidos con carbonato de calcio, material que dio origen a los suelos de esta región.

El régimen climático al que pertenece es el semiárido, con una precipitación media anual (promedio de la serie de años 1931-2010), de 757 mm cuya distribución es de tipo monzónica. La temperatura media anual es de 16,8 °C, la media del mes más frío es de 9,5 °C y la media del mes más cálido es de 23,4 °C. Los cultivos fueron conducidos en secano, y la precipitación anual para las campañas analizadas fue de 955 mm- y -de 778 mm, 2012/2013 y 2014/2015 respectivamente.

El suelo es un Haplustol típico, corresponde a la Serie Oncativo, desarrollado sobre sedimentos eólicos, de textura franco limosa, cuya secuencia de horizontes es A1, A/C, Ck.

En cuanto al manejo de los cultivos, se siguen las prácticas culturales recomendadas de barbecho químico; protección contra malezas, plagas y enfermedades; fertilización fosforada en la siembra (10-15kg de P /ha) para soja y maíz y nitrogenada sólo para maíz (50-60kg de N/ha), en todos los tratamientos en igual dosis.

Procedimiento de Análisis

Se realizaron gráficos y calcularon medidas resumen y coeficientes de correlación para obtener una descripción general de los datos originados en el ensayo. Los contenidos de carbono orgánico total (COT) y particulado (COP) del suelo se analizaron bajo un modelo lineal mixto (MLM), debido al incumplimiento de los supuestos del modelo. Se ajustó un modelo introduciendo distintos factores con la finalidad de inferir de manera más precisa cómo se modifica la concentración de carbono orgánico según los distintos manejos agronómicos y su distribución en cada fracción de la materia orgánica.



Modelo Lineal Mixto propuesto para el análisis del COT

Se ajustó un modelo para el COT donde se consideraron como efectos fijos el tratamiento, la profundidad, el año y las interacciones entre dichas variables. Al verificar la falta de homogeneidad de varianzas, se especificó la estructura de varianzas de los errores seleccionando la función de varianza identidad (VarIdent) para el factor tratamiento.

El modelo ajustado se describe a continuación:

$$Y_{ijl} = \mu + \tau_i + \alpha_l + \beta_j + \delta_{il} + \theta_{ij} + \lambda_j + \pi_{ijl} + \varepsilon_{ijl}$$

$$i=1, \dots, 5; l=1, \dots, 2; j=1, \dots, 2$$

donde Y_{ijl} representa la respuesta en la concentración de carbono orgánico (expresada como gr de carbono/100 gr de suelo) observada en el i -ésimo nivel del factor tratamiento, l -ésimo nivel del factor profundidad y j -ésimo nivel del factor año; " μ " representa la media general de la respuesta, " τ_i " representa el efecto del i -ésimo nivel del factor tratamiento, " α_l " representa el efecto del l -ésimo nivel del factor profundidad y " β_j " representa el efecto del j -ésimo nivel del factor año; " δ_{il} ", " θ_{ij} ", " λ_j " y " π_{ijl} " simbolizan las interacciones de segundo y tercer orden correspondientes a los factores tratamiento, profundidad y año; y " ε_{ijl} " los errores experimentales. Los ε_{ijl} se consideran variables aleatorias idénticamente distribuidas $N(0, \sigma^2_m)$ y se supone que son independientes.

Para explicar la respuesta del contenido de carbono de fracción menor a 53μ y aquella comprendida entre $53-200\mu$ se ajustó un modelo similar al descrito para COT.

Modelo Lineal Mixto propuesto para el análisis del COP > 200 μ m

Para la modelación se tuvieron en cuenta los mismos efectos fijos e interacciones que en el modelo anterior, pero en este caso se declaró la heteroscedasticidad para las tres variables: tratamiento, año y profundidad.

Debido a que el ensayo no cuenta con repeticiones genuinas, para corregir una posible correlación espacial entre un tratamiento y la ubicación de su parcela, se confeccionó una cuadrícula de puntos a intervalos de 5 metros en el programa QGIS (Sistema de Información Geográfica de código abierto) y se asignó a cada estación de muestreo una coordenada (x;y) dada por el centroide de cada parcela y con ello representar su posición dentro del ensayo. Con esta información, se procedió a realizar el ajuste del MLM, se especificó para el término de error



del modelo una estructura de correlación espacial del tipo “rational quadratic” utilizando para ello las co-variables lat y long (posición de cada UE). Los modelos fueron evaluados por los criterios de Akaike (AIC) y de Schwarz (BIC) en donde valores menores para el criterio de ajuste indican el mejor modelo.

Para las comparaciones de medias de todas las variables analizadas, se utilizó la prueba de DGC (Di Rienzo et ál. 2002) para un nivel de significancia del $\alpha = 0.05$. Todos los análisis se realizaron con el software estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2015).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis descriptivo

Los niveles de carbono orgánico total (COT) se vieron modificados por la profundidad, el tratamiento y el año como se muestra en la Figura 1, donde se grafican los promedios de COT y su Error Estándar. Se observa que en todos los casos los niveles de CO en los primeros 5 cm fueron mayores, duplicando en algunos casos a los promedios en la profundidad 5-0 cm y que existen diferencias entre tratamientos

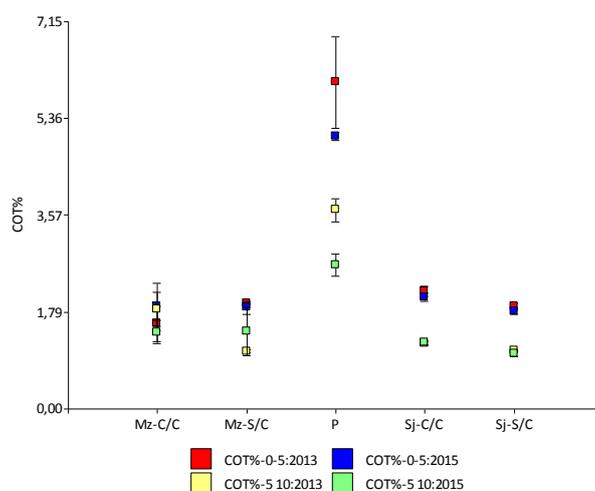


Figura 1. Diferencias en los promedios de COT entre profundidad, año y tratamiento

El gráfico de barras de la Fig. 2 muestra los promedios de COT en los distintos tratamientos según la profundidad del suelo y su Desvío Estándar (DE). El promedio de COT de la situación prístina (P) fue mayor en ambas profundidades, y puede observarse una pérdida de carbono orgánico (CO) de alrededor del 40% en las secuencias de cultivo con respecto a la situación original.

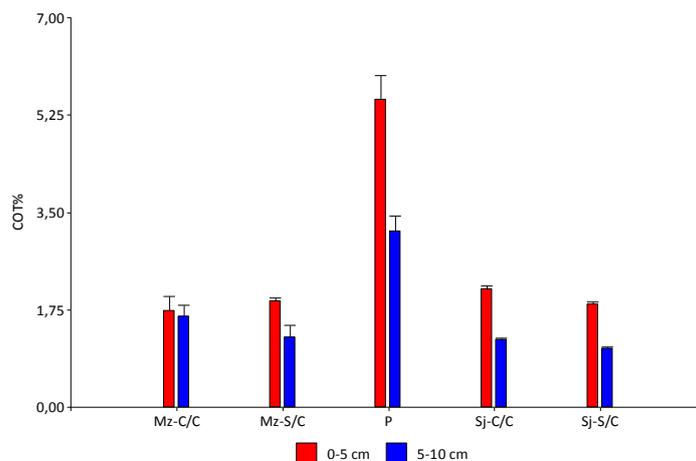


Figura 2. Niveles de COT según el tratamiento y la profundidad

La siguiente tabla muestran las medidas resumen para la variable COT, donde se observa que el COT cambia de manera considerable entre las profundidades analizadas principalmente en la



situación prístina (P) y cuando el cultivo antecesor es soja. La inclusión del cultivo de cobertura en la rotación Soja-Maíz tendría muy bajo impacto sobre los niveles de CO₂, y en el caso de Mz (0-5) este efecto parecería negativo. La situación P presenta los mayores promedios de COT, como así también los mayores D.E. poniendo en evidencia que es la variable menos uniforme. Las secuencias con antecesor Mz muestran mayores desvíos que los observados en el antecesor Soja.

Prof.	Trat.	Media	DE	Mín	Máx
0-5	Mz-C/C	<u>1,73</u>	0,63	1,01	2,4
0-5	Mz-S/C	<u>1,91</u>	0,14	1,67	2,09
0-5	P	5,53	1,07	4,77	7,62
0-5	Sj-C/C	2,12	0,15	1,92	2,34
0-5	Sj-S/C	1,84	0,10	1,7	1,97
5 10	Mz-C/C	1,63	0,48	1,14	2,21
5 10	Mz-S/C	1,25	0,53	0,81	2,3
5 10	P	3,17	0,64	2,42	4,04
5 10	Sj-C/C	1,21	0,06	1,14	1,29
5 10	Sj-S/C	1,05	0,08	0,9	1,11

Tabla 1. Medidas resumen para la variable COT

La distribución de las fracciones de la materia orgánica por tratamiento se muestra en la Figura 3 a) y b) donde se presentan las proporciones acumuladas de cada fracción. Al igual que en el COT, el carbono orgánico particulado (COP) se comporta de manera distinta según el tratamiento y la profundidad. Alrededor del 50% del carbono total se concentra en la fracción <53µm para la profundidad comprendida entre 0-5cm y en un porcentaje mayor entre los 5-10cm, mostrándose respectivamente constante entre los distintos tratamientos. La fracción >200 µm posee los menores tenores de COP, y éstos se modifican según la profundidad, mostrando el patrón inverso que la fracción <53 µm (a mayor profundidad menor % de carbono) y muestra una reducción en el Prístino (0-5cm). El COP de la fracción entre 53-200 µm es mayor en los primeros cm y demuestra poca variación entre los tratamientos.

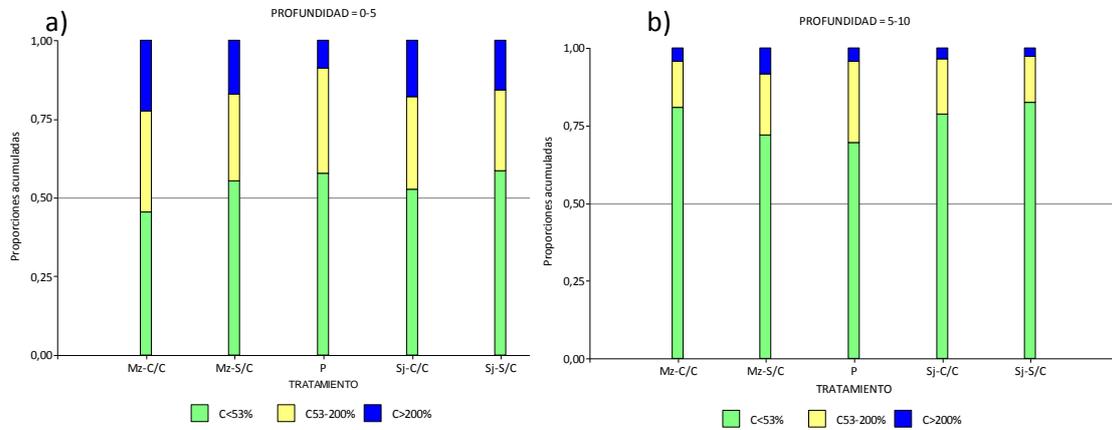


Figura 3. Contenido de CO en diferentes fracciones orgánicas del suelo para diferentes secuencias de cultivo. Gráfico a) 0-5 m y b) 5-10cm

En los gráficos de la Fig. 4 se puede observar la tendencia de la relación entre el COT y el COP de las fracciones <53 μm y entre 53-200 μm ; la correlación existente se verifica mediante el cálculo del coeficiente de Pearson (ρ) que fueron altos y estadísticamente significativos ($p < 0.05$).

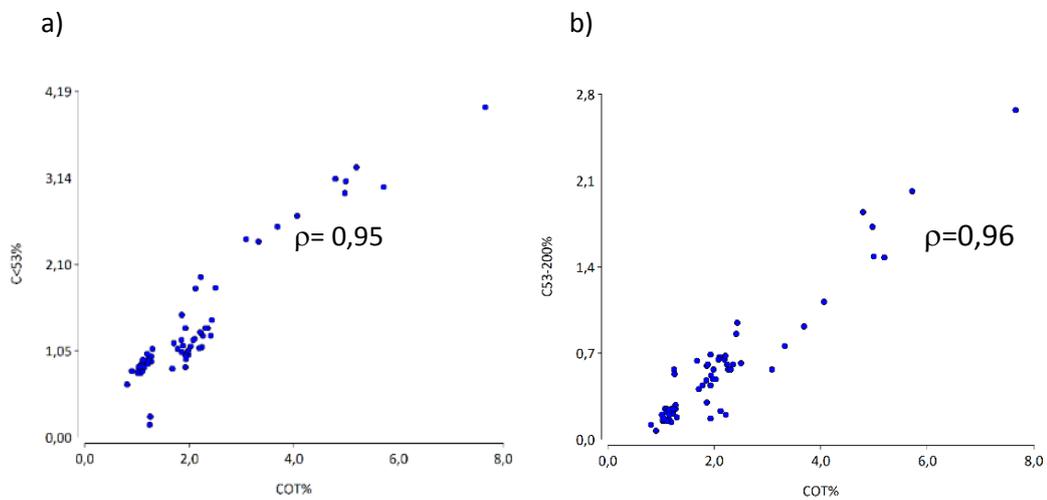


Figura 4. Diagramas de dispersión para el COT y COP de las fracciones más estables. Gráfico a) COP <53 μm y b) COP 53-200 μm



Modelación de los contenidos de COT y COP

Ajuste de un modelo lineal mixto para COT y el COP de las fracciones entre 53-200 μ m y <53 μ m con especificación de la estructura de varianzas heterogéneas

El análisis con modelos mixtos se ajustó para el carbono orgánico total de manera más precisa y confiable, corrigiendo la heteroscedasticidad del tratamiento que especificando además una correlación espacial. Debido a que los criterios de selección de modelos AIC y BIC no coincidieron se procedió a realizar la prueba de comparación de modelos basada en el cociente de verosimilitud. Como se muestra en la Tabla 2, el p-valor supera al nivel de significancia e indica que se debe optar por el modelo más sencillo en este caso el heterocedastico.

Modelo	Model	df	AIC	BIC	logLik	Test	L.Ratio	p-value
Heteroscedastico	1	25	85,14	127,37	-17,57			
Heteroscedastico + Corralación espacial	2	26	83,66	127,57	-15,83	1 vs 2	3,480	0,0621

Tabla 2. Comparación de modelos.

De acuerdo al modelo ajustado para COT, se analizó la interacción “Tratamiento*Profundidad” pudiendo afirmar que la concentración de CO es mayor en la profundidad entre 0-5 cm y que existen diferencias estadísticamente significativas entre la situación prístina, superior en ambas profundidades, y los sistemas bajo producción como se observa en la Figura 5. Del mismo modo, se distingue la secuencia Sj-C/C: (0-5cm) que se diferenció del resto, no existiendo diferencias entre Mz-S/C (0-5cm), Sj-S/C (5-10cm), Mz-C/C (0-5cm) y Mz-C/C (0-5cm). Los tratamientos que mostraron el menor desempeño fueron Mz-S/C (5-10cm), Sj-C/C (5-10cm) y Sj- S/C (5-10cm).

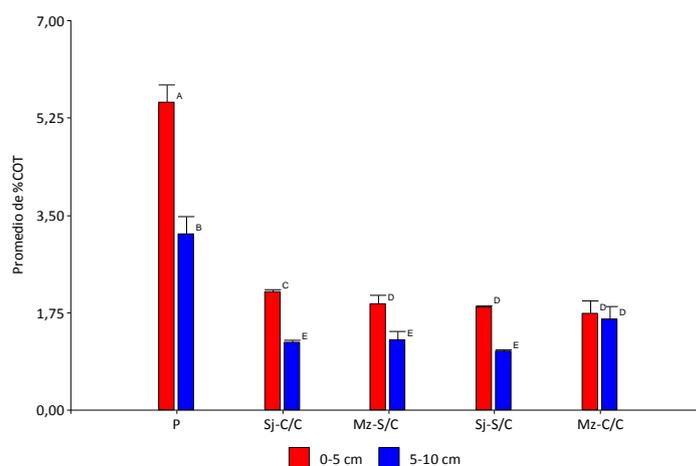


Figura 5. Dinámica de la respuesta modelada de COT para la interacción de las variables tratamiento y profundidad.

Del análisis anterior se desprende que existe un decrecimiento del COT del 37% en todo el espesor considerado, como lo estudiado por Apezteguía y Sereno (2008), que estiman pérdidas



de alrededor del 48% del COT. Las pérdidas son mayores en la segunda profundidad (41%) según las medias ajustadas. Si bien la siembra directa logra incrementar los niveles de carbono como afirman varios autores, la introducción de cultivos de cobertura invernales en la secuencia soja-maíz no contribuye a aumentar los niveles de COT, excepto cuando el antecesor es soja y solo a nivel superficial. Un caso particular ocurre cuando el antecesor es maíz presentando un resultado contradictorio, ya que la secuencia sin cultivo de cobertura mostró mejor performance en la capa superficial, esto puede deberse a un menor aporte de residuos del maíz proveniente de una gramínea invernal asociado a una menor disponibilidad de nitrógeno, repercutiendo negativamente en la producción de biomasa y disminuyendo la disponibilidad de restos vegetales que ingresan al ciclo del carbono.

Estudiando las respuestas en el COP de las fracciones menores a 53 micras y la comprendida entre 53-200 micras, se pueden contemplar las mismas tendencias en el contenido de carbono orgánico observadas para el COT, pero sin encontrar diferencias entre las distintas secuencias. Esto demuestra que las fracciones más estables y las de estabilidad intermedio explican mayormente las variaciones que se discutieron para COT.

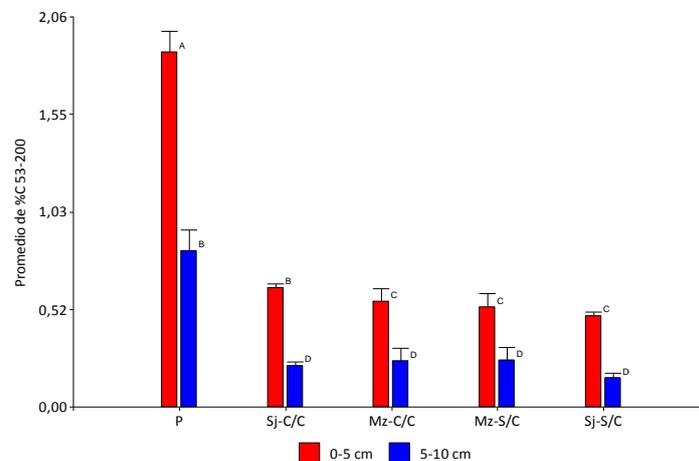


Figura 6. Niveles promedio de COP en la fracción entre 53-200 micras y su E.E.

En la Figura 6, se presentan los niveles de COP para la fracción entre 53-200 μm donde podemos observar que la situación prístina se diferencia claramente del resto de los tratamientos para ambas profundidades. Luego, se muestra como el factor profundidad, divide al COP en los dos grupos, no existiendo diferencias significativas entre las secuencias con CC y sin CC, en contraposición a lo descrito por Casanovas (1995), Galantini y Rosell (1997) y Galantini (2002).



Al analizar la respuesta del COP en la fracción <53 , en la Figura 7, la tendencia es la misma que la observada para el COP entre $53-200 \mu\text{m}$, los valores mayores se distinguen en P a nivel superficial, seguido por sus contenido en profundidad. A continuación, el COP de las secuencias agrícolas a $0-5\text{cm}$, y por último registrando los menores contenidos los tratamientos entre $5-10\text{cm}$, a excepción de lo que ocurre con Mz-C/C, donde se aprecia que posee mayor concentración de CO entre $5-10\text{cm}$.

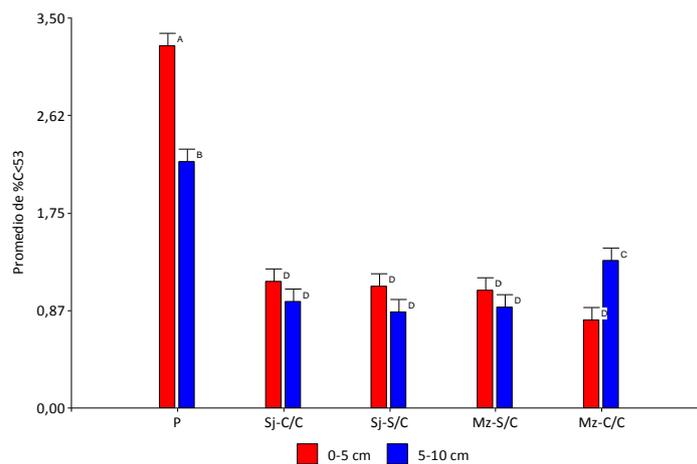


Figura 7. Niveles promedio de COP para la fracción menor a $53 \mu\text{m}$ y su E.E.

De acuerdo a esto, podemos inferir que no hay efecto del cultivo de cobertura sobre la concentración de CO. El COP $<53\mu\text{m}$ sirvió para distinguir la situación prístina del resto, pero no es una herramienta sensible a los cambios en las secuencias de cultivos para el conjunto de datos analizado.

Ajuste de un modelo lineal mixto para el COP de la fracción lábil $>200\mu\text{m}$

Para la modelación del COP de la MO lábil el modelo es igual al anterior (mismos efectos fijos), en el cual se declara además de la heteroscedasticidad para el Tratamiento, una función de correlación espacial cuadrática. Según lo informado por el p-valor de la Tabla 3, el modelo original sin correlación provee mejor ajuste.



Modelo	Model	df	AIC	BIC	logLik	Test	L.Ratio	p-value
Heterocedastico	1	25	-12,66	29,56	31,33			
Heteroscedastico + Corralación espacial	2	26	-10,66	33,25	31,33	1 vs 2	0,0000	0,9999

Tabla 3. Comparación de modelos sin correlación espacial vs. correlación espacial cuadrática.

A continuación, al modelo original (MLM-Heteroscedasticidad: TRATAMIENTO) se le indica que la varianza de los errores es distinta para el tratamiento, el año y la profundidad, seleccionando VarIdent para éstos últimos tres, la comparación se observa a continuación:

Modelo	Model	df	AIC	BIC	logLik	Test	L.Ratio	p-value
Heteroscedastico: TRATAMIENTO	1	25	-12,66	29,56	31,33			
Heteroscedastico:TRATAMIENTO, AÑO Y PROFUNDIDAD	2	27	-39,51	6,09	46,75	1 vs 2	30,850	0,00000

Tabla 4. Comparación de modelos con distintas especificaciones de heteroscedasticidad

De acuerdo a los resultados presentados en la tabla anterior, podemos concluir que en la prueba de REML, se rechaza la hipótesis nula (p -valor < 0.05), que favorece al modelo reducido, en este caso el modelo que sólo corrige la variabilidad del tratamiento. Por ello será conveniente seleccionar el modelo 2 que brinda un mejor ajuste. En el siguiente gráfico de la Fig. 8 se muestran las medias de tratamientos con sus respectivas comparaciones:

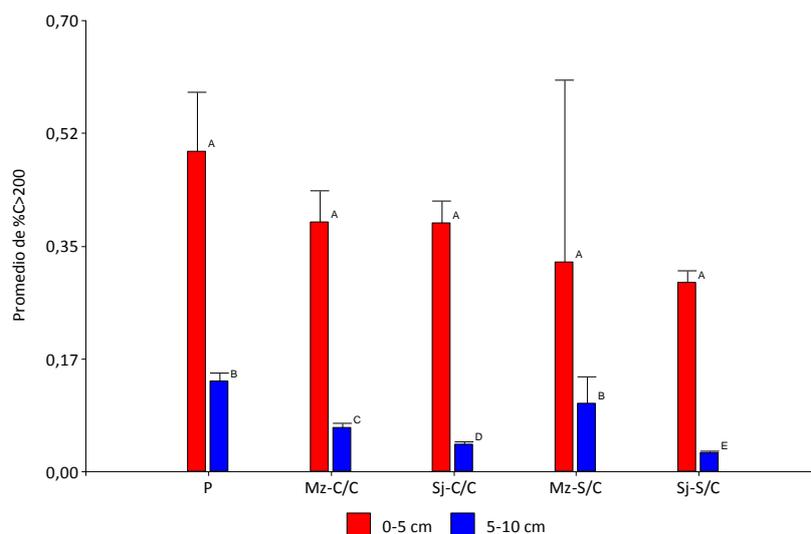


Figura 8. Promedios de carbono orgánico para la fracción >200 micras y su E.E.



Los promedios del COP de la fracción $>200\mu\text{m}$ fueron superiores en la profundidad entre 0-5cm, y no hubo variación entre tratamientos. En cambio, entre los 5-10cm encontramos que la situación prístina y el Mz S/C se diferencian del resto con mayor concentración de CO; seguidos por Mz C/C que se distingue de Sj S/C, y finalmente con los menores promedios Sj S/C.



CONCLUSIONES

Los modelos lineales resultaron una herramienta estadística efectiva para modelar la respuesta contenido orgánico del suelo ya que permitieron aumentar la precisión de las estimaciones y flexibilizar las limitantes que presenta el modelo lineal clásico, en cuanto al incumplimiento de sus supuestos.

En los modelos ajustados la especificación de la correlación espacial no fue útil para la base de información estudiada.

Por otra parte, se observó que entre CO total y el de las fracciones menores e intermedias existe una fuerte correlación.

El promedio de contenido de carbono orgánico resultó mayor en la profundidad de 0 a 5 cm en todos los casos analizados, excepto en la F<53 μ m, donde el promedio en Mz C/C que fue mayor entre los 5 y 10 cm.

El CO resultó un indicador sensible para revelar la pérdida del 37% del CO entre la situación prístina y las secuencias de cultivo, de las cuales se destacó el nivel de CO del antecesor soja con cultivo de cobertura en los primeros 5 cm.

El COP de la fracción entre 53-200micras y la menor a 53 micras distinguió la situación prístina del resto, siendo superior en ambas profundidades que los sistemas de cultivo.

Los niveles de COP entre 5-10 cm en la fracción mayor a 200 micras lograron diferenciar la situación prístina y la secuencia con antecesor maíz sin cultivo de cobertura, del antecesor maíz y soja con cultivo de cobertura; y por último, el antecesor soja sin cultivo de cobertura que presentó marcadas reducciones de CO. En base a ello podemos inferir que la introducción de un cultivo de cobertura a la secuencia soja-maíz aumenta los niveles de CO lábil, sobre todo cuando el antecesor es maíz, siempre y cuando la fertilización nitrogenada sea adecuadamente balanceada.



BIBLIOGRAFÍA

Álvarez R. 2006. *Materia Orgánica: Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos*. Editorial Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, pp 1-52.

Apezteguía H.P., Sereno R. 2008. Sustancias húmicas y otras fracciones de la materia orgánica en el bosque nativo y en suelos cultivados. En *Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina*. Editor Galantini J. A. Editorial de la Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina, pp 131-141.

Balzarini M., Di Rienzo J., Tablada M., Gonzales L., Bruno C., Córdoba M., Robledo W., Casanoves F. 2012. *Estadística y Biometría- Ilustraciones del Uso de Infostat en Problemas de Agronomía*. Editorial Brujas, Córdoba, Argentina, Capítulo 1-8-10

Balzarini, M. & Macchiavelli, R. 2005. Aplicaciones de modelos mixtos en agricultura y forestería. *Notas de Clase. Curso Internacional Aplicaciones de Modelos Mixtos en Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, Tomo 46, Número 2, 2012, pp 3-12.

Buschiazzo D. E., Quiroga A. R., Stahr K. 1991. Patterns of organic matter accumulation in soils of the semiarid Argentinian Pampas. *Z. Pflanzenem. Bodenk* p 439-441.

Casanovas E.M.; Studdert G. A., Echeverría H.E. 1995. Materia orgánica del suelo bajo rotaciones de cultivos. Contenido total y de distintas fracciones. *Ciencia del Suelo* 13:16-20

Di Rienzo J., Macchiavelli R., Casanoves F. 2009. *Modelos Mixtos en Infostat*. Córdoba, Argentina, pp1-18 y 126.

Galantini J., Iglesias J., Landriscini M., Suñer L., Minoldo G. 2008. En *Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina*. Editor Galantini J. A. Editorial de la Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina, pp 71-92.

Gasparoni J. C. 2008. Determinación de la materia orgánica del suelo. En *Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina*. Editor Galantini J. A. Editorial de la Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina, pp 41-42.

Galantini J. A., Iglesias J.O., Cuntini L., Krüger H., Venanzi S. 2004. Sistemas de labranzas: efectos sobre las fracciones orgánicas. *XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná*. Resumen p 80.



Manlay R.j., Feller C., Swift M. J. 2007. Historical evolution of soil organic matter concepts and their relationships with the fertility and sustainability of cropping systems. *A, E & E* 119: 217-233.

Overstreet L. F., DeJong-Huges J., 1997. The Importance of Soil Organic Matter in Cropping Systems of the Northern Great Plains. Publicado en internet, www.extension.umn.edu.

Paruelo J. M., Guerschman J.P, y Verón S. R. 2005. Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. Facultad de Agronomía, UBA. *C. H 15 n° 87*: 14-20.

Six. J., Bossuyt H., Degryze S., Deneff K. 2003. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil & Tillage Research* 79: 7-31.



ANEXO

Salidas de Infostat para los modelos analizados:

Modelos lineales generales y mixtos para COT

Especificación del modelo en R

```
modelo.000_COT_REML<-
gls (COT~1+ANO+TRATAMIENTO+PROFUNDIDAD+ANO:TRATAMIENTO+ANO:PROFUNDIDAD+TRATAMIENTO:PROFUN
DIDAD+ANO:TRATAMIENTO:PROFUNDIDAD
,weights=varComb (varIdent (form=~1|TRATAMIENTO))
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data00)
```

Resultados para el modelo: modelo.000_COT_REML

Variable dependiente: COT

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
60	85,14	127,37	-17,57	0,58	0,92	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	6047,55	<0,0001
ANO	1	2,47	0,1240
TRATAMIENTO	4	46,48	<0,0001
PROFUNDIDAD	1	437,54	<0,0001
ANO:TRATAMIENTO	4	1,33	0,2757
ANO:PROFUNDIDAD	1	0,71	0,4045
TRATAMIENTO:PROFUNDIDAD	4	4,71	0,0033
ANO:TRATAMIENTO:PROFUNDIDA..	4	0,61	0,6546

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 ANO	1	40	2,85	0,0989
2 TRATAMIENTO	4	40	46,48	<0,0001
3 PROFUNDIDAD	1	40	62,42	<0,0001
4 ANO:TRATAMIENTO	4	40	1,33	0,2757
5 ANO:PROFUNDIDAD	1	40	0,02	0,9029
6 TRATAMIENTO:PROFUNDIDAD	4	40	4,71	0,0033
7 ANO:TRATAMIENTO:PROFUNDIDA..	4	40	0,61	0,6546

Estructura de varianzas

Modelo de varianzas: varIdent
Formula: ~ 1 | TRATAMIENTO

Parámetros de la función de varianza

Parámetro	Estim
Mz-C/C	1,00
Mz-S/C	0,69
P	1,33
Sj-C/C	0,20
Sj-S/C	0,15



COT - Medias ajustadas y errores estándares para TRATAMIENTO*PROFUNDIDAD

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRATAMIENTO	PROFUNDIDAD	Medias	E.E.				
P	0-5	5,53	0,32	A			
P	5 10	3,17	0,32		B		
Sj-C/C	0-5	2,12	0,05			C	
Mz-S/C	0-5	1,91	0,16				D
Sj-S/C	0-5	1,85	0,04				D
Mz-C/C	0-5	1,73	0,24				D
Mz-C/C	5 10	1,63	0,24				D
Mz-S/C	5 10	1,25	0,16				E
Sj-C/C	5 10	1,21	0,05				E
Sj-S/C	5 10	1,05	0,04				E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos para COP <53micras

Especificación del modelo en R

```
modelo.001_C.53_REML<-
gls(C.53~1+ANO+TRATAMIENTO+PROFUNDIDAD+ANO:TRATAMIENTO+ANO:PROFUNDIDAD+TRATAMIENTO:PROFUNDIDAD+ANO:TRATAMIENTO:PROFUNDIDAD
,weights=varComb(varIdent(form=~1|TRATAMIENTO))
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data01)
```

Resultados para el modelo: modelo.001_C.53_REML

Variable dependiente: C.53

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
60	51,47	93,69	-0,73	0,43	0,92	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	6549,26	<0,0001
ANO	1	3,19	0,0815
TRATAMIENTO	4	63,20	<0,0001
PROFUNDIDAD	1	80,75	<0,0001
ANO:TRATAMIENTO	4	1,55	0,2057
ANO:PROFUNDIDAD	1	2,33	0,1350
TRATAMIENTO:PROFUNDIDAD	4	5,97	0,0007
ANO:TRATAMIENTO:PROFUNDIDA..	4	1,90	0,1289

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 ANO	1	40	0,74	0,3955
2 TRATAMIENTO	4	40	63,20	<0,0001
3 PROFUNDIDAD	1	40	8,60	0,0055
4 ANO:TRATAMIENTO	4	40	1,55	0,2057
5 ANO:PROFUNDIDAD	1	40	2,59	0,1157
6 TRATAMIENTO:PROFUNDIDAD	4	40	5,97	0,0007
7 ANO:TRATAMIENTO:PROFUNDIDA..	4	40	1,90	0,1289

Estructura de varianzas

Modelo de varianzas: varIdent



Formula: ~ 1 | TRATAMIENTO

Parámetros de la función de varianza

Parámetro	Estim
Mz-C/C	1,00
Mz-S/C	0,50
P	0,88
Sj-C/C	0,32
Sj-S/C	0,11

C.53 - Medias ajustadas y errores estándares para TRATAMIENTO*PROFUNDIDAD

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRATAMIENTO	PROFUNDIDAD	Medias	E.E.		
P	0-5	3,25	0,15	A	
P	5 10	2,21	0,15		B
Mz-C/C	5 10	1,32	0,18		C
Sj-C/C	0-5	1,13	0,06		C
Sj-S/C	0-5	1,09	0,02		C
Mz-S/C	0-5	1,05	0,09		C
Sj-C/C	5 10	0,96	0,06		D
Mz-S/C	5 10	0,90	0,09		D
Sj-S/C	5 10	0,86	0,02		D
Mz-C/C	0-5	0,79	0,18		D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos para COP 53-200 micras

Especificación del modelo en R

```
modelo.002_C53.200_REML<-
gls (C53.200~1+ANO+TRATAMIENTO+PROFUNDIDAD+ANO:TRATAMIENTO+ANO:PROFUNDIDAD+TRATAMIENTO:PR
OFUNDIDAD+ANO:TRATAMIENTO:PROFUNDIDAD
,weights=varComb(varIdent(form=~1|TRATAMIENTO))
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data02)
```

Resultados para el modelo: modelo.002_C53.200_REML

Variable dependiente: C53.200

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2
60	15,62	57,85	17,19	0,17	0,93

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	1370,83	<0,0001
ANO	1	0,69	0,4120
TRATAMIENTO	4	43,69	<0,0001
PROFUNDIDAD	1	312,07	<0,0001
ANO:TRATAMIENTO	4	2,56	0,0529
ANO:PROFUNDIDAD	1	3,72	0,0609
TRATAMIENTO:PROFUNDIDAD	4	5,99	0,0007
ANO:TRATAMIENTO:PROFUNDIDA..	4	0,86	0,4952

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba



		numDF	denDF	F-value	p-value
1	ANO	1	40	1,15	0,2892
2	TRATAMIENTO	4	40	43,69	<0,0001
3	PROFUNDIDAD	1	40	125,53	<0,0001
4	ANO:TRATAMIENTO	4	40	2,56	0,0529
5	ANO:PROFUNDIDAD	1	40	0,09	0,7614
6	TRATAMIENTO:PROFUNDIDAD	4	40	5,99	0,0007
7	ANO:TRATAMIENTO:PROFUNDIDA..	4	40	0,86	0,4952

Estructura de varianzas

Modelo de varianzas: varIdent
Formula: ~ 1 | TRATAMIENTO

Parámetros de la función de varianza

Parámetro	Estim
Mz-C/C	1,00
Mz-S/C	1,02
P	1,60
Sj-C/C	0,31
Sj-S/C	0,37

C53.200 - Medias ajustadas y errores estándares para TRATAMIENTO*PROFUNDIDAD

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRATAMIENTO	PROFUNDIDAD	Medias	E.E.	
P	0-5	1,88	0,11	A
P	5 10	0,82	0,11	B
Sj-C/C	0-5	0,63	0,02	B
Mz-C/C	0-5	0,56	0,07	C
Mz-S/C	0-5	0,53	0,07	C
Sj-S/C	0-5	0,48	0,03	C
Mz-S/C	5 10	0,25	0,07	D
Mz-C/C	5 10	0,24	0,07	D
Sj-C/C	5 10	0,22	0,02	D
Sj-S/C	5 10	0,16	0,03	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Modelos lineales generales y mixtos para COP >200 micras

Especificación del modelo en R

```
modelo.003_C.200_REML<-
gls(C.200~1+ANO+TRATAMIENTO+PROFUNDIDAD+ANO:TRATAMIENTO+ANO:PROFUNDIDAD+TRATAMIENTO:PROFUNDIDAD+ANO:TRATAMIENTO:PROFUNDIDAD
,weights=varComb(varIdent(form=~1|ANO)
,varIdent(form=~1|TRATAMIENTO)
,varIdent(form=~1|PROFUNDIDAD))
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=R.data03)
```

Resultados para el modelo: modelo.003_C.200_REML

Variable dependiente: C.200

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
60	-39,51	6,09	46,75	0,11	0,83	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales



	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	416,57	<0,0001
ANO	1	18,76	0,0001
TRATAMIENTO	4	26,28	<0,0001
PROFUNDIDAD	1	390,72	<0,0001
ANO:TRATAMIENTO	4	6,06	0,0007
ANO:PROFUNDIDAD	1	55,52	<0,0001
TRATAMIENTO:PROFUNDIDAD	4	1,12	0,3599
ANO:TRATAMIENTO:PROFUNDIDA..	4	0,29	0,8841

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

		numDF	denDF	F-value	p-value
1	ANO	1	40	4,18	0,0475
2	TRATAMIENTO	4	40	5,08	0,0021
3	PROFUNDIDAD	1	40	24,05	<0,0001
4	ANO:TRATAMIENTO	4	40	0,41	0,8025
5	ANO:PROFUNDIDAD	1	40	3,50	0,0687
6	TRATAMIENTO:PROFUNDIDAD	4	40	1,25	0,3066
7	ANO:TRATAMIENTO:PROFUNDIDA..	4	40	0,29	0,8841

Estructura de varianzas

Modelo de varianzas: varIdent

Formula: ~ 1 | ANO

Parámetros de la función de varianza

Parámetro	Estim
2013	1,00
2015	1,14

Modelo de varianzas: varIdent

Formula: ~ 1 | TRATAMIENTO

Parámetros de la función de varianza

Parámetro	Estim
Mz-C/C	1,00
Mz-S/C	5,71
P	1,85
Sj-C/C	0,70
Sj-S/C	0,38

Modelo de varianzas: varIdent

Formula: ~ 1 | PROFUNDIDAD

Parámetros de la función de varianza

Parámetro	Estim
0-5	1,00
5 10	0,15

C.200 - Medias ajustadas y errores estándares para TRATAMIENTO*PROFUNDIDAD

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRATAMIENTO	PROFUNDIDAD	Medias	E.E.				
P	0-5	0,50	0,09 A				
Mz-C/C	0-5	0,39	0,05 A				
Sj-C/C	0-5	0,39	0,03 A				
Mz-S/C	0-5	0,33	0,28 A				
Sj-S/C	0-5	0,29	0,02 A				
P	5 10	0,14	0,01		B		
Mz-S/C	5 10	0,11	0,04		B		
Mz-C/C	5 10	0,07	0,01			C	
Sj-C/C	5 10	0,04	0,01				D
Sj-S/C	5 10	0,03	2,8E-03				E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)