

Estudios sobre fracciones orgánicas del suelo y la aplicación de índices de calidad en tierras de uso ganadero



Alumno

Schiavi, Mirko Israel

Ingeniería Agronómica

mirkoschiavi7@gmail.com

Director

Lic. Martín Alejandro Luna.

mluna@unrn.edu.ar

Tesina de grado – Año 2019

RESUMEN

Los estudios sobre las fracciones orgánicas lábiles del suelo, y la aplicación de índices de calidad, basados en el carbono orgánico (CO), son útiles para evaluar el impacto del uso y manejo de la tierra. Estos parámetros pueden variar en función del tipo de vegetación y de la textura de los suelos. El objetivo de este trabajo fue comparar los efectos de distintos manejos en tierras de uso ganadero sobre las fracciones orgánicas lábiles y la calidad del suelo. Utilizando imágenes satelitales se seleccionaron cuatro condiciones con diferencias en su cobertura vegetal arbustiva (A) y herbácea (H) (C1 A<40 % H<5 %; C2 A= 40-50 % H<15 %; C3 A=40-60 % H= 10-20 % y C4 A= 20-30 % H= 50-70 %) en la Patagonia norte de Argentina (Lat. 41° 58' S – Long. 62° 50' O). El área se caracteriza por una transición de clima sub-templado a árido-semiárido, y vientos frecuentes, donde la vegetación natural es "Monte", con especies xerófitas y estepas arbustivas con predominancia del género *Larrea sp* (Zygophyllaceae). Los suelos en general son del orden Aridisol. El pastoreo sobre pastizales naturales es la principal actividad de producción en el área. En cada condición se asignaron tres puntos de caracterización y de muestreo del suelo. Sobre las muestras de suelo se determinó: composición granulométrica, densidad aparente (DAP), formas parcialmente oxidables del carbono orgánico (COox.) y carbono orgánico total (COT). Con los valores de DAP y de COox. se obtuvo el carbono orgánico almacenado (COA). Se aplicaron cuatro índices de calidad de suelo vinculados al CO: la relación de oxidabilidad (RO), la relación de estratificación (RE), el Índice de materia orgánica (IMO), y el índice de materia orgánica y arcilla (MOA). Las cuatro condiciones marcaron un gradiente de texturas del suelo, la fracción fina (limo + arc.) varió 8,6 % a 54,3 %: C2< C3<C1~C4. La DAP mostró diferencias significativas únicamente en C4, con el menor valor (1,40 Mg m⁻³). La C4 presentó los valores más altos de COT (16,54 mg g⁻¹) y de las fracciones más lábiles de COox. (F1+F2= 14,47 mg g⁻¹); mientras que la C2 presentó menos COA (0,56 Mg ha⁻¹), un 57 % por debajo de las demás condiciones. La C4 presentó los mayores valores de los índices: RO (88,21 %), RE (6,93) e IMO (5,27), mientras que el índice MOA no arrojó diferencias significativas. El estudio de las distintas fracciones de COox. y la aplicación de índices de calidad resultaron ser herramientas eficaces para detectar el estado actual de cada condición y aquellas en estado de degradación.

Certifico que fueron incluidos los cambios y correcciones sugeridas por los jurados.

Lic. Martin Alejandro Luna

AGRADECIMIENTOS

En principio, y de manera muy especial quiero agradecer a mi familia, tanto a mi madre Carla como a mi abuela Claris, mi hermano Lorenzo y a mi abuelo Renato, que de forma muy sacrificada me acompañaron en este camino transcurrido, inculcándome el valor del sacrificio, la voluntad y empatía necesaria para cumplir con cualquier objetivo que me proponga.

A mi “segunda familia”, Fernando, Victoria y Vito, que siempre han sido un apoyo fundamental a nivel personal, en cada una de mis decisiones.

A mis grandes amigos y a todas las personas que de forma muy especial han compartido su tiempo conmigo, enseñándome cada día el incalculable valor de disfrutar los momentos de la vida, y a aquellos que me han ayudado a descubrir mi segunda pasión; la fotografía.

A mi director de tesina, profesor y amigo Martin Luna, que ha sabido acompañarme en esta experiencia, materializando un sinfín de ideas y proyectos.

Al señor Marcelo Pérez, por brindarme la posibilidad de realizar este trabajo en su establecimiento.

Y finalmente, a todos los profesores de la carrera Ingeniería Agronómica de la Universidad de Rio Negro, que con sus conocimientos participaron en mi formación profesional y personal.

INDICE DE CONTENIDO

1) INTRODUCCIÓN.....	6
2) OBJETIVOS	8
Objetivo general.....	8
Objetivos específicos	8
3) METODOLOGÍA.....	9
a. <i>Área y selección de condiciones de estudio</i>	9
b. <i>Trabajo de campo y diseño de muestreo</i>	10
i. Manejo pasado y actual	10
ii. Diseño de muestreo	10
iii. Acondicionamiento y determinaciones físicas y químicas del suelo ...	10
c. <i>Índices de calidad del suelo</i>	12
d. <i>Análisis estadísticos de los datos</i>	12
4) RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
a. <i>Manejo pasado y actual</i>	13
b. <i>Composición granulométrica</i>	15
c. <i>Estimación de densidad aparente</i>	16
d. <i>Análisis del carbono orgánico</i>	17
e. <i>Carbono orgánico almacenado</i>	20
f. <i>Análisis de índices de calidad de suelo</i>	20
5) CONCLUSIONES.....	24
6) BIBLIOGRAFÍA.....	25

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1: Índices de calidad aplicados.....	12
Tabla 2: Manejos de cada condición.	14
Tabla 3: Descripción del estado de la vegetación actual	15
Tabla 4: Valores de densidad aparente (DAP).	17
Tabla 5: Concentración de COT (mg g ⁻¹).	18
Tabla 6: Carbono orgánico almacenado (Mg ha ⁻¹)	20
Tabla 7: Relación de Oxidabilidad.....	20
Tabla 8: Índice MOA para las distintas condiciones de manejo.	23
Tabla 9: Orden de calidad de suelo según los indicadores aplicados.....	23
Figura 1: Ubicación geográfica de las condiciones de estudio.....	9
Figura 2: Condiciones seleccionadas.....	10
Figura 3: Composición granulométrica de las condiciones.	16
Figura 4: Contenido de L + Arc. (%)... ..	16
Figura 5: Fracciones de COox hasta 0,30m del perfil del suelo.....	19
Figura 6: Relación de estratificación del COT para las distintas condiciones ..	21
Figura 7: Índice IMO para las distintas condiciones.....	22

1) INTRODUCCIÓN

En la Región Patagónica Argentina la combinación de los factores ambientales extremos, como escasas precipitaciones y la presencia de vientos intensos, en combinación con prácticas inadecuadas de manejo, tales como el sobrepastoreo, la deforestación y las quemas controladas de arbustales, entre otras (Gaitán *et al.*, 2009; Casas y Albarracín, 2015), provocan un impacto negativo sobre los ecosistemas terrestres, alterando su funcionamiento y condicionando su capacidad de suministrar adecuadamente los servicios ecosistémicos que brindan (Krölpf *et al.*, 2007; Peter *et al.*, 2015). Los servicios ecosistémicos hacen referencia a las condiciones y procesos en donde los ecosistemas naturales y las especies que los conforman, sostienen y satisfacen la vida del hombre, manteniendo la biodiversidad y la producción de los bienes de esos ecosistemas tales como forraje, madera, fibras naturales, etc. (Rótolo y Francis, 2011).

El efecto asociado a la escasez de agua condiciona la distribución de la vegetación, la cual se presenta en forma discontinua formando parches vegetados e interparches de suelo desnudo, lo que incrementa aún más la susceptibilidad de estas regiones, en donde las zonas áridas y semiáridas presentan las mayores tasas de degradación con respecto a las zonas húmedas o subhúmedas (Krölpf *et al.*, 2007; Gaitán *et al.*, 2009; Peter *et al.*, 2015). Uno de los principales factores amplificadores de los procesos de degradación es el sobrepastoreo, que, mediante la reducción de la cobertura vegetal expone al suelo a los agentes climáticos, culminando a largo plazo con la desertificación. Esto reduce la funcionalidad de los ecosistemas y desencadena la pérdida del carbono orgánico del suelo (COS) al reducir la capacidad de los parches vegetados para actuar como sumideros de recursos (Gaitán *et al.*, 2009; Abraham *et al.*, 2009; Allington and Valone, 2011; Casas y Albarracín, 2015).

Los efectos del sobrepastoreo resultarían relevantes en la provincia de Río Negro al tener en cuenta que el 90 % de la superficie es de uso ganadero, con sistemas extensivos basados en la utilización de pastizales naturales, predominando la ganadería ovina en las zonas en donde la productividad del ecosistema es baja y la ganadería bovina en las áreas con mayor disponibilidad de forraje, principalmente en la región del Monte Oriental (Paruelo, 1993; Casas y Albarracín, 2015). Los cambios en la vegetación debidos al sobrepastoreo ocasionan una pérdida y exportación de los recursos del sistema asociados a la reducción de los residuos que ingresan al suelo, y que constituyen el mantillo, el cual es la principal fuente de ingreso del carbono orgánico (CO) al suelo, alterando su capacidad de secuestro (Martínez *et al.*, 2008). Se considera mantillo a la sumatoria de hojarasca (material vegetal senescente), ramas finas, flores, frutos y materia orgánica particulada, depositados sobre el suelo (Pérez *et al.*, 2006; Varela *et al.*, 2006).

El CO es el principal componente que forma parte de la materia orgánica del suelo (MOS), entre un 50 y 60%, siendo un importante indicador de la calidad del suelo y de la sustentabilidad del ecosistema (Broquen *et al.*, 2005) ya que afecta a la mayoría de sus propiedades químicas, físicas y biológicas, por lo que un manejo sustentable del sistema debe mantener o aumentar sus niveles (Martínez *et al.*, 2008; Galantini y Suñer, 2008; Duval *et al.*, 2016). El COS se encuentra en continuo estado de transformación debido a que su constitución es compleja y variable, conformando una mezcla heterogénea, en donde su importancia funcional varía sistemáticamente con su edad. Los materiales más jóvenes son los biológicamente más activos, los de edad intermedia contribuyen al estado físico edáfico, mientras que los más antiguos presentan una marcada influencia sobre la reactividad físico-química del suelo (Galantini y Suñer, 2008). Las condiciones presentes de manejo y el largo legado de influencias bióticas y abióticas previas, se encuentran representadas por esta mezcla (Kutsch *et al.*, 2009), en donde el tipo de vegetación funcional y la organización de sus raíces domina la distribución vertical del CO en el perfil del suelo (Jobbágy and Jackson, 2000).

El contenido de carbono orgánico total (COT) es menos sensible a corto plazo en cuanto a variaciones asociadas a los efectos del cambio del uso de la tierra y de las condiciones de manejo (Galantini y Suñer, 2008; Aguilar *et al.*, 2015; Duval *et al.*, 2016). En los últimos años, varios autores (Galantini *et al.*, 2005; Duval *et al.*, 2016; Luna *et al.*, 2017) incentivan el estudio de los cambios en las distintas fracciones orgánicas, a partir de la separación física del suelo por tamizado en húmedo propuesto por Andriulo *et al.* (1991), y de su estratificación en profundidad para detectar cambios tempranos en el uso de la tierra, pero esta metodología demanda una gran cantidad de tiempo y resulta poco expeditiva. Por su parte, Chan *et al.* (2001) propusieron una metodología más simple, con similares resultados, cuantificando el CO oxidable a partir de una modificación del Método de Walkley and Black, (1934) variando la concentración de H₂SO₄ a 12 N, 18 N y 24 N, obteniendo de esta manera fracciones de COS con distintos grados de oxidabilidad.

Para evaluar la calidad del suelo se han propuesto varios índices y relaciones basados en el COT y sus fracciones químicas (Blair *et al.*, 1995; Franzluebbers, 2002; Quiroga *et al.*, 2006; Duval *et al.*, 2016). La búsqueda de índices cuantitativos de calidad de suelo es difícil si consideramos que la mayoría de los cambios ocurren en el largo plazo. Por lo tanto, se definen ciertos requisitos que deben cumplir los parámetros evaluados para ser considerados indicadores. Un buen indicador debe medir una o más funciones del suelo, ser sensible para reflejar los cambios de manejo, poseer facilidad de interpretación, ser de bajo costo y de sencilla obtención, poseer coherencia en la dirección del cambio experimentado ante las perturbaciones y reflejar los diferentes niveles de degradación (Wilson, 2017). En este sentido, Quiroga *et al.* (2006) para las comparaciones entre distintos usos de la tierra y condiciones

de manejo con distinta granulometría en regiones semiáridas, proponen la utilización de índices compuestos que relacionen el COT con el porcentaje de Limo más Arcilla (% L+Arc). Por su parte Ferraris *et al.* (2002) propone un índice más sencillo relacionando únicamente el COT con el porcentaje de arcilla (% Arc). Franzluebbers (2002) propuso el índice de estratificación del COS, que relaciona contenidos de COT entre dos capas de suelos diferentes; la capa superficial del suelo fuertemente influenciada por las prácticas de manejo con las capas inferiores con menor influencia de estos factores.

Estos índices son indicadores tempranos y eficientes de cambios en la calidad del suelo dados por el sistema de producción, incluso antes que cambien los contenidos de COT (Quiroga *et al.*, 2006; Duval *et al.*, 2016; Fernández *et al.*, 2016). Esto destaca la necesidad de ajustar estos indicadores e índices para contribuir en la formulación y entendimiento de modelos que integren los efectos del uso y manejo de la tierra, en conjunto con variables edafoclimáticas, sobre las reservas de carbono (C); consolidándose como herramientas de programación y planificación para el manejo racional y sustentable del recurso suelo de manera que se cause la mínima degradación (Feng *et al.*, 2002).

A partir de los antecedentes previamente mencionados se considera como hipótesis que *el estudio de las fracciones lábiles junto con el uso de índices de calidad, basados en el COS, es útil para evaluar el impacto del uso y manejo de la tierra y sus consecuencias sobre los cambios en la calidad del recurso.*

2) OBJETIVOS

Objetivo general

Comparar los efectos de distintos manejos sobre las fracciones orgánicas lábiles y la calidad del suelo en tierras con uso ganadero.

Objetivos específicos

- a) Identificar y caracterizar un área de estudio de uso ganadero, que muestre variaciones de cobertura del suelo; y describir el manejo pasado y actual del área a partir de entrevistas al productor en campo.
- b) Realizar una descripción visual a campo del área de estudio estableciendo diferencias de condiciones.
- c) Estudiar variaciones en la concentración y en el stock de distintas fracciones oxidables del CO.
- d) Aplicar índices de calidad de suelo, de determinación expeditiva, referidas al CO, utilizados en la bibliografía para evaluar su sensibilidad

frente a los cambios que se producen en el suelo por las prácticas de manejo.

- e) Establecer la/s variables de mayor influencia en la distribución del CO oxidable en estos suelos.

3) METODOLOGÍA

a. Área y selección de condiciones de estudio

El estudio se realizó al Noreste de la Provincia de Río Negro en el Departamento de Adolfo Alsina (Lat. 41° 58' S – Long. 62° 50' O). El clima es subtemplado seco de transición, ventoso, especialmente en primavera y verano, con veranos cálidos e inviernos moderados, sin ningún exceso estacional de agua. La temperatura media anual es de 15 °C y las precipitaciones alcanzan los 350 mm anuales, presentando una alta variabilidad interanual, con una mayor concentración en otoño y primavera. Predominan los suelos aridisoles, areno-limosos, moderadamente alcalinos y de escasa cantidad de materia orgánica (Godagnone y Bran, 2009). El tipo fisonómico de vegetación es un matorral o estepa arbustiva xerófila caracterizada por la dominancia de especies arbustivas del género *Larrea sp* (Cabrera, 1976). La principal actividad productiva es la ganadería extensiva, donde los pastizales naturales son utilizados como fuente de forraje para el ganado doméstico (Krölpf *et al.*, 2007; Gaitán *et al.*, 2009).

Mediante la interpretación de imágenes satelitales de uso libre (Google Earth®) se seleccionaron cuatro condiciones con diferencias en su cobertura vegetal (Figuras 1 y 2). Estas diferencias luego fueron corroboradas y descriptas a campo de forma visual.



Figura 1: Ubicación geográfica de las condiciones de estudio C1, C2, C3 y C4.

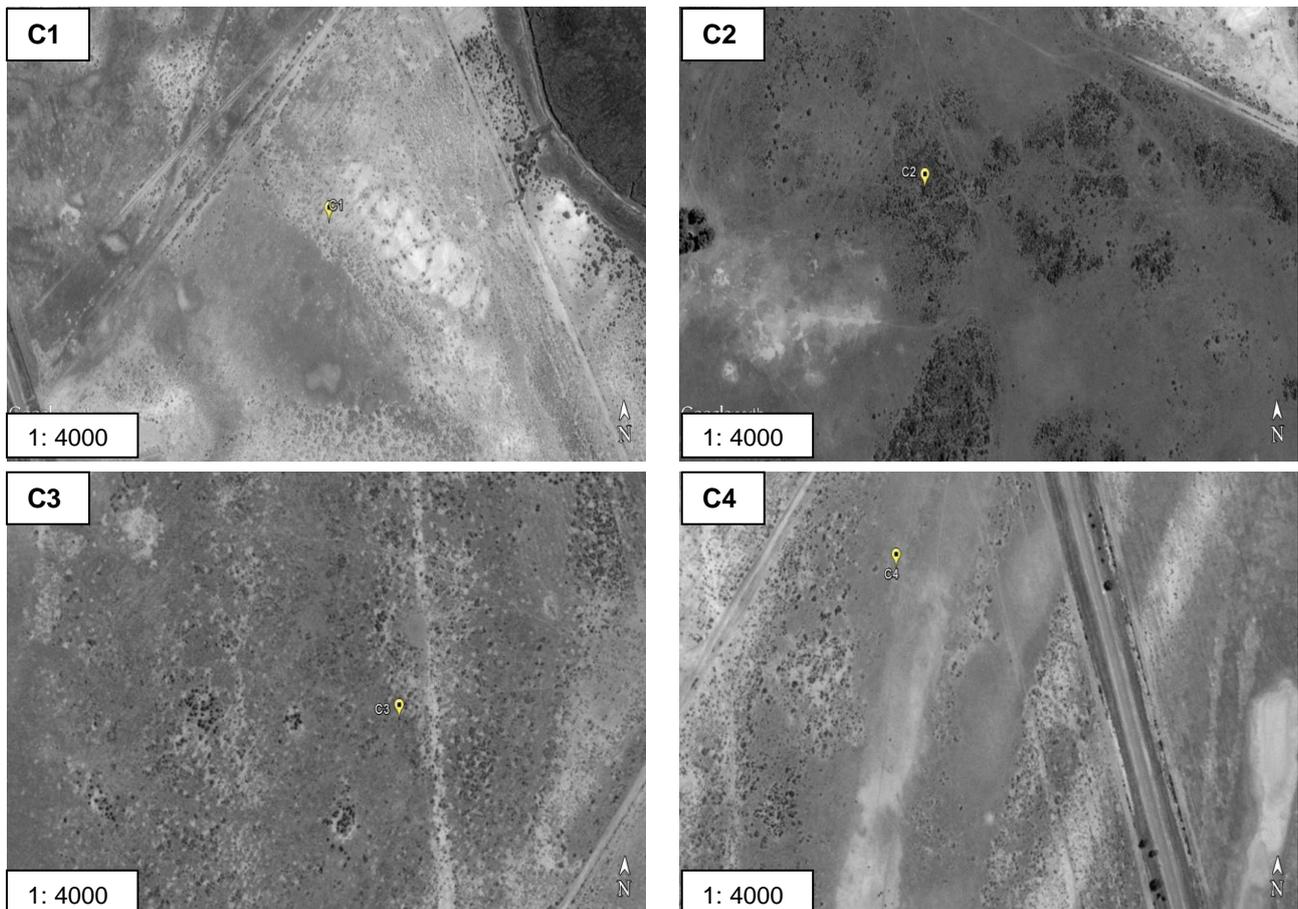


Figura 2: Condiciones seleccionadas según diferencias en su cobertura vegetal.

b. Trabajo de campo y diseño de muestreo

i. Manejo pasado y actual

Con la colaboración del productor a cargo del establecimiento, se realizó una entrevista abierta permitiendo recabar información acerca del uso y manejo pasado y actual de cada condición, y del campo en forma general.

ii. Diseño de muestreo

En cada una de las condiciones se asignaron tres puntos de caracterización y muestreo ($n=12$) mediante una distribución sistemática a lo largo de una transecta con intervalos fijos no menores a 100 m lineales entre ellos (Matteucci y Colma, 1982). En cada punto se tomaron muestras de suelo disturbadas con pala a distintas profundidades de los primeros 0,30 m del perfil, a saber: 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,15; 0,15-0,20; 0,20-0,25; 0,25-0,30 m.

iii. Acondicionamiento y determinaciones físicas y químicas del suelo

Las muestras tomadas a campo fueron secadas al aire y pasadas por un tamiz de 2 mm.

Se determinó composición granulométrica por el método del Hidrómetro de Bouyoucos, a fin de separar las muestras en tres fracciones granulométricas: Arena (A), limo (L) y arcilla (arc) (Schoeneberger *et al.*, 2000). Se obtuvieron los valores de densidad aparente (DAP) mediante la utilización del software Spaw hydrologyc versión 6.02.075, basado en la aplicación del modelo de Saxton *et al.* (1986), el cual fue desarrollado para calcular el potencial y la conductividad hidráulica del agua en el suelo. Contando con los datos del porcentaje de arcilla (%a), arena (%A) y el porcentaje de materia orgánica (%MO), es posible obtener el valor de DAP (1). En donde θP es el potencial hidráulico, a: la ordenada al origen, b c d y e: constantes del modelo.

$$\theta P = a + b*(\% Arena) + c*(\% Limo) + d*(\% Arcilla) + e*(\% MO) / (DAP, Mg m^{-3}) \quad (1)$$

Las determinaciones químicas incluyeron, la obtención de las formas parcialmente oxidables del CO mediante el método modificado de combustión húmeda de Walkley & Black propuesto por Chan *et al.* (2001):

- Fracción uno (COox.; F1), correspondiente a una concentración de 12 N H₂SO₄.
- Fracción dos (COox.; F2) correspondiente a la diferencia entre el carbono fácilmente oxidable entre 18 N y 12 N H₂SO₄.
- Fracción tres (COox.; F3) correspondiente a la diferencia entre el carbono fácilmente oxidable entre 24 N y 18 N H₂SO₄.

Se calculó el COT a través de la sumatoria de las tres fracciones de COox. obtenidas. Además, se estimó el porcentaje de materia orgánica (% MO) mediante la multiplicación del COT por el factor empírico equivalente de Van Benmelen 1,724 (SAGPyA, 2007).

Con los valores de DAP obtenidos y la COox F3 se obtuvo el carbono orgánico almacenado (COA; Mg ha⁻¹) haciendo uso de la siguiente ecuación (Ussiri *et al.*, 2006):

$$COA (Mg ha^{-1}) = (X/100) * DAP * p * 10^4 m^2 ha^{-1}$$

Dónde: X es la concentración de COox F3 en la muestra de suelo (g kg⁻¹), DAP: densidad aparente (Mg m⁻³) y p: el espesor de la capa de suelo muestreada (m).

c. *Índices de calidad del suelo*

Para detectar los cambios en la calidad de suelo, se utilizaron cuatro índices propuestos por distintos autores (Tabla 1).

Tabla 1: Índices de calidad aplicados.

Autor/es	Índice
Chan <i>et al.</i> (2001)	<p>Relación de Oxidabilidad (RO) de las fracciones lábiles de COox. con respecto al COT:</p> $1 - \frac{COox.F3}{COT}$ <p>En donde COT:</p> $COT = COox.F1 + COox.F2 + COox.F3$
Franzluebbers (2002)	<p>Relación de estratificación del COT:</p> $RE = \frac{COT\ sup}{COT\ prof}$ <p>Un valor de RE > 2 indicaría que el manejo adoptado mejora a largo plazo la calidad del suelo.</p>
Quiroga <i>et al.</i> (2006)	<p>Índice de materia orgánica (IMO) que relaciona el % MO con el % L + Arc.:</p> $IMO = \frac{\%MO}{\%L + Arc.} * 100$ <p>En suelos con buen manejo y prácticas agronómicas adecuadas, el valor del índice en regiones semiáridas debería ubicarse por encima de 5 en un rango de 2 a 12.</p>
Ferraris <i>et al.</i> (2002)	<p>Índice de materia orgánica y arcilla (MOA) que relaciona el % MO con el % Arc.:</p> $MOA = \frac{\%MO}{\%Arc} * 100$

d. *Análisis estadísticos de los datos*

Una vez comprobados los supuestos de normalidad y homocedasticidad, se comparó mediante análisis de la varianza (ANOVA) la composición

granulométrica, las distintas fracciones oxidables del CO, el COA y los índices de calidad de suelo utilizando la condición de manejo como variable de clasificación, con la aplicación del posterior test LSD de Fisher (5%). El análisis estadístico se realizó con el software INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2013).

4) RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a. Manejo pasado y actual

El establecimiento en estudio se encuentra administrado por Marcelo Pérez, siendo dueño y gestor del mismo durante aproximadamente 50 años, con una superficie aproximada de entre 13.000 y 15.000 ha. Su ubicación es lindante a la ruta provincial N° 1, a unos 3 km del Balneario El Cóndor. El establecimiento en su totalidad es de uso ganadero bovino, centrándose en la cría de Aberdeen angus, con cargas que varían entre uno a tres animales cada diez hectáreas ($0,3$ cabezas ha^{-1}), concentrados en una superficie aproximada de entre 2.000 a 4.000 ha.

A lo largo de la historia del establecimiento se han dado dos periodos de sequías significativas, ocurridas los años 1.959 y 2.005, las cuales afectaron considerablemente la cantidad de animales en producción, llegando casi al extremo de una liquidación total de la hacienda.

En contraposición, y debido a su ubicación cercana a la costa atlántica, el establecimiento presentó periodos de inundaciones por el efecto de grandes sudestadas, particularmente en el año 1.967, hecho que llegó a afectar por lo menos la mitad de la superficie del campo, lo cual ha degradado el suelo de algunos lotes por presencia abundante de salinidad y sodicidad.

Productivamente, se ha intentado enriquecer e incrementar la oferta forrajera de manera general mediante la introducción de leguminosas, como el Trébol blanco (*Trifolium repens*) y Alfalfa (*Medicago sativa*), sin obtener resultados satisfactorios a causa de pérdidas de plántulas, posiblemente debido a lo anteriormente mencionado y a las escasas precipitaciones. El establecimiento se encuentra apotrerado en su totalidad, con lotes de 100 ha cada uno, los cuales poseen un sistema de aguadas conectadas con tanques que se abastecen por bombeo desde el Río Negro.

En cuanto a cada una de las condiciones de manejo seleccionadas:

- **La Condición uno (C1)**, presenta una gran influencia marina por su proximidad a la costa atlántica a unos 5 km, por lo que predominan manchones con signos de salinidad y sodicidad. En este lote se ha laboreado e intentado sembrar Avena (*Avena sativa*) en el año 2.003 y 2.004, Agropiro (*Elytrigia elongatum*) y Centeno (*Secale cereale*) que no han tenido éxito por el exceso de sales, el cual es potenciado por la presencia de la napa freática a 1 m, a causa de su cercanía a la ribera del Río Negro de unos 400 m.

- **La Condición dos (C2)**, se encuentra ubicada en una posición topográficamente elevada con respecto a las demás. Debido a su tipo de suelo (arenoso) no se ha considerado otra práctica que no sea el pastoreo. A pesar de encontrarse influenciada marítimamente, con solo 2,5 km de distancia a la costa y 500 m de la ribera del Rio Negro, no se encuentran signos de salinidad ni encostramiento superficial.

- **La Condición tres (C3)**, sus suelos constantemente fueron laboreados con el fin de realizar siembras de Trigo (*Triticum aestivum*), Avena (*Avena sativa*) y Centeno (*Secale cereale*) sin grandes éxitos. También se intentó implantar una pastura de Agropiro (*Elytrigia elongatum*) que a causa de un manejo incorrecto se encuentra en baja densidad. Originalmente y en la actualidad, la vegetación predominante es el Jume (*Allenrolfea vaginata*) que, debido al efecto de desmontes anteriores para la realización de los cultivos, presenta una altura no superior a los 0,70 m. Esta condición se encuentra a unos 8 km de distancia de la costa atlántica y a 2 km de la ribera del Rio Negro.

- **La Condición cuatro (C4)**, presenta una historia similar a C3, con la diferencia que posee Agropiro (*Elytrigia elongatum*) implantado de 12 años, que actualmente, debido a su antigüedad, se encuentra en muy baja densidad y en consociación con Jume (*Allenrolfea vaginata*) y pastizal natural, con predominancia de Flechilla mansa (*Jarava plumosa*). Esta condición se encuentra a unos 7 km de distancia de la costa atlántica y a 2 km de la ribera del Rio Negro.

En los periodos de mayor producción en el establecimiento, los porcentajes de preñez obtenidos eran del 95 al 98 %, con servicio estacionado a campo, pudiendo colocar en el mercado terneros de 6 meses en óptimas condiciones. A lo largo de la historia, el manejo siempre se sustentó en base a la experiencia de los fracasos y de los aciertos.

En la tabla 2 se resumen los principales manejos de cada una de las condiciones evaluadas.

Tabla 2: Manejos de cada condición.

Condición	Manejos
C1	Labranza – Siembra - Pastoreo.
C2	Pastoreo.
C3	Desmorte – Labranza – Siembra - Pastoreo.
C4	Labranza – Siembra – Pastoreo.

En función de la Productividad Primaria Neta (PPN) para la región Patagonia Norte, calculada por Deregibus (1988), y en combinación con la

fórmula de Anderson *et al.* (1980), se relacionan los requerimientos anuales del animal, la PPN y la eficiencia de cosecha obteniendo un valor de carga media para la zona de 0,13 cabezas ha⁻¹. La carga del establecimiento evaluado excede el promedio de la zona en un 30 % con una carga de 0,30 cabezas ha⁻¹.

En cada una de las condiciones se identificaron las especies vegetales de mayor frecuencia y la cobertura vegetal estimada de forma visual (Tabla 3)

Tabla 3: Descripción del estado de la vegetación actual de las condiciones bajo estudio.

Condición	Descripción
C1	Cobertura vegetal estrato arbustivo: < 40 %. *Especie más frecuente: Jume (<i>Allenrolfea vaginata</i>). Cobertura vegetal estrato herbáceo: < 5% Especie más frecuente: Salicornia (<i>Salicornia ambigua</i>) Observaciones: Encostramiento superficial, fuerte influencia de la costa atlántica.
C2	Cobertura vegetal estrato arbustivo: 40 - 50 %. Especie más frecuente: Chañar (<i>Geoffroea decorticans</i>), con una altura de 1,5 a 1,7 m. Cobertura vegetal estrato herbáceo: < 15% Especie más frecuente: Unquillo (<i>Sporobolus rigens</i>).
C3	Cobertura vegetal estrato arbustivo: 40 - 60 %. Especie más frecuente: Jume (<i>Allenrolfea vaginata</i>) de baja altura (0,60 - 0,70 m.). Cobertura vegetal estrato herbáceo: 10 - 20 %. Especies más frecuentes: Trébol de carretilla (<i>Medicago mínima</i>) y Agropiro alargado (<i>Elytrigia elongatum</i>).
C4	Cobertura vegetal estrato arbustivo: 20 - 30 %. Especie más frecuente: Jume (<i>Allenrolfea vaginata</i>). Observaciones: El jume se encontraba disperso. Cobertura vegetal estrato herbáceo: 50 - 70 %. Especies más frecuentes: Flechilla mansa (<i>Jarava plumosa</i>) y Agropiro alargado (<i>Elytrigia elongatum</i>).

* Los nombres científicos de las especies y taxa infraespecíficos aceptados siguieron la nomenclatura de la Flora Argentina (Anton y Zuloaga, 2014).

b. Composición granulométrica.

Las condiciones de manejo comparadas presentaron diferencias en su composición granulométrica dando distintos tipos de suelos (Figura 3). La C1 presentó suelos franco arenosos, C2 suelos arenosos y C3 y C4 suelos francos.

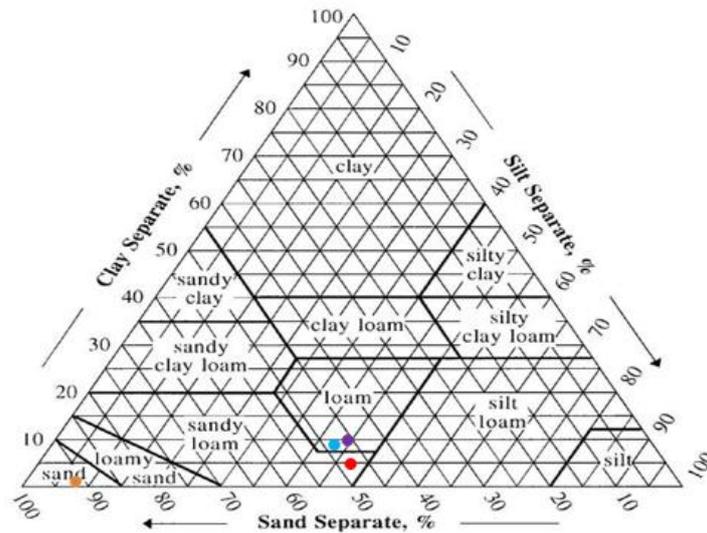


Figura 3: Composición granulométrica de las condiciones según la clasificación de USDA, 2019. Sand: arena; Silt: limo y clay: arcilla. C1: Rojo; C2: Naranja; C3: Celeste y C4: Violeta.

La figura 4 muestra las diferencias en la cantidad de material mineral fino de los suelos (L + Arc.). La C1 y C4 presentaron mayor contenido de esta fracción en relación con las demás condiciones, con valores promedio de 54,11 y 54,33 %, diferenciándose en el orden de un 5 % con respecto a C3 y de un 84% con respecto a C2. Estas diferencias texturales en C2 pueden ser atribuidas a un efecto de removilización de partículas más gruesas, que quedarían entrampadas en la vegetación por combinación de los vientos predominantes y la cercanía a la costa atlántica. En las demás condiciones las diferencias y similitudes texturales podrían asociarse al efecto de las labranzas que han tenido lugar, en asociación a los vientos predominantes del Sudoeste y Oeste.

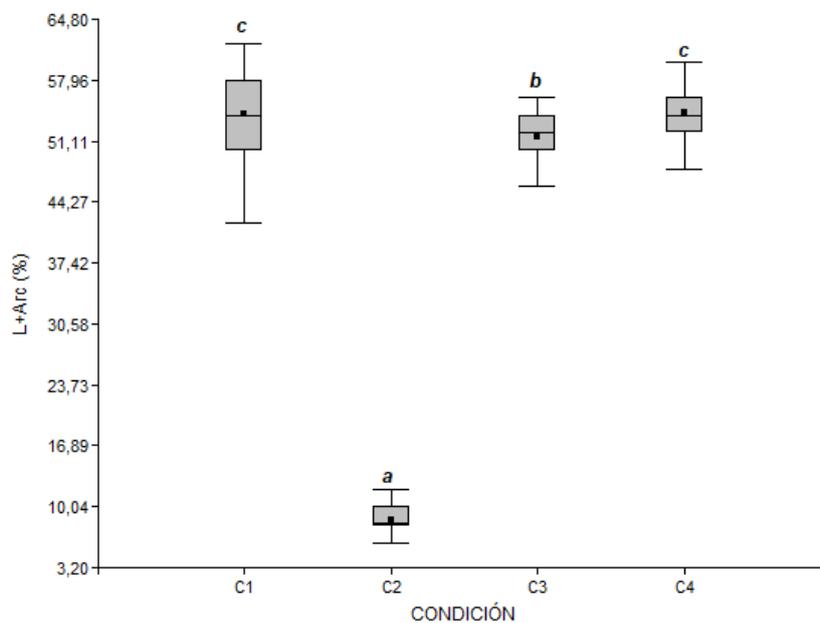


Figura 4: Contenido de L + Arc. (%). Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre condiciones ($p < 0,05$).

c. *Estimación de densidad aparente*

Los valores promedios de densidad aparente (DAP) obtenidos, para cada condición, a partir del modelo de Saxton *et al.* (1986), se presentan en la tabla 4. Los valores promedios de DAP fueron 1,40; 1,47; 1,50 y 1,52 Mg m⁻³ para C4, C3, C1 y C2 respectivamente. Los suelos en C4 presentaron los menores valores de DAP con respecto a las demás condiciones, en un 6,4 % menor, en promedio.

Tabla 4: Valores de densidad aparente (DAP) para cada condición.

Condición	Dap (Mg m ⁻³)
C1	1,50 b (0,1)
C2	1,52 b (0,05)
C3	1,47 b (0,1)
C4	1,40 a (0,1)
<i>p- valor</i>	<0,001

Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$). Los números entre paréntesis indican desvío estándar (D.S.).

De acuerdo a Franzluebbbers (2002) una DAP más baja debería reflejar una mejor calidad de suelo debido al incremento en la porosidad que permite un mejor desarrollo radicular y movimiento del agua. Quiroga *et al.* (1999) por su parte, señala que el COS en combinación con la textura son claves para la estabilidad estructural, ya que, suelos con texturas similares variaban en su DAP ante pequeños cambios en COS de forma significativa. También, las diferencias en DAP pueden atribuirse al efecto que ejerce la cobertura vegetal predominante de gramíneas en la C4 sobre el suelo, en este sentido Quiroga *et al.* (2014) señala que la masa densa y voluminosa de raíces con crecimiento continuo mayor a un año, acompañada por el crecimiento de la biomasa aérea, hace un aporte continuo de CO que genera un efecto beneficioso sobre las propiedades físicas del suelo.

La metodología utilizada para la estimación de DAP podría no tener en cuenta posibles capas endurecidas en el suelo, lo cual, en consideración con los diferentes manejos y usos, puede provocar modificaciones espaciales de la masa de suelo lo que podría generar sobreestimaciones o subestimaciones de los valores de densidad (Toledo *et al.*, 2013).

d. *Análisis del carbono orgánico*

La C4 presentó los mayores contenidos de CO, en promedio su concentración alcanzó 16,54 mg g⁻¹ en los primeros 0,30 m del perfil, en el orden de un 25 %, 41 % y 73 % con respecto a C3, C1 y C2 (Tabla 5). Esto puede deberse a las diferencias en la calidad de mantillo aportado por la vegetación en cada condición, en combinación con el efecto estabilizador del

COT por parte de la fracción más fina del suelo, reduciendo las salidas por mineralización (Jobbágy y Jackson, 2000).

En estudios sobre el efecto del uso y manejo del suelo en las fracciones de CO realizado por Duval *et al.* (2014), encontraron que la concentración de COT en un ambiente con pastura fue significativamente superior, en un 24 %, al resto de los manejos agrícolas y no presentó diferencias con respecto a un ambiente natural con pastizales que no fueron disturbados por 30 años, por lo que el establecimiento de una pastura perenne favorecería el incremento de los niveles de COT. Además, resulta evidente la influencia textural que ejerce la fracción fina, corroborándose un gradiente que afecta la fijación y estabilización del COT en el suelo (Gaitán *et al.*, 2019; Galantini y Suñer, 2008; Hevia *et al.*, 2003), lo que concuerda con Frasier *et al.* (2019), cuyos resultados mostraron que la magnitud del CO que ingresa al suelo está condicionada por el uso de la tierra, y su almacenamiento es limitado por la textura del suelo.

Tabla 5: Concentración de COT (mg g⁻¹) hasta los 0,30 m del perfil del suelo.

Profundidad (m)	Condición COT (mg g ⁻¹)				p – valor
	C1	C2	C3	C4	
0,05	15,82 ab	6,69 a	19,64 b	31,44 c	0,003
0,10	11,94 b	5,47 a	16,47 bc	18,98 c	0,002
0,15	9,23 b	3,45 a	11,93 b	13,04 b	0,01
0,20	8,32 ab	3,58 a	8,64 b	12,78 b	0,01
0,25	6,95 a	4,04 a	8,01 a	13,74 b	0,01
0,30	5,92	3,22	9,35	9,30	0,12
Promedio	9,69 b	4,40 a	12,34 b	16,54 c	<0,001

Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (p<0,05).

El análisis de las concentraciones de COT en profundidad muestra una tendencia decreciente. La C4 presentó los mayores contenidos en cada uno de los estratos, mientras que por el contrario C2 los menores. En la capa superficial, dentro de los primeros 0,10 m, se encontró entre el 46 y 51% del COT. Esto podría tener implicancias considerables, ya que los estratos superiores del suelo se encuentran fuertemente influenciados por las prácticas de manejo, como así también por factores climáticos como la temperatura y las precipitaciones (Franzluebbers, 2002).

La Figura 5 muestra las distintas fracciones orgánicas de acuerdo a su facilidad de oxidación, en cada condición de manejo.

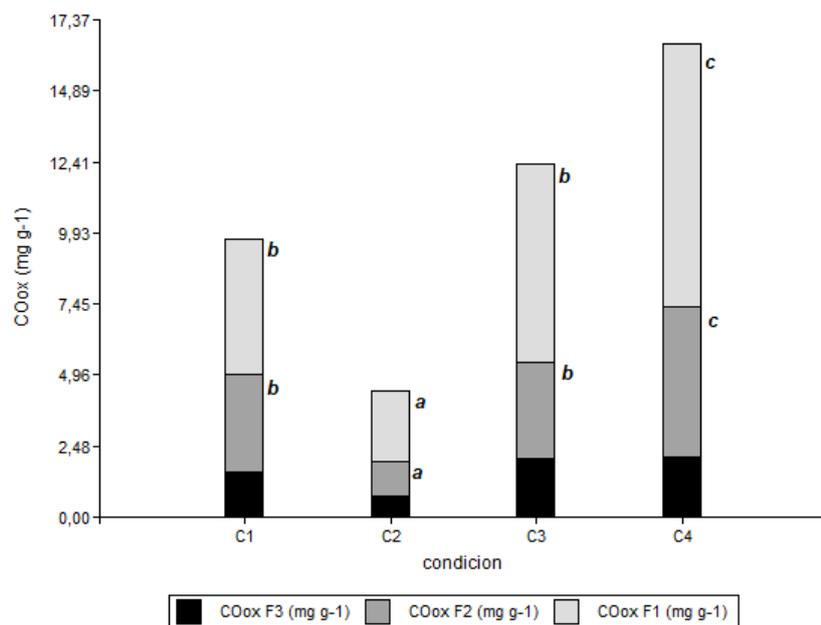


Figura 5: Fracciones de COox hasta 0,30m del perfil del suelo. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre condiciones ($p < 0,05$).

En C4 las fracciones más lábiles (F1 + F2) alcanzaron los $14,47 \text{ mg g}^{-1}$, un 36 % mayor en promedio con respecto a C1 y C3, y un 74 % con respecto a C2. Para la fracción menos oxidable (F3): C1, C3 C4 no presentaron diferencias significativas, mientras que en la C2 la concentración de CO fue un 63 % menor.

La fracción más lábil del COT (F1 + F2) es la que posee las mayores tasas de descomposición y los menores tiempos de residencia en el suelo (Souza *et al.*, 2016); en cambio, la F3 representa el carbono humificado o el más estable asociado a la fracción mineral más fina del suelo (Chan *et al.*, 2001). Estudios realizados por Vázquez *et al.* (2001) encontraron, que las fracciones de CO lábil podrían reflejar particularidades del manejo y del tipo de vegetación. Además, Gaitán *et al.* (2019) encontraron que la presencia de pastizales o pasturas en las regiones semiáridas incrementarían el tamaño de los agregados lo que generaría un efecto protector del CO a los procesos de descomposición; y en la misma línea, Chan *et al.* (2001) hace hincapié en que, la incorporación de una pastura en un sistema agropecuario es importante para mantener los niveles de COS en zonas semiáridas, aunque las especies presentes podrían condicionar la cantidad y calidad del CO secuestrado.

e. *Carbono orgánico almacenado*

El CO almacenado (COA) para las condiciones de manejo C1, C3 y C4 no presentó diferencias significativas, en promedio fue de 1,33 Mg ha⁻¹; mientras que en la C2 se halló un 57,7 % menos de COA (Tabla 7). Esta diferencia estaría vinculada a la menor capacidad de secuestro de los suelos arenosos presentes en la C2.

Tabla 6: Carbono orgánico almacenado (Mg ha⁻¹) para las distintas condiciones de manejo.

Condición	Mg CO ha ⁻¹
C1	1,17 b (0,6)
C2	0,56 a (0,3)
C3	1,44 b (1,0)
C4	1,37 b (0,9)
<i>p-valor</i>	<0,01

Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre condiciones ($p < 0,05$). Los números entre paréntesis indican desvío estándar (D.S.).

El hecho que no existan diferencias significativas entre C1, C3 y C4 podría ser explicado en parte por el método de cálculo utilizado para la obtención del COA, ya que Toledo *et al.* (2013) encontró que este método tiende a minimizar los cambios que ocurren por la influencia del uso de la tierra, sobre todo en aquellos suelos en donde la textura presenta una tendencia similar entre situaciones comparadas.

f. *Análisis de índices de calidad de suelo*

Índice de oxidabilidad - Chan *et al.* (2001)

En la Tabla 8 se muestran las fracciones lábiles (F1 + F2) de CO, representando entre un 82,07 a 88,21 % del COT (F1 + F2 + F3), estos valores no son coincidentes con los reportados por Chan *et al.* (2001), quienes obtuvieron valores cercanos al 65 %. Estas diferencias podrían ser atribuidas a las distintas metodologías para obtener el COT; en sus estudios los autores obtuvieron el COT mediante un analizador Leco vía combustión seca.

Tabla 7: Relación de Oxidabilidad para las distintas condiciones de manejo.

Condición	Oxidabilidad (%)
C1	82,07 a (8,2)
C2	81,39 a (9,9)
C3	83,64 ab (7,9)
C4	88,21 b (5,6)
<i>P-valor</i>	0,05

Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre condiciones ($p < 0,05$). Los números entre paréntesis indican desvío estándar (D.S.).

En el presente estudio, los resultados mostraron que el valor del índice fue significativamente mayor en C4, con un valor de oxidabilidad de 88,21 %, lo cual representa una diferencia de un 7,35 % con respecto a C2 y C1, y de un 5,18 % con C3 sin presentar diferencias significativas con este último manejo. De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede proponer el siguiente orden decreciente de calidad de suelo: $C4 \approx C3 > C1 \approx C2$.

Índice de relación de estratificación - Franzluebbbers (2002)

En la figura 6 se muestra la relación de estratificación (RE) para las distintas condiciones de manejo analizadas; la C4 alcanzó un valor de 6,93, siendo significativamente superior en un 76 % con respecto a las demás condiciones. Una $RE > 2$ indica que el manejo adoptado mejora la calidad del suelo, considerando este criterio además de C4, la C3 también cumpliría con este requisito. Las demás condiciones se encuentran bajo procesos de degradación ya que su RE es menor al umbral. De acuerdo a Franzluebbbers (2002) el concepto asociado a la relación de estratificación se basa en el aumento de las reservas de COS desde las capas superficiales, ya que constituyen la interfaz en donde comienzan los mecanismos que afectan la productividad y calidad ambiental.

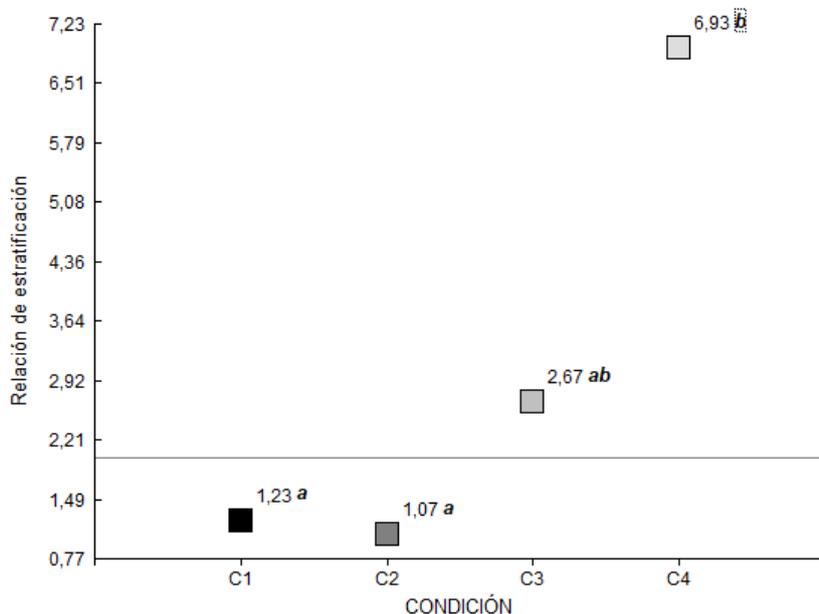


Figura 6: Relación de estratificación del COT para las distintas condiciones. La línea marcada indica el RE umbral de calidad de suelo. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre condiciones ($p < 0,05$).

De la misma manera que para RO, se pueden ordenar las condiciones según su RE, siguiendo un orden decreciente de calidad de suelo: $C4 \approx C3 > C1 \approx C2$.

Índice IMO- Quiroga *et al.* (2006)

Los valores de IMO obtenidos para las distintas condiciones de manejo se muestran en la figura 7. La C2 presentó el mayor valor de IMO, 9,03, superando en un 41 % a C4 y en un 59 % en promedio a C3 y C1. De acuerdo a lo establecido por Quiroga *et al.* (2006) esta relación, en suelos con prácticas agronómicas adecuadas, debería ubicarse por encima de 5, en un rango que puede variar entre 2 a 12. Un valor de IMO por debajo de este umbral sugiere la pérdida de MO en relación a la fracción mineral fina del suelo (L + Arc.), condicionando la calidad del mismo (Quiroga *et al.*, 2006; Quiroga y Bono, 2012; Vanzolini *et al.*, 2015).

Un nivel particular de IMO puede variar dependiendo de la textura del suelo, para ajustar esta variabilidad el autor propone aplicar este índice en suelos de texturas similares para evaluar la respuesta de distintos manejos; de acuerdo con este criterio, no sería factible comparar la C2 con las demás condiciones de manejo por ser de textura diferente. Si se comparan las condiciones de manejo de los suelos de textura similar, C4 es el único que supera el umbral de $IMO > 5$. En sus estudios Fernández *et al.* (2016), utilizaron este índice para comparar distintos sistemas de manejo en suelos con texturas similares, obteniendo resultados satisfactorios, pudiendo diferenciar un uso agrícola (A) de un ambiente con vegetación natural (VN), en donde en A el IMO varió entre 3,5 y 5,1, y en VN el rango de IMO fue mayor (4,4 y 15,4).

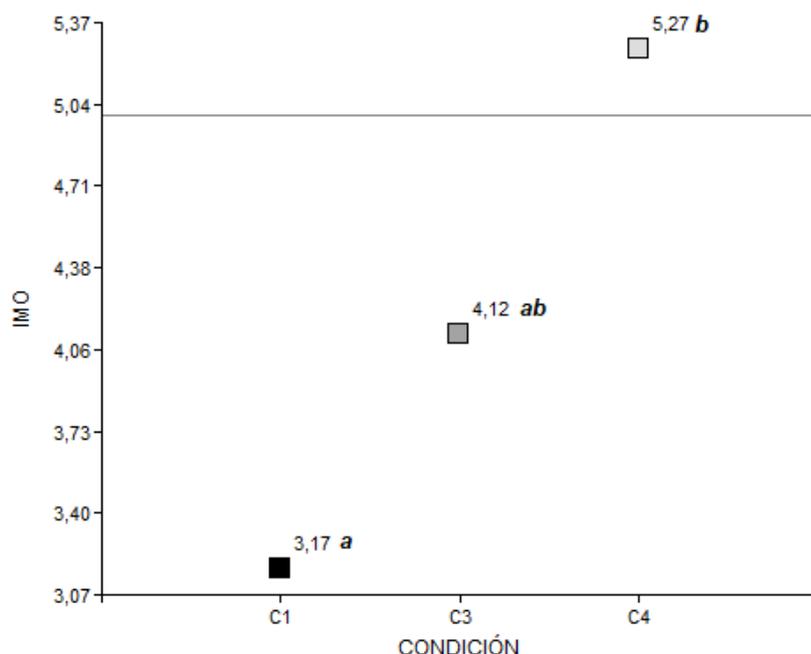


Figura 7: Índice IMO para las distintas condiciones. La línea marcada indica el IMO umbral de calidad de suelo. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre condiciones ($p < 0,05$).

De acuerdo a los resultados obtenidos se pueden ordenar las condiciones según su índice IMO, siguiendo un orden decreciente de buen manejo y

prácticas agronómicas adecuadas para las condiciones comparables sería: $C4 \approx C3 > C1$.

Índice MOA - Ferraris *et al.* (2002)

De igual manera que para índice IMO, Fernández *et al.* (2016) sugiere aplicar este índice en suelos de similar textura. A diferencia del IMO, el MOA, fue menos sensible para identificar los cambios debidos a los manejos evaluados (Tabla 10).

Tabla 8: Índice MOA para las distintas condiciones de manejo.

Condición	MOA
C1	0,47 a (0,4)
C3	0,26 a (0,1)
C4	0,30 a (0,2)
P-valor	<0,01

Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre condiciones ($p < 0,05$). Los números entre paréntesis indican desvío estándar (D.S.).

De acuerdo a los valores obtenidos, el orden de calidad de suelo decreciente que se establece en este caso es: $C1 \approx C4 \approx C3$. El cambio de posición de C1 podría deberse a una menor cantidad de arcilla presente en esos suelos.

Este indicador podría ser sensible en suelos con similares contenidos de arcilla, tales como presentaban los evaluados por Fernández *et al.* (2016); en sus estudios pudieron diferenciar un uso agrícola (MOA= 17,6) de una vegetación natural (MOA= 27,6).

A modo de síntesis la Tabla 11 resume el orden de calidad de suelo obtenido habiendo aplicado los índices propuestos.

Tabla 9: Orden de calidad de suelo según los indicadores aplicados.

Indicador	Orden de calidad de suelo
RO	$C4 \approx C3 > C1 \approx C2$
RE	$C4 \approx C3 > C1 \approx C2$
IMO	$C4 \approx C3 > C1$
MOA	$C1 \approx C4 \approx C3$

RO: Relación de oxidabilidad; RE: Relación de estratificación; IMO: Índice de materia orgánica; MOA: Índice de materia orgánica y arcilla.

De los índices utilizados, la RO, RE y el IMO, establecieron el mismo orden de calidad de suelo para los distintos manejos, aunque se deben tener en cuenta, como para el caso del índice IMO las variaciones texturales de los

suelos. Por último, el índice MOA resultó poco sensible, esto podría deberse a que pequeños cambios en el contenido de arcilla habrían enmascarado los efectos de las prácticas de manejo sobre los contenidos de MO.

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede aceptar la hipótesis propuesta afirmando que *el estudio de las fracciones lábiles junto con el uso de indicadores de calidad, basados en el COS, es útil para evaluar el impacto del uso y manejo de la tierra y sus consecuencias sobre los cambios en la calidad del recurso.*

5) CONCLUSIONES

- Las prácticas de manejo adoptadas en el tiempo provocaron diferencias en cobertura y composición vegetal; el estudio de las distintas fracciones oxidables del carbono orgánico, particularmente las fracciones lábiles, y la aplicación de índices de calidad fueron herramientas eficaces para detectar el estado actual de cada condición y aquellas situaciones en estado de degradación.

- El tipo de vegetación y la composición granulométrica de los suelos, junto con los factores abióticos, resultaron ser componentes determinantes de la dinámica del CO, por lo que es fundamental contar con su evaluación.

6) BIBLIOGRAFÍA

1. Abraham, E.; Valle, H.F.D.; Roig, F.; Torres, L.; Ares, J.O., Coronato, F. and Godagnone, R. 2009. Overview of the geography of the Monte Desert biome (Argentina). *Journal Arid Environments* 73(2): 144–153.
2. Aguilar, G.M.; Alfaro, R.M.; Martin, C.B.; Leon, P.D. y Vila, F.L. 2015. Carbono lábil como indicador de cambios en dos suelos bajo diferentes usos. Ministerio de educación superior. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. 36 (3): 64-70.
3. Allington, G.R.H. and Valone, T.J. 2011. Long-term livestock exclusion in an arid grassland alters vegetation and soil. *Rangeland Ecology and Management*, 64, 424–428.
4. Anderson, D.L.; del Águila, J.A.; Marchi, A.; Vera, J.C.; Oriente, E.L. y Bernardon, A. 1980. Manejo racional de un campo en la región árida de los Llanos de la Rioja, Parte 1. INTA, Buenos Aires, pp. 61.
5. Andriulo, A.; J. Galantini; C. Pecorari y E. Torioni. 1991. La materia orgánica del suelo en la región pampeana Argentina. Un método de fraccionamiento por tamizado. Informe técnico N° 250. INTA. 17 págs.
6. Anton, A. M. y F. O. Zuloaga. 2014. Flora Argentina. Flora vascular de la República Argentina. Disponible en: <http://www.floraargentina.edu.ar>.
7. Blair, G.J.; Lefory, R.D.B. y Lise, L. 1995. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation and the development of a carbon management index for agricultural system. *Aust. J. Agric. Res.* 46:1459-1466.
8. Broquen, P.; Candan, F.; Lobartini, J.C.; Girardin, J.L. 2005. Relaciones entre el carbono orgánico y propiedades edáficas y del sitio en suelos derivados de cenizas volcánicas, sudoeste de Neuquén (Argentina). *Ciencia del suelo* 22: 73-82.
9. Cabrera, A.L. 1976. Regiones fitogeográficas argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. 2^{da}. Edición Tomo II. ACME. Buenos Aires, Argentina.
10. Casas, R. y Albarracín, G. (Eds). 2015. El Deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina. Tomo I y II. Ed. Centro para la Promoción de la Conservación del Suelo y del Agua (PROSA). Buenos Aires, Argentina.
11. Chann, K.Y.; Bowman, A. and Oates A. 2001. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an Oxic Paleultalf under different pasture leys. *Soil Science*, 166, 61-67.
12. Deregibus, V.A. 1988. Importancia de los pastizales naturales en la República Argentina: situación presente y futura. *Revista Argentina de Producción Animal* 8:67-78.
13. Di Rienzo, J.A.; Casanoves F.; Balzarini, M.G.; González, L.; Tablada, M. y Robledo, C.W. 2013. InfoStat. Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
14. Duval, M.E.; Galantini, J.A.; Martínez, J.M.; López, F.M. and Wall, L.G. 2016. Sensitivity of different soil quality indicators to assess sustainable

- land management: Influence of site features and seasonality. *Soil & Tillage Research*, 159, 9–22.
15. Duval, M. E.; de Sa Pereira, E.; Iglesias, J.O. y Galantini J.A. 2014. Efecto de uso y manejo del suelo sobre las fracciones de carbono orgánico en un Argiudol. *Ci. Suelo*. 32 (1), 105-115.
 16. Feng, Q.; Endo, K.N. and Guodong C. 2002. Soil carbon in desertified land in relation to site characteristics. *Geoderma*, 106, 21-43.
 17. Fernández, R.; Quiroga, A.; Álvarez, C.; Lobartini, C. y Noellemeyer, E. 2016. Valores umbrales de algunos indicadores de calidad de suelos en molisoles de la región semiárida pampeana. *Ciencia del suelo* 34: 279-292.
 18. Ferraris, G.; Gutierrez Boem, F. y Echeverría, H. 2002. Respuesta a la fertilización en el cultivo de soja de primera. *Inf. Inv. Agric. (IDIA), INTA XXI*, 52-58.
 19. Franzluebbers, A.J. 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil & Tillage Res.* 66: 95-106.
 20. Frasier, I.; Quiroga, A.; Fernández, R.; Álvarez, C.; Gómez, F.; Scherger, E.; Gili, A. and Noellemeyer, E. 2019. Soil type, land-use and management as drivers of root - C inputs and soil C storage in the semiarid pampa region, Argentina. *Soil & Tillage Research* 192. 134–143.
 21. Gaitán, J.J.; López, C.R. y Bran, D.E. 2009. Efectos del pastoreo sobre el suelo y la vegetación en la Estepa Patagónica. *Ciencia del Suelo*, 25, 53-63.
 22. Gaitán, J.; Maestre, F.; Bran, D.; Buono, G.; Dougill, A.; Martinez, G.; Ferrante, D.; Guuroh, R.; Linstädter, A.; Massara, V.; Thomas, A. and Oliva, G. 2019. Biotic and abiotic drivers of topsoil organic carbon concentration in drylands have similar effects at regional and global scales. *Ecosystems*. Pp 12. <https://doi.org/10.1007/s10021-019-00348-y>.
 23. Galantini, J.A. y Suñer, L. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia* 25 (1), 41-55.
 24. Galantini, J.A. 2005. Separación y análisis de las fracciones orgánicas. In: Marban, L., Ratto, S. (Eds.), *Manual “Información y Tecnología en los Laboratorios de Suelos para el Desarrollo Agropecuario Sostenible”*. De la AACs. Capítulo IV parte 2, pp. 95–106.
 25. Godagnone, R.E. y Bran D.E. (Eds). 2009. *Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de Río Negro*. Buenos Aires: INTA.
 26. Hevia, G.G.; Buschiazzo, D.E.; Hepper, E.N.; Urioste, A.M and Antón, E.L. 2003. Organic matter in size fractions of soils of the semiarid Argentina. Effects of climate, soil texture and management. *Geoderma* 116, 265-277.
 27. Jobbágy, E.G. and Jackson, R.B. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications*, 10, 423–436.

28. Krölpf, A.I.; Deregibus, V.A. y Cecchi G.A. 2007. Disturbios en una estepa arbustiva del Monte: cambios en la vegetación. *Ecología Austral*, 17, 257–268.
29. Kutsch, W.L.; Bahn, M. and Heinemeyer, A. 2009. *Soil carbon dynamics an Integrated Methodology*. Ed. Cambridge University Press. USA, N. York.
30. Luna, M.A., Galantini, J.A.; Zeberio, J.M.; Martínez R.M. y Catril Schiavi M.I. 2017. Análisis de la estratificación del carbono orgánico lábil en suelos del Ecotono Espinal – Monte. Libro: IV Congreso Internacional de Ambiente y Energías Renovables. ISBN: 978-987-1930-35-7. Villa María, Córdoba.
31. Martínez, E.H.; Fuentes, J.P. y Acevedo E.H. 2008. Carbono orgánico y Propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal* vol. 8, n.1, pp. 68-96. Chile.
32. Mateucci, S.D. y Colma, A. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Monografía N°. 22, Serie Biología. Secretaría General de la OEA, Washington D.C.
33. Paruelo, J.M.; Bertiller, M.B.; Schlichter, T.M. y Coronato, F.R. 1993. Secuencias de deterioro en distintos ambientes patagónicos. Su caracterización mediante el modelo de estados y transiciones. Convenio Argentino Alemán. Cooperación Técnica INTA-GTZ. 110 pp.
34. Pérez, C.A.; Goya, J.F.; Bianchini, F.; Frangi J.L. y Fernández, R. 2006. Productividad aérea y ciclo de nutrientes en plantaciones de *Pinus taeda* L. en el N de la Provincia de misiones, Argentina. *Interciencia* 31:794-801.
35. Peter, G.; Funk, F.A.; Luna, M.A. and S.S Torres Robles. 2015. Changes in vegetation and in the organic soil fractions related with grazing and fire histories in the Patagonian Monte, Argentina. In book: *Rangeland ecology, Management and Conservation benefits*, Edition: First, Chapter: 5, Publisher: NOVA, New York, Editor: V.R., Squires. pp.87-110. ISBN: 978-1-63482-504-7.
36. Quiroga, A.; Funaro, D.; Noellemeyer, E and Peinemann, N. 2006. Barley yield response to soil organic matter and texture in the Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 90, 63-68.
37. Quiroga, A. y Bono, A. 2012. Materia orgánica de suelo. En “Manual de fertilidad y evaluación de suelos”, Eds: Quiroga, A y Bono, A. Ed. INTA. EEA INTA Anguil. 26-38.
38. Quiroga, A.; Oderiz, J.; Uhaldegaray, M.G.; Scherger, E. 2014. Contribución de las pasturas perennes a la sostenibilidad de los sistemas de producción. En manual de posgrado de manejo de suelos en zonas semiáridas, 2017. La Pampa. Argentina. 77-82.

39. Quiroga, A.R.; Buschiazzo D.E. and Peinemann, N. 1999. Soil compaction as related to management practices in the semi-arid Argentine pampas. *Soil Till. Res.* 52, 21-28.
40. SAGPyA. 2007. Determinación de materia orgánica en suelos. Pp 10. Esquema A2 IRAM - SAGPyA. 29571-2:2008.
41. Rótolo, G.C. y Francis, A. 2011. Los servicios ecosistémicos en el “corazón” agrícola de Argentina. INTA, EEA Oliveros. Pp. 21.
42. Saxton, K.E.; Rawls, W.J.; Romberger, J.S.; Papendick, R.I. 1986. Estimating generalized Soil-water characteristics from texture. *Soil sci. Soc. Am, J.* 50:1031-1036.
43. Schoeneberger, P.J.; Wysocki, D.A.; Benham, E.C. y Broderson, W.D. 2000. Libro de campaña para descripción y muestreo de suelos. Centro Nacional de Relevamiento de Suelos Servicio de Conservación de Recursos Naturales Departamento de Agricultura de los EE.UU. Lincoln, Nebraska.
44. Souza, G; Célio, C. and Gomes, D. 2016. Relationships between labile soil organic carbon fractions under different soil management systems. *Scientia Agricola* 73: 535-542.
45. Toledo, D.M.; Galantini, J.A.; Ferreccio, E.; Arzuaga, S.; Giménez, L. y Vázquez, S. 2013. Indicadores e índices de calidad en suelos rojos bajo sistemas naturales y cultivados. *Ciencia del Suelo*, 31, 201-212.
46. USDA, 2019. Soil texture calculator. Disponible en: https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167. United States Department of Agriculture.
47. Ussiri, D.A.N.; Lal, R. and Jacinthe, P.A. 2006. Soil properties and carbon sequestration of afforested pasture in reclaimed Mineral soils of Ohio. *Soil Science Society of America Journal*, 70, 1797–1806.
48. Vanzolini, J.; Zubiaga, L.; Storniolo, R.; Dunel, L.; Ombrosi, D.; Cuello, S.; Álvarez, C.; Quiroga, A. 2015. Evaluación expeditiva del estado de la calidad de suelos con manejo agrícola en el área de secano del Partido de Villarino. *Ciencia del suelo*. Pp. 6.
49. Varela, S.A.; Gobbi, M.E. y Laos, F. 2006. Banco de semillas de un bosque quemado de *Nothofagus pumilio*: efecto de la aplicación de compost de biosólidos. *Ecol. Austral.* 16: 63-78.
50. Vázquez, M.E.; Pellegrini, A.E. y Diosma, G. 2001. Efecto de la vegetación y tamaño de los agregados sobre formas orgánicas del suelo. *Agricultura Técnica (Chile)* (1): 61-69.
51. Walkley, A. and Black, I.A. 1934. An examination of the method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-38.
52. Wilson, M.G. 2017. *Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina - 1a ed.* Entre Ríos: Ediciones INTA, 2017. Libro digital, PDF Archivo Digital: descarga y online ISBN 978-987-521-826-0.