

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTAL**



**TRABAJO FINAL DE CARRERA**

**Aplicación de indicadores de calidad de suelos en la  
evaluación de distintas rotaciones sobre un Argiudol en el  
establecimiento “Don Joaquín”**

**Modalidad elegida:** Investigación en cualquiera de los campos de las ciencias agrarias y forestales.

**Área temática:** Sistemas extensivos.

**Alumno:** Vezzosi Dana.

**Alumno:** Dukart Tomás.

**N° de Legajo:**28722/8.

**N° de Legajo:**28538/0.

**DNI:** 39.847.541.

**DNI:** 37.386.044.

**Dirección correo electrónico:** [danavezzosi@gmail.com](mailto:danavezzosi@gmail.com)

**Dirección correo electrónico:** [tomasdukart@gmail.com](mailto:tomasdukart@gmail.com)

**Director:** Ing. Agr. Novillo Bárbara.

**Codirector:** Ing. Ftal. Baridón Esteban.

**Fecha de entrega:** 05/2025

## ÍNDICE

1.	RESUMEN .....	4
2.	INTRODUCCIÓN.....	5
2.1.	Algunos efectos de la agricultura en la calidad del suelo.....	7
2.2.	Algunos efectos de la ganadería en la calidad del suelo .....	8
2.3.	Indicadores de calidad de suelo. Su aplicación .....	9
2.4.	HIPÓTESIS .....	11
2.5.	OBJETIVO GENERAL.....	11
2.6.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
3.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	11
4.	RESULTADOS .....	13
4.1.	pH .....	15
4.2.	Conductividad eléctrica .....	15
4.3.	Diámetro medio ponderado .....	16
4.4.	Carbono orgánico oxidable .....	17
4.5.	Fósforo extractable .....	17
4.6.	Indicadores de calidad .....	17
5.	DISCUSIÓN .....	23
5.1.	Análisis del conjunto mínimo de calidad de suelo.	
5.1.1.	pH .....	24
5.1.2.	Carbono Orgánico oxidable.....	24
5.1.3.	Estabilidad estructural mediante el Diámetro Medio Ponderado.....	25
5.1.4.	Conductividad eléctrica.....	26
5.1.5.	Fósforo extractable.....	27
6.	CONCLUSIÓN .....	27
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	28

## 1. RESUMEN

El suelo es un recurso fundamental para la producción agrícola, ganadera y forestal. Es considerado esencial debido a su naturaleza no renovable. Los distintos usos y manejos como labranzas, pastoreo y rotaciones afectan su calidad. La agricultura ha ganado terreno sobre la ganadería en suelos donde la aptitud lo permite, aun habiendo evidenciado beneficios destacables para el suelo, mientras que la ganadería extensiva ha evidenciado que puede ayudar a conservar la biodiversidad y los suelos. Para evaluar la calidad y sustentabilidad del suelo se emplean indicadores que simplifican, cuantifican y comunican fenómenos complejos, permitiendo además el seguimiento de los efectos del manejo del suelo a lo largo del tiempo. El objetivo fue analizar los efectos de distintas rotaciones de cultivos sobre la calidad del suelo mediante indicadores. Se estudiaron cuatro lotes: dos con agricultura continua y dos que alternaron agricultura con pasturas, incluyendo pastoreos eventuales. También se compararon con un lote testigo. Los resultados indican variaciones significativas en las propiedades del suelo entre los lotes analizados, con el lote 5 destacándose en los niveles de carbono orgánico oxidable (CO<sub>o</sub>), disponibilidad de nutrientes y estabilidad estructural (EE), lo que sugiere un manejo que favorecen su fertilidad y estructura, mientras que el lote 6 muestra los niveles más bajos en pH y nutrientes, lo que podría requerir atención en términos de manejo agronómico. A mayor profundidad, la homogeneidad en la conductividad eléctrica (CE) sugiere que las características del suelo se estabilizan. El Lote 5 presentó los valores más altos de fósforo extractable (P<sub>ext</sub>), especialmente en las capas superficiales. Los resultados revelaron una menor calidad del suelo en sistemas con rotaciones de pasturas en comparación con la agricultura continua, lo que subraya la necesidad de implementar prácticas que fomenten la sostenibilidad del suelo y establecer un monitoreo de los indicadores para asegurar la productividad y conservación del recurso a largo plazo.

## 2. INTRODUCCIÓN:

El suelo constituye uno de los recursos más importantes para la vida en el planeta, ya que es la base fundamental para actividades agrícolas, ganaderas y forestales. La producción de alimentos depende en un alto porcentaje del uso que se le dé a los mismos (García *et al.*, 2012). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2019) es un recurso finito, lo que significa que su pérdida y degradación no es recuperable en el transcurso de una vida humana. Su manejo adecuado es crucial, ya que este influye en la producción de los alimentos que consumimos, el agua que bebemos, el aire que respiramos, en nuestra salud y la de todos los organismos del planeta.

Si bien a lo largo de la historia se fueron sucediendo varias definiciones sobre la calidad del suelo, éste se comenzó a definir reconociendo las funciones que cumple, como son promover la productividad del sistema sin comprometer sus propiedades físicas, químicas y biológicas, mitigar contaminantes ambientales y patógenos y favorecer la salud de plantas, animales y humanos (Bautista Cruz *et al.*, 2004). Así mismo, los sistemas productivos que no son sustentables afectan negativamente los niveles de fertilidad e incrementan los niveles de degradación de los suelos, por ende, limitan la producción agrícola (Cruzate *et al.*, 2017). De lo antes dicho se desprende lo valiosa que es la calidad del suelo para la vida en general, como ésta se modifica frente a distintos manejos agrícola-ganaderos, dentro de los cuales se pueden mencionar las rotaciones y el nivel o intensidad de labranzas y pastoreos, las cuales tienen la capacidad de modificar la calidad del suelo (Prieto & Ernst, 2010). Estrategias de manejo conservacionistas se han utilizado con el fin de incrementar la producción de granos y reducir su variabilidad anual. Estas variabilidades pueden deberse a distintos factores, como aumentos en el contenido de nitrógeno en el suelo, mejoras en su estructura o disminuciones en la presencia de enfermedades. Resultados similares se han obtenido al introducir leguminosas anuales como cobertura y al establecer diversas secuencias de cultivos. (Prieto & Ernst.,

2010). Otros autores observan que asimismo pueden modificar la materia orgánica del suelo (MOS) (Espinoza *et al.*, 2007).

En conclusión, las rotaciones en la producción netamente agrícolas o bien agrícolas-ganaderas, tendrán un impacto diferente sobre la calidad del suelo. Dentro de la ganadería, el efecto variará si se realiza sobre una pastura implantada o sobre campo natural. Al igual que en la agricultura, las familias de plantas elegidas para establecer la pastura consociada influyen en la calidad del suelo. Por último, el tipo de laboreo que se realice ya sea labranza convencional, reducida o siembra directa, implica una respuesta distinta del suelo.

La importancia de las rotaciones en la calidad del suelo ha sido ampliamente documentada. Por ejemplo, los estudios de Fynn *et al.*, (2014) demuestran que las rotaciones de cultivos tienen efectos positivos en la mejora de la estructura y fertilidad del suelo, promoviendo una mayor diversidad biológica y una mayor retención de nutrientes. Asimismo, los efectos de las pasturas sobre la calidad del suelo dependen de si se trata de un campo natural o una pastura implantada, ya que las pasturas mejoradas pueden aumentar la materia orgánica y la estabilidad estructural (EE) (Teague *et al.*, 2016). En cuanto al laboreo, la siembra directa ha mostrado ser más beneficiosa para la conservación de las propiedades del suelo en comparación con la labranza convencional, ya que reduce la erosión y aumenta el contenido de carbono en el suelo (Six *et al.*, 2004).

Existen varias definiciones para la “calidad del suelo”, pero se adoptará aquella que la asocia con la capacidad de un suelo de cumplir con funciones esenciales como la productividad del sistema, la atenuación de contaminantes y la salud de los organismos. La evaluación de la calidad del suelo se realiza mediante indicadores, que son variables o procesos capaces de resumir y simplificar la información proveniente de otras variables, permitiendo evaluar las condiciones del suelo de manera comprensible. Un indicador es una variable o proceso que es capaz de resumir, simplificar o incluir información proveniente de otras variables,

haciendo que un fenómeno o condición de interés se haga perceptible (Wilson *et al.*, 2017).

Rezaei *et al.* (2006) definen a un conjunto mínimo de indicadores (CMI) como un grupo reducido de variables capaz de sintetizar la mayor parte de la variabilidad total de un suelo en un sitio determinado, debiendo estas ser transformadas en valores estandarizados, para unificar sus unidades.

Un CMI es utilizado para evaluar la calidad del suelo, empleando indicadores esenciales para comprender las condiciones del suelo y para monitorear los efectos de los diferentes manejos productivos. El pH, por ejemplo, influye en la disponibilidad de nutrientes, mientras que el carbono orgánico oxidable (CO<sub>o</sub>) refleja la capacidad del suelo para almacenar y liberar nutrientes. La estabilidad estructural (EE) indica la resistencia del suelo a la erosión y al compactado, mientras que el fósforo extractable (P<sub>ext</sub>) y la conductividad eléctrica (CE) son indicadores de la fertilidad y la salinidad del suelo, respectivamente. Como menciona Wilson *et al.* (2017) en el texto, el pH, como medida de la reacción del suelo, es causa y tiene efecto sobre distintas variables. Estos indicadores permiten detectar cambios en el funcionamiento del suelo y determinar las tendencias de deterioro o mejora en su calidad, facilitando la toma de decisiones en el manejo agronómico (Rojas *et al.*, 2017). Además, Dumanski *et al.* (1998) afirmaron que logran reflejar una condición específica y proporcionan información sobre los cambios o tendencias relacionados con esa condición.

## **2.1. Algunos efectos de la agricultura en la calidad del suelo:**

En Argentina, la intensificación agrícola reciente ha aumentado la producción, pero ha deteriorado la calidad del suelo, un recurso no renovable (Andrade *et al.*, 2017). La siembra se ha vuelto cada vez más especializada y homogénea, con grandes superficies bajo siembra directa continua y alta presión del cultivo más rentable como soja para cosecha (Andriulo *et al.*, 2004). Esta oleaginosa tiene altos requerimientos nutricionales, lo cual implica una alta extracción de nutrientes, más que

nada de nitrógeno que no se llega a compensar por la fijación que realizan a través de las bacterias que nodulan en sus raíces. Además, este cultivo aporta escaso volumen de rastrojo con elevada tasa de descomposición (baja relación C/N), por lo que origina balances negativos de materia orgánica y una baja cobertura del suelo, sobre todo en planteos donde no se realiza rotación (Forján & Manso, 2016). El aporte de residuos vegetales resulta crucial para el balance de la materia orgánica del suelo, por ejemplo, los rastrojos de cereales con alta relación C/N se descomponen lentamente y favorecen la formación de materia orgánica estabilizada. Por otro lado, las raíces de los cultivos modifican la estructura del suelo, generando grietas y canales beneficiosos para la porosidad de los horizontes superficiales, incrementando la velocidad de infiltración de agua y el intercambio de gases, y facilitan el crecimiento de las raíces de futuros cultivos (Casas, 2006; Forjan y Manso, 2010). A su vez, si los cultivos son sembrados en siembra directa, se logra un mayor control de la erosión, se reduce la formación de costras superficiales, incrementa la captación de agua de lluvia y disminuye las pérdidas por evapotranspiración, aumentando las posibilidades de obtener mayores respuestas a la fertilización (Bragachini *et al.*, 2015; Maddonni *et al.*, 2003). Sin embargo, la intensificación del uso agrícola con una escasa reposición de nutrientes acorde a la extracción que se genera con los cultivos y las prácticas tradicionales como es la labranza convencional por ejemplo han deteriorado las propiedades originales del suelo. La evaluación conjunta de las propiedades del suelo es crucial para entender el impacto de distintos sistemas de manejo sobre la calidad del recurso, equilibrando la productividad con la protección ambiental (Angueira *et al.*, 2016).

## **2.2. Algunos efectos de la ganadería en la calidad del suelo:**

Dentro de los posibles usos de suelo (agrícola, agrícola-ganadero y ganadero), el uso puramente ganadero no suele ser habitual en suelos con aptitud agrícola.

García-Préchac *et al.*, (2004) afirmaron que la implementación de sistemas de producción en los que los cultivos anuales rotan con pasturas

perennes y no se laborean, mejoran la calidad del suelo y reducen la erosión. Por otro lado, la producción animal, tanto de leche como de carne, exporta nutrientes del suelo del mismo modo que lo hace la agricultura, lo que se ve potenciado con la confección de reservas de heno o silos de pasturas y/o planta entera en cultivos de grano. Esta exportación de por sí, justifica la necesidad de una fertilización química de reposición, pero, aunque la extracción de nutrientes por parte de la producción animal en pastoreo es baja, gran parte de estos nutrientes retorna al suelo a través de las heces y la orina de los animales. Según un estudio de Giller *et al.*, (2015), la mayor parte de los nutrientes consumidos por los animales en pastoreo es excretada y regresa al suelo, lo que contribuye significativamente a la fertilidad del suelo. Por lo tanto, al comparar un uso de suelo netamente agrícola con otro mixto, es decir, rotando la agricultura con la ganadería, en este último caso se podría reducir la reposición de nutrientes vía fertilización o bien, hacer un mayor aprovechamiento de las mismas cantidades. Esta menor eficiencia de extracción de sustancias químicas del suelo por parte de los animales tiene como beneficio el aumento de la fertilidad biológica, lo cual es favorable para los pastizales y los cultivos de cosecha posteriores (García Ferré, 2005). Forjan en el 2000 por otra parte, aseguró que la inclusión de pasturas en la rotación ofrece beneficios importantes para el suelo, que a menudo se pasan por alto, además de incrementar la productividad animal, las pasturas mejoran las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, contribuyendo a su preservación y permitiendo mantener una producción sostenible, lo cual ayuda a mitigar los efectos negativos de la agricultura convencional. Por otro lado, las pasturas son muy importantes en las rotaciones agrícolas debido a sus características, alta producción de biomasa y distribución de raíces en el suelo con lo cual garantizan aporte de carbono orgánico y nutrientes, mejoran notoriamente las propiedades físicas y químicas del suelo alteradas en el ciclo agrícola, reducen la erosión y ayudan a recuperar la calidad del suelo (Studdert *et al.*, 1997).

### **2.3. Indicadores de calidad de suelo. Su aplicación:**

En los últimos años, se ha observado una transformación en el uso del suelo, impulsada por la adición de nuevas áreas agrícolas y la simplificación de los esquemas de rotación. Esto ha generado la necesidad de contar con herramientas que permitan evaluar las repercusiones de estas decisiones de gestión. Para el monitoreo de la calidad del suelo, se emplean indicadores representados por variables que son sensibles al deterioro o a la recuperación del mismo. Los cuales permiten reflejar la condición actual del suelo y su tendencia, ofreciendo un enfoque dinámico y holístico al considerar las interrelaciones entre las distintas variables (Wilson & Sasal, 2017).

Al momento de analizar la sustentabilidad de un sistema de manejo se hace indispensable evaluar la calidad del suelo, para lo cual se emplean indicadores. Estos no son universales, sino particulares a distintos suelos, regiones y objetivos de manejo (Baridón, 2015). Se conciben como una herramienta que resume e integra información sobre las propiedades, los procesos y las características de los suelos. Su determinación, medición y monitoreo es de utilidad para dar seguimiento a los efectos del manejo sobre el funcionamiento del suelo en un periodo dado (Astier *et al.*, 2002). Dichos indicadores simplifican y comunican fenómenos complejos, permitiendo evaluar la sostenibilidad en decisiones específicas. No hay indicadores universales de desarrollo sostenible; su definición depende del tipo de decisión y el nivel jerárquico (región o país). Asimismo, es necesario un marco conceptual que guíe la definición de estos indicadores, evitando que se establezcan de manera aleatoria o subjetiva (Hünнемeyer *et al.*, 1997).

Para formar un CMI destinado a analizar la calidad del suelo se seleccionaron cinco indicadores clave:

- pH: indica qué tan ácida o alcalina es la solución del suelo, que es de donde las raíces y los microorganismos del suelo toman sus nutrientes (Osorio, 2012). Afecta la solubilidad de los nutrientes en la solución del suelo y con ello la forma en que estos pueden ser utilizados (Cremona & Enriquez, 2020).
- CE: Mide indirectamente la concentración de sales, que en exceso puede perjudicar el crecimiento de plantas y microorganismos (Cremona & Enriquez, 2020).
- COo: Relacionado con la sustentabilidad y rendimiento de los cultivos, influye en la cantidad y disponibilidad de nutrientes del suelo (Martínez et al., 2008).
- EE: Evalúa la resistencia del suelo a fuerzas externas e internas, afectando su integridad frente a erosión y presión (Lobo & Pulido, 2006).
- Pext: Esencial para el crecimiento de plantas, participa en el desarrollo de raíces, crecimiento, floración, y en funciones metabólicas como fotosíntesis y respiración (Corrales et al., 2014).

#### **2.4. HIPÓTESIS:**

##### **Hipótesis 1:**

La calidad del suelo será mayor en un suelo sometido a rotaciones con pasturas implantadas que un suelo utilizado bajo agricultura continua.

##### **Hipótesis 2:**

El uso de un CMI facilita el seguimiento de la calidad del suelo.

#### **2.5. OBJETIVO GENERAL:**

Analizar los efectos de distintas rotaciones de cultivos sobre la calidad del suelo mediante el uso de indicadores específicos.

#### **2.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Definir un CMI de calidad de suelo.
- Evaluar los parámetros para definir la calidad del suelo (pH, CE, Pext, COo y EE).

- Elegir y realizar los indicadores de calidad de suelo.
- Evaluar y comparar la variación de los distintos indicadores de calidad del suelo seleccionados en los distintos usos del suelo.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS:

El presente trabajo se llevó a cabo en el establecimiento “Don Joaquín”, (Latitud S: 35° 16' 58". Longitud O: 57° 41' 24". Altitud: 13 m.s.n.m. a 11,6 km.), ubicado en Magdalena, provincia de Buenos Aires, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata. El mismo es parte de un proyecto dirigido por la Dra. Margarita Alconada llamado “Estudio del suelo, agua subterránea y vegetación, como base para definir ambientes de manejo en el partido de Magdalena” (código: 11/A 360).

El estudio se realizó sobre un suelo Argiudol, con un perfil genéticamente bien evolucionado y caracterizado por la presencia de un horizonte argílico. Presenta topografía ligeramente inclinada a inclinada. El mismo se encuentra bajo un uso mixto (agrícola-ganadero), donde se realizan rotaciones de cultivos con pasturas y en las mismas esporádicamente pastoreos rotativos.

Se evaluaron cuatro lotes, 4,5,6 y 7, comparándolos con un testigo (T) que equivaldría a la situación primitiva del suelo (situación bajo alambrado). Los lotes 4 y 5 correspondieron a un manejo de agricultura continua, con una diferencia en la cantidad de años de maíz-soja. Los lotes 6 y 7 correspondieron a manejos de agricultura en rotación con pasturas y algunos eventuales pastoreos, es decir, pastoreo controlado en cuanto a duración e intensidad con el fin de no dañar la pastura.

Especificando, las secuencias de cultivos en los lotes desde el ejercicio productivo 2010-2011 al 2021-2022 fueron:

<b>HISTORIA DE LOTES</b>
--------------------------

Lote	Superficie (ha)	2010 - 2011	2011 - 2012	2012 - 2013	2013 - 2014	2014 - 2015	2015 - 2016	2016 - 2017	2017 - 2018	2018 - 2019	2019 - 2020	2020 - 2021	2021 - 2022
4	5,1	M	S	M	S	B	M	M	S	M	S	M	S
5	4,0	M	M	M	M	B	M	M	S	M	S	M	S
6	11,3	S / C	F / A	F / A	F / A	F / A	F / A	F / A	S	M	S	M	S
7	11,4	S	M	C/S2°	M	B	M	M	S	B	A	A	A

Tabla 1: Secuencias de cultivos según lote y año. A = Alfalfa; B = Barbecho; C = Cebada; F = Festuca; M = Maíz; S = Soja; S2° = Soja 2°.

En cada caso analizado se tomaron cinco muestras compuestas con tres profundidades de muestreo, 0-5 cm, 5-10 cm y 10-20 cm, todas comprendidas en el horizonte A, al final de las rotaciones.

Se determinó: pH por el método potenciométrico; CE por el extracto de saturación; COo por el método de Walkley-Black; EE a través del valor del diámetro medio ponderado (DMP) de los agregados por el método de Le Bissonais y Pext por el método de Bray Kurtz N°1. Estas determinaciones se realizaron en el Laboratorio de suelos y aguas de la Cátedra de Edafología, FCAYF, UNLP, el cual cuenta con todos los reactivos y equipos necesarios para llevar a cabo este trabajo.

Los resultados se analizaron por ANOVA y test de Tukey ( $p < 0,05$ ) con el programa InfoStat v. 2018.

Para la realización de los indicadores de calidad, todos los datos anteriormente mencionados se estandarizaron a fin de poder comparar sus influencias en la sustentabilidad de los sistemas.

#### 4. RESULTADOS

##### Análisis de indicadores:

En los siguientes gráficos de barras 1; 2; 3; 4 y 5 se pueden apreciar los valores de pH, CE, DMP, COo y Pext respectivamente.

#### 4.1. pH

- **0 a 5 cm de profundidad:** El análisis ANOVA muestra diferencias significativas entre los lotes. El Lote 5 tiene el pH más alto (6,35), mientras que el Lote 6 presenta el valor más bajo (5,36). Aunque estadísticamente significativas, las variaciones son pequeñas y todos los lotes se encuentran en el rango de pH ligeramente ácido.
- **5 a 10 cm de profundidad:** Nuevamente, el ANOVA indicó diferencias significativas. Los valores más altos corresponden al Lote 5 y al testigo, mientras que el Lote 6 tiene el valor más bajo (5,07).
- **10 a 20 cm de profundidad:** Se observan diferencias significativas con el testigo mostrando el valor más elevado (6,64) y el Lote 6 el más bajo. En todas las profundidades, el testigo y el Lote 5 tienden a tener pH más altos.

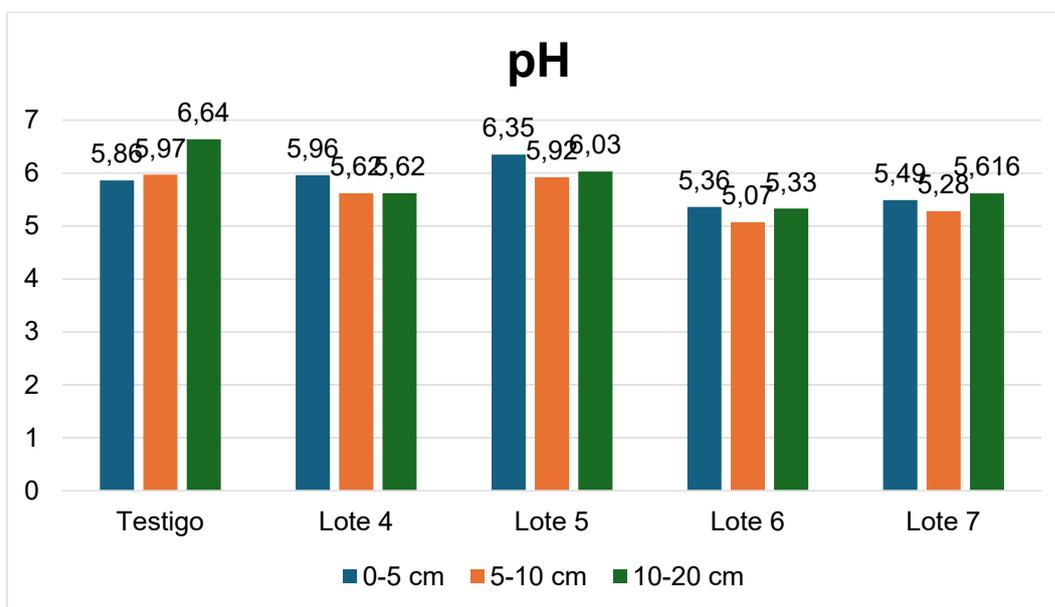


Gráfico 1. Valores de pH a distintas profundidades de muestreo.

#### 4.2. Conductividad Eléctrica (CE)

- **0 a 5 cm de profundidad:** La CE presenta diferencias significativas entre los lotes, destacando el Lote 7 con el valor más alto (1,85) y el testigo el más bajo (0,99).
- **5 a 10 cm de profundidad:** Existen diferencias con los Lotes 5 y 7 presentando valores mayores.
- **10 a 20 cm de profundidad:** No se detectan diferencias significativas, sugiriendo una homogeneidad en CE a mayor profundidad.

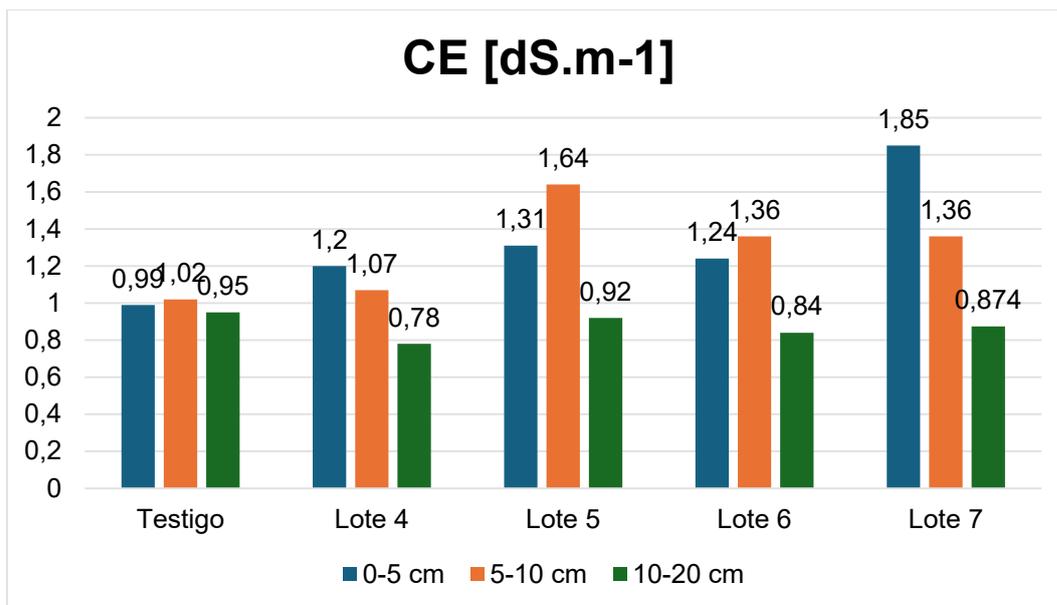


Gráfico 2. Valores de CE expresados en decisiemens por metros a distintas profundidades de muestreo.

#### 4.3. Diámetro Medio Ponderado (DMP)

- **0 a 5 cm de profundidad:** El análisis muestra diferencias significativas. El testigo y el Lote 5 tienen los valores más altos, lo que indica una mejor EE en estos suelos.
- **5 a 10 cm de profundidad:** Se observan diferencias, destacándose el testigo con el DMP más alto.
- **10 a 20 cm de profundidad:** No se encuentran diferencias significativas, lo que podría indicar que el manejo tiene menor impacto en la estructura a mayor profundidad.

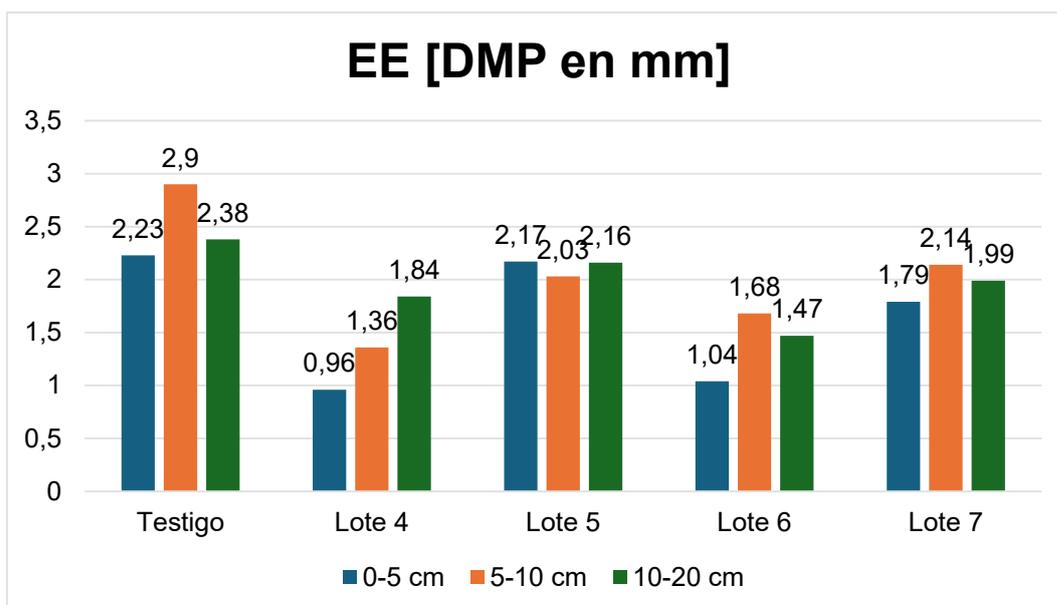


Gráfico 3. Valores de DMP expresado en milímetro a distintas profundidades de muestreo.

#### 4.4. Carbono Orgánico Oxidable (COo):

- **0 a 5 cm de profundidad:** Existen diferencias significativas, donde el testigo y el Lote 5 muestran mayores concentraciones de COo, mientras que el Lote 4 tiene el valor más bajo.
- **5 a 10 cm de profundidad:** Se mantienen diferencias, destacándose el Lote 5 nuevamente con un nivel más alto de COo.
- **10 a 20 cm de profundidad:** Hay diferencias con el Lote 5 presentando el valor más alto (2,9) y el testigo el más bajo.

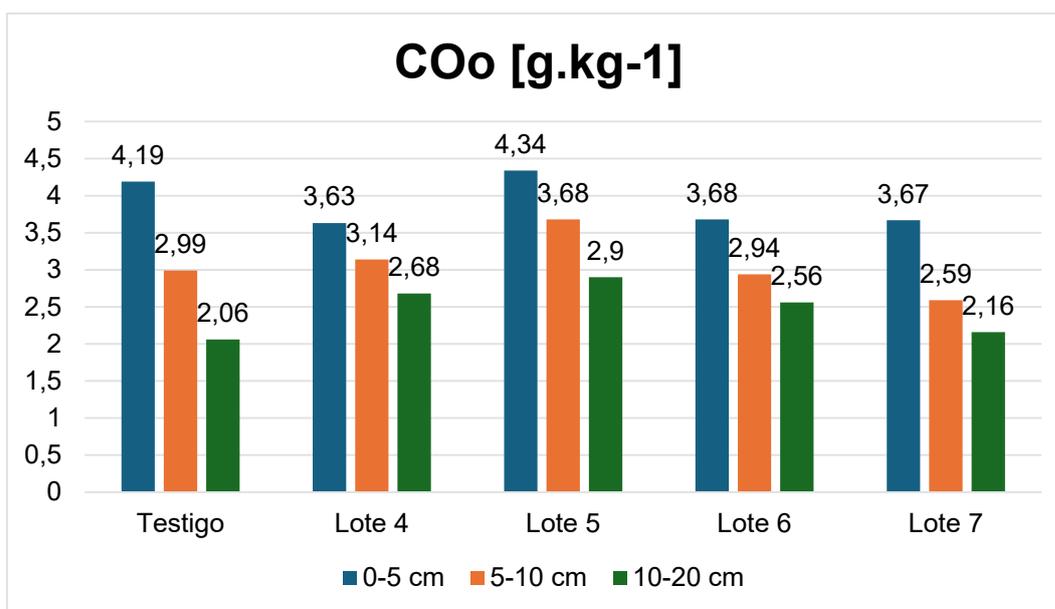


Gráfico 4. Valores de COo expresado en gramos por kg de muestra a distintas profundidades de muestreo.

#### 4.5. Fósforo Extractable (Bray)

- **0 a 5 cm de profundidad:** Los niveles de Pext muestran diferencias significativas. El Lote 5 tiene la concentración más alta (220,14), mientras que el Lote 6 presenta los valores más bajos (45,4).
- **5 a 10 cm de profundidad:** También se observan diferencias significativas, con el Lote 5 nuevamente en el valor más alto y el Lote 6 en el más bajo.
- **10 a 20 cm de profundidad:** Las diferencias significativas persisten, destacándose el Lote 5 como el más alto y el Lote 6 el más bajo en Pext.

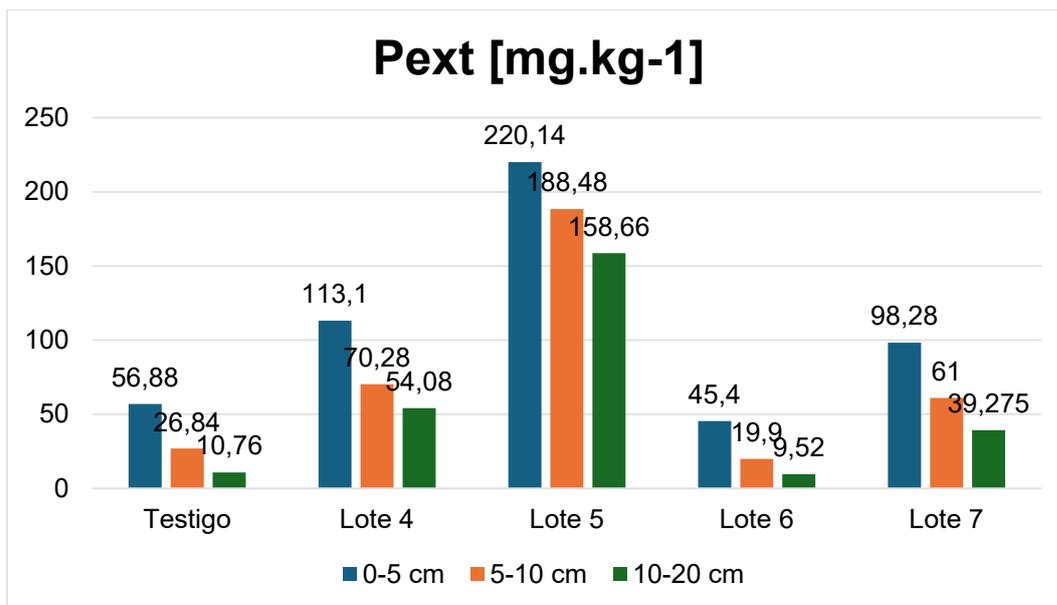


Gráfico 5. Valores de P expresados en partes por millón a distintas profundidades de muestreo.

#### 4.6. Indicadores de calidad

Al trabajar con un CMI de calidad de suelo representados por variables, las cuales son medidas en distintas unidades y por ende distintas escalas, es necesario simplificar y unir dicha información. Para lo cual se realizó una sistematización de los indicadores normalizando los datos obtenidos, siguiendo una escala que va de 0 a 8, donde 0 es el valor más bajo que presenta el indicador y 8 el mejor valor. Dicha escala se estimó individualmente para cada indicador, considerando los valores óptimos y críticos de los mismos.

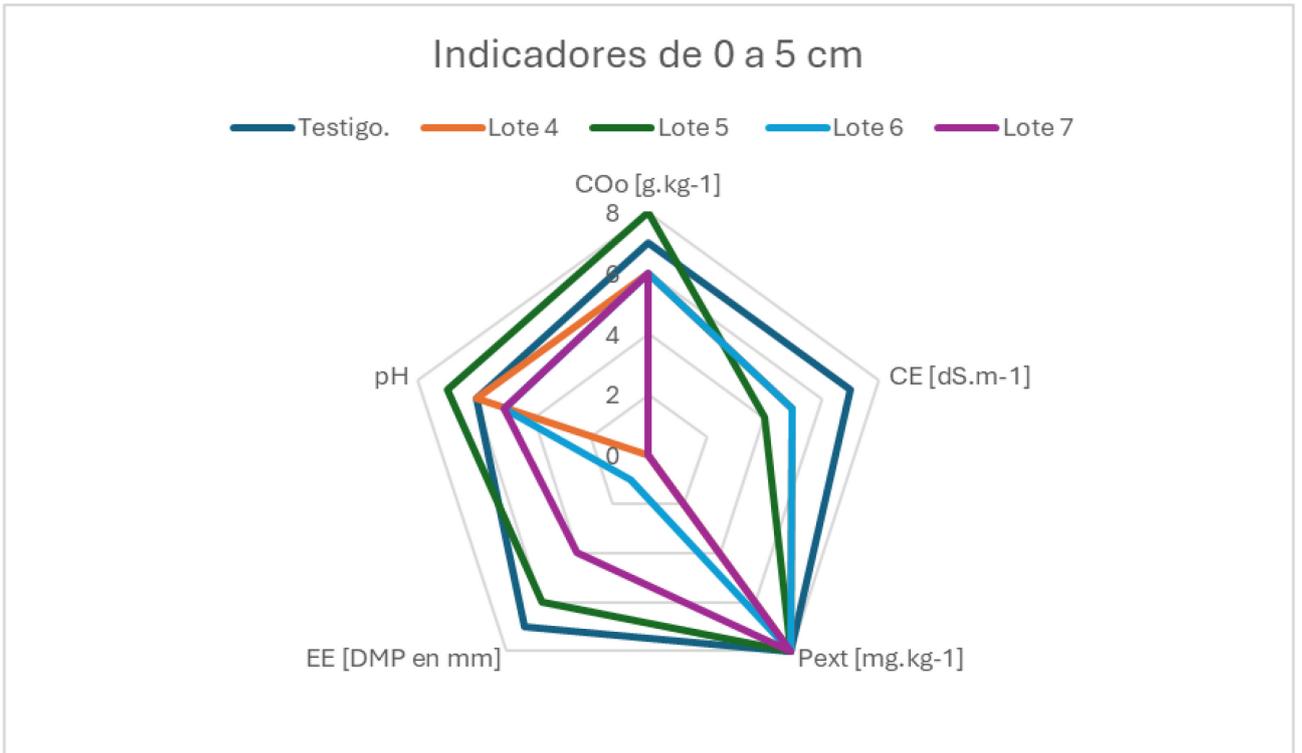
En la siguiente tabla se puede apreciar las escalas utilizadas para la normalización de los datos analíticos.

COo [g.kg <sup>-1</sup> ]		pH		CE [dS.m <sup>-1</sup> ]		Pext [mg.kg <sup>-1</sup> ]		EE [DMP en mm]	
< 2,09	0	< a 3,7	0	>1,8	0	< 9,99	0	< 0,99	0
2,1 a 2,39	1	3,7 a 4,09	1	1,79 a 1,65	1	10 a 14,9	1	1 a 1,19	1
2,4 a 2,69	2	4,1 a 4,49	2	1,64 a 1,5	2	15 a 19,9	2	1,2 a 1,39	2
2,7 a 2,99	3	4,5 a 4,89	3	1,49 a 1,4	3	20 a 24,9	3	1,4 a 1,59	3
3 a 3,29	4	4,9 a 5,29	4	1,39 a 1,25	4	25 a 29,9	4	1,6 a 1,79	4
3,3 a 3,59	5	5,3 a 5,69	5	1,24 a 1,1	5	30 a 34,9	5	1,8 a 1,99	5
3,6 a 3,89	6	5,7 a 6,09	6	1,09 a 0,95	6	35 a 39,9	6	2 a 2,19	6
3,9 a 4,19	7	6,1 a 6,49	7	0,94 a 0,8	7	40 a 44,9	7	2,2 a 2,39	7
>4,2	8	6,5-6,9	8	< 0,79	8	>45	8	>2,4	8

**Tabla 3: Criterio normalización de datos analíticos.**

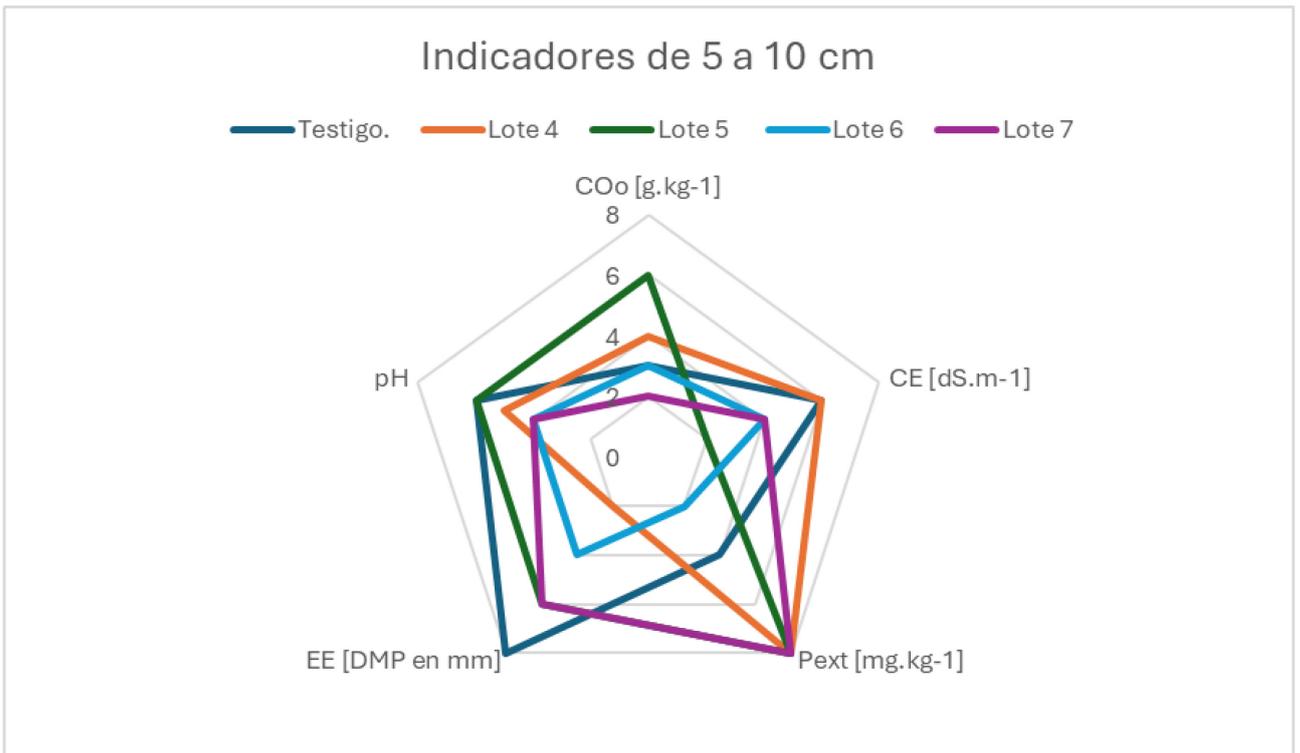
La valoración de la calidad de suelo en los distintos usos se realizó utilizando un diagrama radial para cada una de las profundidades del suelo evaluadas.

En la figura 1 se pueden apreciar los 5 indicadores integrantes del CMI distribuidos en los diagramas del gráfico.



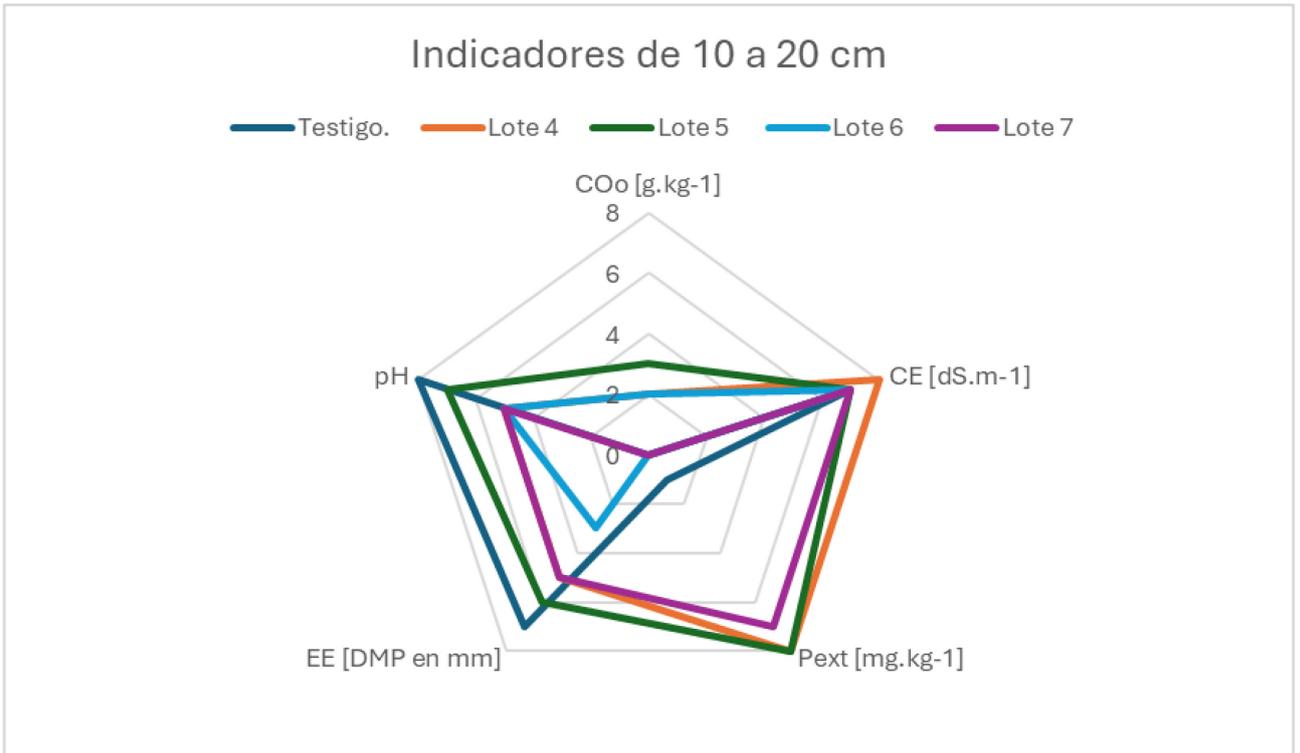
**Figura 1.** CMI de 0 a 5 cm de profundidad.

El análisis de los indicadores evaluados a una profundidad de 0 a 5 cm revela que el lote 4 presenta una notable baja EE, seguido por el lote 6. En contraste, el testigo exhibe el valor más alto en este aspecto. En lo que respecta a los niveles de Pext, todos los lotes, incluyendo el testigo, muestran valores elevados. En relación con la CE, el lote 7 se destaca al presentar el valor más alto, mientras que el testigo muestra el valor más bajo. Además, el lote 5 se distingue por tener el mayor COo. Finalmente, aunque no se observaron grandes diferencias en el pH entre los lotes, el lote 5 es el que más se aproxima a un valor neutro.



**Figura 2.** CMI de 5 a 10 cm de profundidad.

A una profundidad de 5 a 10 cm, se observa nuevamente que el testigo presenta la mayor EE, mientras que el lote 6 muestra la menor EE en comparación con los demás lotes. En lo que respecta al contenido de Pext, los lotes 4, 5 y 7 continúan presentando niveles excesivos, a diferencia del lote 6 y el testigo. En cuanto a la CE, el lote 5 es el que presenta los niveles más altos. El lote 6 se encuentra por debajo en todos los indicadores. Por último, en lo que respecta al pH, todos los lotes, incluido el testigo.



**Figura 3.** CMI de 10 a 20 cm de profundidad.

A una profundidad de 10 a 20 cm, el lote 6 mostró los valores más bajos de COo, aunque los demás lotes, incluido el testigo, no presentaron altos valores de COo en esta profundidad. En lo que respecta a la CE, todos los lotes mostraron valores bajos. En cuanto al Pext, los lotes 4 y 5 mantuvieron niveles altos, seguidos por el lote 7, mientras que los valores más bajos se observaron en el lote 6 y el testigo. En términos de pH, el testigo presentó el valor más cercano al rango neutro. Respecto a la EE, el testigo mostró el mejor desempeño, mientras que el lote 6 tuvo el más bajo.

## **5. DISCUSIÓN:**

### **5.1. Análisis del CMI de la calidad del suelo**

Los indicadores de la calidad del suelo constituyen una herramienta poderosa para la toma de decisiones en el manejo y uso del suelo a escala local, regional y global, y su estudio debe hacerse de forma particular, según las condiciones de cada agroecosistema. García, et al. (2012).

Los resultados obtenidos, que revelan diferencias significativas en los indicadores analizados, permiten afirmar que el uso de indicadores es útil para reflejar la calidad del suelo bajo diversas condiciones o tratamientos. Esto sugiere que una evaluación exhaustiva de los indicadores puede proporcionar información valiosa para la gestión sostenible de los recursos edáficos, facilitando la toma de decisiones informadas en prácticas agrícolas y de conservación. Además, la identificación de patrones en la calidad del suelo puede ayudar a desarrollar estrategias específicas para mejorar la salud del ecosistema y optimizar la producción agrícola. En definitiva, la integración de estos indicadores en los estudios de calidad del suelo es fundamental para promover un manejo adecuado y sostenible de este recurso vital.

La evaluación de la calidad del suelo mediante indicadores específicos es indispensable para promover prácticas de manejo sostenible Wilson *et al.* (2017). Los resultados significativos en los indicadores analizados no sólo ofrecen información sobre el estado actual del suelo, sino que también sirven como base para la toma de decisiones informadas que puedan mejorar la sostenibilidad de los sistemas de manejo. Este enfoque no solo contribuye a la salud del suelo, sino que también apoya la producción agrícola y la conservación de los recursos naturales a largo plazo. En futuras investigaciones, será crucial continuar explorando la relación entre estos indicadores y el impacto de diferentes prácticas de manejo, adaptando las estrategias a cada contexto particular.

### 5.1.1. pH

El pH del suelo es un indicador clave de su calidad y capacidad para sostener la producción agrícola y ganadera. Los resultados mostraron un rango general ligeramente ácido en los lotes analizados, con diferencias significativas según el ANOVA. Es relevante destacar que el pH fue uno de los indicadores menos influenciados por los distintos manejos, tal como lo señala Dalurzo *et al.* (2001). A pesar de esto, los lotes con valores más bajos de pH podrían estar relacionados con la acumulación de materia orgánica no descompuesta o lixiviación de nutrientes, lo cual es común en sistemas ganaderos. Gil y otros autores en 2021, afirman que, aunque los residuos de la ganadería pueden aportar nutrientes y materia orgánica, su uso excesivo o mal gestionado puede llevar a la lixiviación de compuestos nitrogenados y fosforados afectando la calidad del suelo y el crecimiento vegetal.

La acidez del suelo puede ser problemática si no se maneja adecuadamente, ya que disminuye el crecimiento de las plantas por la reducción en la disponibilidad de algunos nutrientes (Ca, Mg, K y P) (Rivera *et al.*, 2018).

Se recomienda implementar prácticas como la rotación de cultivos, el maíz es buena opción para suelos ácidos ya que tolera moderadamente la acidez y al dejar abundante rastrojo tras su cosecha, la biomasa mejora la actividad biológica y el reciclaje de nutrientes. En cuanto a la soja sería mejor evitarla en la rotación, ya que sufre más que el maíz con la acidez del suelo, y al extraer Ca y Mg contribuye a disminuir la acidez. Otra opción sería trabajar con pasturas de gramíneas como festuca o agropiro, las cuales toleran la acidez y al producir buena cantidad de materia orgánica actúan como buffer para el suelo. Y las raíces constantes de las pasturas ayudan a mejorar la CIC. En el caso de pasturas en base alfalfa, esta especie requiere pH mayor a 6, pero sería un buen indicador de pH

correcto. También se aconseja evitar fertilizantes acidificantes como urea, MAP y sulfato de amonio. Por otro lado, es aconsejable el monitoreo continuo del pH para garantizar un balance adecuado y evitar problemas asociados con la acidificación del suelo.

### **5.1.2. Carbono Orgánico oxidable**

El COo es fundamental para la fertilidad y salud del suelo, ya que influye en la estructura, la disponibilidad de nutrientes y la retención de agua (Lal, 2004). Su presencia está estrechamente relacionada con el aporte de biomasa vegetal y la actividad biológica del suelo, lo que impacta directamente en la EE de los agregados y en la reducción de la erosión (Six *et al.*, 2002).

Los lotes analizados presentaron variaciones significativas en los niveles de COo, destacando algunos con niveles relativamente altos. En particular, el lote 5 y el testigo presentaron una mayor concentración de COo en la capa superficial analizada, lo cual puede atribuirse al mayor aporte de biomasa vegetal y a una posible menor alteración del suelo, favoreciendo la acumulación de materia orgánica (Franzluebbers, 2010).

En contraste, los lotes 6 y 7, presentaron una concentración de COo más baja en la capa superficial. Esto puede explicarse por varios factores propios de los sistemas ganaderos. En la ganadería, la cobertura vegetal es generalmente más baja en comparación con los sistemas agrícolas, lo que reduce el aporte constante de materia orgánica al suelo. Además, el pastoreo puede provocar una mayor compactación del suelo, lo que limita la infiltración de agua y la actividad biológica en la capa superficial, disminuyendo la descomposición de la materia orgánica (Conant *et al.*, 2001).

Se destaca que, en todos los lotes, incluso en el testigo, hay una mayor acumulación de COo en las capas superficiales y un descenso de este a medida que la profundidad aumenta. Esto se debe a que la capa superficial del suelo recibe el mayor aporte de residuos vegetales, como hojarasca, raíces y restos de cultivos, los cuales se descomponen y

contribuyen a la acumulación de materia orgánica (Jobbágy & Jackson, 2000). Además, la actividad microbiana y de organismos del suelo, como lombrices y hongos descomponedores, es más intensa en los primeros centímetros, lo que favorece la transformación de la materia orgánica en formas estables de carbono (Conant *et al.*, 2001).

A medida que aumenta la profundidad, la disponibilidad de oxígeno disminuye, lo que reduce la actividad biológica y la tasa de descomposición de la materia orgánica (Rumpel & Kögel-Knabner, 2011). Asimismo, la menor presencia de raíces y el menor ingreso de residuos vegetales en capas más profundas limitan el aporte de carbono en el perfil del suelo.

A pesar de los resultados positivos, es fundamental implementar prácticas de manejo sostenibles que promuevan la conservación de CO<sub>2</sub> en el suelo, como rotaciones con pasturas, enmiendas orgánicas y cultivos de cobertura, para garantizar la sostenibilidad a largo plazo. Estas prácticas ayudarían a preservar la estructura y fertilidad del suelo, promoviendo la salud del ecosistema y mitigando el agotamiento de carbono en el suelo.

### **5.1.3. Estabilidad estructural mediante el Diámetro Medio Ponderado**

La EE del suelo, evaluada a través del DMP, mostró valores más altos en el testigo y en el lote 5, particularmente en las capas superficiales, esto sugiere que la acumulación de rastrojos en los sistemas de siembra directa favorece la EE (Maddoni *et al.*, 2003). Por otro lado, la mayor EE del testigo puede atribuirse a la ausencia de perturbación antrópica, resaltando la importancia de equilibrar las prácticas agrícolas con estrategias que protejan la estructura del suelo. Dicho esto, cabe destacar que, en el resto de los lotes, 4, 6 y 7, los horizontes superficiales son los que presentan menor EE, para los lotes 6 y 7 esto coincide con los resultados obtenidos por Taboada & Lavado (2007), que indicaron que los daños producidos por el pisoteo de los animales suelen ser superficiales. En cuanto al lote 4 la baja EE en los primeros centímetros del suelo puede estar relacionada con la disminución de carbono orgánico total, lo cual afecta negativamente la capacidad del suelo para mantener su estructura frente a fuerzas exógenas (Alvarez *et al.*, 2017)

Una posible solución sería la implementación de cultivos de cobertura, se ha comprobado que el uso de esta alternativa tiene numerosos beneficios para el suelo, entre ellos ayuda a mejorar la EE de este, por ejemplo Shahzad y otros autores, en 2015, afirman que los compuestos orgánicos que son liberados por las raíces por el proceso de rizodeposición actúan como agentes aglutinantes en la agregación de partículas minerales del suelo favoreciendo la formación y estabilización de los agregados y por ende a la EE.

#### **5.1.4. Conductividad Eléctrica**

Los resultados obtenidos presentaron diferencias significativas en cuanto a la CE de los distintos lotes, el lote 7 mostró mayor valor en el horizonte superficial, mientras que el testigo presentó el valor más bajo, este hallazgo sugiere que las prácticas de ganadería en el Lote 7 pueden estar contribuyendo a una acumulación de sales en la capa superior del suelo, posiblemente debido al aporte de nutrientes y otros insumos que pueden contener sodio u otros compuestos salinos. En el siguiente horizonte (5 a 10 cm) presenta mayor CE tanto el lote 5 como el 7, lo cual puede estar relacionado con la dinámica de nutrientes y el manejo del suelo en estas prácticas agrícolas y ganaderas. Guida-Johnson y otros autores (2017) indicaron que la salinización secundaria en secano (producida por las actividades antrópicas no sustentables) se produce por el reemplazo de la vegetación nativa perenne de raíces profundas por cultivos anuales de raíces poco profundas, lo cual explica el aumento de la CE en los lotes destinados a agricultura.

Cabe destacar que a pesar de evidenciarse en los lotes 5 y 7 mayor CE, estos valores medidos por extracto de saturación ponen al suelo en la categoría de no salino según la secretaría de agricultura, ganadería y pesca (2025). Más allá de esto, según García & Jáuregui (2008), la salinidad es uno de los principales factores abióticos que limitan la productividad agrícola, debido a que la inmensa mayoría de las plantas cultivadas son sensibles a esta condición, por lo que se recomienda continuar con prácticas amigables sostenibles que minimicen la acumulación de sales como la rotación de cultivos.

Además, es importante el monitoreo de la CE, especialmente en el horizonte superficial del suelo ya que la salinidad puede afectar de manera negativa el crecimiento de las plantas y la salud del suelo a largo plazo, este indicador está directamente relacionada con la retención de nutrientes y por ende con la producción agrícola y ganadera. La implementación de prácticas que favorezcan la lixiviación de sales y la mejora de la estructura del suelo podría ser beneficiosa para los lotes con CE elevada.

### 5.1.5. Fósforo extractable

El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas, y su disponibilidad en el suelo está influenciada por el manejo agrícola y ganadero. En este estudio, el Lote 5 presentó los valores más altos de  $P_e$ , especialmente en las capas superficiales. Este nivel tan elevado de  $P_{ext}$  sugiere que, anteriormente, en este lote podría haber sido utilizado para encierro a corral, donde el aporte constante de excretas animales contribuye a una acumulación excesiva de este nutriente en el suelo. Según García-Préchac *et al.* (2004), este tipo de manejo puede resultar en niveles excesivos de  $P_{ext}$ , lo cual, si no se gestiona adecuadamente, podría generar problemas ambientales como la contaminación de aguas subterráneas por escorrentía. También un exceso de P podría alterar el equilibrio nutricional del suelo y afectar la disponibilidad de otros micronutrientes esenciales, como el zinc (Corrales *et al.*, 2014).

Por otro lado, los lotes ganaderos, como el Lote 6, mostraron valores significativamente más bajos de  $P_{ext}$ , lo que podría estar relacionado con la exportación de este nutriente a través de la producción animal. Según García-Préchac *et al.* (2004), la rotación agrícola-ganadera puede ayudar a mantener niveles adecuados de  $P_{ext}$  en el suelo, reduciendo la necesidad de fertilización química.

Es crucial monitorear los niveles de  $P_{ext}$  en el suelo y ajustar las prácticas de manejo para evitar tanto la deficiencia como el exceso de este nutriente, garantizando así la sostenibilidad de los sistemas de producción.

## 6. CONCLUSIÓN:

A pesar de que los indicadores de calidad del suelo mostraron diferencias significativas entre los manejos analizados, los resultados revelaron una menor calidad del suelo en sistemas con rotaciones de pasturas en comparación con la agricultura continua, lo que subraya la necesidad de implementar prácticas que fomenten la sostenibilidad del suelo y establecer un monitoreo constante de los indicadores para asegurar la productividad y conservación del recurso a largo plazo.

## 7. BIBLIOGRAFÍA:

**Andrade, F. H., Taboada, M. A., Lema, R. D., Maceira, N. O., Echeverría, H. E., Posse Beaulieu, G & Mastrangelo, M. E.** 2017. Los desafíos de la agricultura argentina: satisfacer las futuras demandas y reducir el impacto ambiental. Ediciones INTA.

**Andriulo, A., Sasal, C., & Portela, S.** 2004. Impacto ambiental de la agricultura Pampeana. *Idia*, 21(6), 80-84.

**Angueira, C., Cruzate, G., Zamora, E.M., Olmedo, G.F., Sayago., Sanchez de la orden, M., Castillejo-Gonzalez I.** 2016 Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo.

**Astier-Calderón, M., Maass-Moreno, M., & Etchevers-Barra, J.** 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 36(5), 605-620.

**Baridón, J. E.** 2015. Cambios físicos, químicos y microbiológicos en suelos subtropicales de la provincia de Formosa ante el proceso de agriculturización (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).

**Bautista Cruz, A., Etchevers Barra, J., del Castillo, R., & Gutiérrez, C.** 2004. La calidad del suelo y sus indicadores: *Ecosistemas*, 13(2). Recuperado a partir de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/572>

**Bragachini, M., J.P. Vélez, C. Casini & F. Sánchez** 2015. Siembra Directa. Un aporte a la productividad y sustentabilidad ambiental. INTA Actualización Técnica N° 89. Pp. 24.

- Casas, R. R.** 2006. Preservar la calidad y salud de los suelos: una oportunidad para la Argentina.
- Cingolani, A. M., Noy-Meir, I., Renison, D., & Cabido, M.** 2008. La ganadería extensiva, ¿es compatible con la conservación de la biodiversidad y de los suelos? *Ecología Austral*, 18(3), 253-271.
- Conant, R. T., Smith, G. R., & Paustian, K.** 2001. Agricultura, ecosistemas y medio ambiente, 87(2), 121-130.
- Corrales Ramírez, L. C., Arévalo Galvez, Z. Y. & Moreno Burbano, V. E.** 2014. Solubilización de fosfatos: una función microbiana importante en el desarrollo vegetal. *Nova*, 12(21), 68-79.
- Cremona, M. V., & Enriquez, A. S.** 2020. Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica. EEA Bariloche.
- Cruzate, G. A., & Casas, R.** 2017. Balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina en la campaña 2015/16. *Informaciones agronómicas de Hispanoamérica*, 28, 14-23.
- Dumanski, J., Gameda, S. y Pieri, C.** 1998. Indicators of land quality and sustainable land management. The World Bank, Washington DC, USA.
- Espinoza, Y., Lozano, Z., & Velásquez, L.** 2007. Efecto de la rotación de cultivos y prácticas de labranza sobre las fracciones de la materia orgánica del suelo. *Interciencia*, 32(8), 554-559.
- Fynn, R. W. S., O'Connor, T. G., & Hoffman, M. T.** 2014. El papel del pastoreo rotacional en la mejora de la estructura y fertilidad del suelo: una revisión. *Soil Use and Management*, 30(4), 375-387.
- Forjan, H. J.** 2000. Rotaciones en sistemas mixtos. La pastura perenne base de la agricultura sustentable en la región. Material didáctico N°1. CEI Barrow (11Pp.)
- Forjan, H. & L. Manso.** 2010. Los cereales de invierno en la secuencia de cultivos. Su aporte a la sustentabilidad del sistema de producción.

Chacra Experimental 11 Integrada Barrow, Convenio INTA – MAA Pcia. de Buenos Aires. Pp. 2. En: 12

[http://rian.inta.gov.ar/Boletines/Articulos/Documentos/Cereales\\_de\\_invierno\\_en\\_la\\_13\\_secuencia\\_de\\_cultivos.pdf](http://rian.inta.gov.ar/Boletines/Articulos/Documentos/Cereales_de_invierno_en_la_13_secuencia_de_cultivos.pdf). Último acceso: Julio 2024.

**Forjan, H. J., & Manso, M. L.** 2016. Rotaciones y secuencias de cultivo en la región mixta cerealera del centro-sur bonaerense. Ediciones INTA.

**Franzluebbers, A. J.** 2010. Agricultura, ecosistemas y medio ambiente, 137(3-4), 231-240.

**García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S.** 2012. Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. Pastos y forrajes, 35(2), 125-138.

**García-Ferre, C.** 2005 Agricultura y ganadería. Sitio Argentino de producción animal.

Disponible en: [https://www.produccionanimal.com.ar/sustentabilidad/73agricultura\\_ganaderia.pdf](https://www.produccionanimal.com.ar/sustentabilidad/73agricultura_ganaderia.pdf). Último acceso: Julio, 2024.

**García-Préchac F., O. Ernst, G. Siri-Prieto & J. A. Terra.** 2004. Integrating no-till into crop–pasture rotations in Uruguay. Soil and Tillage Research 77:1-13.

**García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S.** 2012. Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. Pastos y forrajes, 35(2), 125-138.

**Gil, S. B., Carbó, L., & Herrero, M. A.** (2021). Gestión de residuos e indicadores de manejo de nutrientes en sistemas ganaderos intensificados. *InVet*, 23(2), 14-14.

**Giller, K. E., Andersson, J. A., & Tittonell, P.** 2015. El papel de los sistemas agricultura-ganadería en la mejora de la fertilidad y productividad del suelo en los trópicos. *Agricultural Systems*, 135, 82-94.

**Guida-Johnson, B., Abraham, E. M., & Cony, M. A.** 2017. Salinización del suelo en tierras secas irrigadas: perspectivas de restauración en

Cuyo, Argentina. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, 49(1), 205-215.

**Hünнемeyer, A. J., de Camino Velozo, R., & Müller, S.** 1997. Análisis del desarrollo sostenible en Centroamérica: indicadores para la agricultura y los recursos naturales. Bib. Orton IICA/CATIE.

**Jobbágy, E. G., & Jackson, R. B.** 2000. Ecología, 81(8), 2385-2396.

**Lal, R.** 2004. Investigación sobre suelos y laboreo, 76(2), 137-158.

**Lobo, D., & Pulido, M.** 2006. Métodos e índices para evaluar la estabilidad estructural de los suelos. Venesuelos, 14(1), 22-37.

**Maddoni G., R. Ruiz, P. Vilariño & I. Garcia de Salomone** 2003. Fertilización en los cultivos para grano. Capítulo 19: 501 – 557 pp. Producción de granos: Bases funcionales para su manejo. Editorial: Facultad de agronomía (UBA).

**Martínez, E., Fuentes, J. P., & Acevedo, E.** 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal, 8(1), 68-96.

**Mesa, D.** 2003. Obtención de plantas resistentes a la salinidad para los suelos salinos cubanos. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 37(3), 217-226.

**Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca** 2025. Valores de referencia para el diagnóstico de análisis de suelo. Recuperado de: <https://magyp.gob.ar/brechaproductiva/pdf/valores-de-referencia-para-diagnostico-de-suelos.pdf>

**Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (FAO).** 2019. La contaminación de los suelos está contaminando nuestro futuro. Recuperado de <http://www.fao.org/faostories/article/es/c/1126977/>

**Osorio, N. W.** 2012. pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. Manejo integral del suelo y Nutrición vegetal, 1(4), 1-4.

- Prieto, G. S., & Ernst, O.** 2010. Manejo del suelo y rotación con pasturas: Efecto sobre la calidad del suelo, el rendimiento de los cultivos y el uso de insumos. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, 45, 22-26.
- Rivera, E., Sánchez, M., & Domínguez, H.** 2018. pH como factor de crecimiento en plantas. *Revista de iniciación científica*, 4, 101-105.
- Rojas, L., et al.** 2017. **Uso de indicadores para evaluar la calidad del suelo en sistemas agrícolas.** *Soil and Tillage Research*, 176, 74-84.
- Rumpel, C., & Kögel-Knabner, I.** 2011. *Geociencia Natural*, 4(12), 830-835.
- Sainz Rozas, H., Echeverría, H. E., & Angelini, H. P.** 2016. Impacto en las comunidades microbianas del suelo. *Ciencia del Suelo*, 34(2), 187-200
- Sasal, M. C., Andriulo, A. E., & Taboada, M. A.** 2020. Efecto de las pasturas perennes en la fertilidad física y biológica en suelos en proceso de degradación. *Ciencia del Suelo*, 38(1), 131-144
- Shahzad, T., Chenu, C., Genet, P., Barot, S., Perveen, N., Mougin, C., & Fontaine, S.** 2015. Contribution of exudates, arbuscular mycorrhizal fungi and litter depositions to the rhizosphere priming effect induced by grassland species. *Soil Biology and Biochemistry*, 80, 146-155.
- Six, J., et al.** 2002. *Planta y suelo*, 241(2), 155-176.
- Six, J., Elliott, E. T., & Paustian, K.** 2004. El giro de la materia orgánica del suelo en horizontes superficiales influenciado por la labranza y la rotación de cultivos. *Soil Science Society of America Journal*, 68(6), 1901-1907.
- Studdert, G. A., H. E. Echeverría & E.M. Casanovas** 1997. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a Typic Argiudol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1466-1472.
- Taboada, M. A.** 2007. Efectos del pisoteo y pastoreo animal sobre suelos en siembra directa. 4º Simposio de Ganadería en Siembra Directa, 1-13.

**Teague, W. R., & Dowhower, S. L.** 2016. Impacto de la gestión de pasturas y el pastoreo sobre la salud del suelo. *Agronomy Journal*, 108(6), 2381-2390.

**Wilson, M. G.** 2017 “Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina” - 1a ed. Entre Ríos: Ediciones INTA. Libro digital, PDF. Archivo Digital: descarga y online: ISBN 978-987-521-826-0.

**Wilson, M., & Sasal, M. C.** 2017. Aplicación de indicadores de calidad de suelo para el monitoreo agroambiental. Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina, 1, 23-26.