



Universidad Nacional
de **Río Negro**

TRABAJO FINAL DE CARRERA

“Evaluación de la calidad del suelo en una explotación lechera del valle inferior del río Negro”

Director: Reinoso, Lucio Gabriel

Co-director: Luna, Martín Alejandro

LUCIO IMAZ

VIEDMA ARGENTINA

2021

“Evaluación de la calidad del suelo en una explotación lechera del valle inferior del río Negro”

Resumen

En las últimas décadas, estudios realizados sobre la capacidad productiva de los suelos manifestaron una degradación severa y más del 10% de los suelos cultivados en todo el mundo se vieron afectados por erosión, contaminación ambiental, labranza excesiva, sobrepastoreo, salinización y desertificación. La calidad del suelo (CS) ha ganado atención en los últimos años debido a problemas ambientales relacionados con la degradación del suelo y la sostenibilidad de la producción bajo diferentes sistemas de cultivo. Este interés se ha centrado en la definición del concepto de CS y en la búsqueda de métodos fiables para la evaluación de esta calidad. El objetivo de este estudio fue evaluar la calidad del suelo aplicando un número mínimo de indicadores del recurso con diferentes usos y manejos productivos en un establecimiento dedicado a la producción lechera bajo riego. La misma se encuentra ubicada en el valle inferior del río Negro, provincia de Río Negro, en el km 1012 de la ruta nacional N° 3, a 50 km de la ciudad de Viedma. Los sitios de estudio que se han considerado para el siguiente trabajo profesional son cuatro, cada uno presenta diferentes cultivos, usos y manejo: Maíz para silo (MS), Alfalfa para henificación (AH), Raigrás para pastoreo directo (RP) y Festuca para pastoreo directo (FP). Los indicadores evaluados fueron: textura, materia orgánica (MO), nitrógeno total (NT), carbono orgánico total (COT), formas de carbono fácilmente oxidables (F1, F2 y F3), respiración microbiana (RM), pH en extracto de saturación y en relación suelo:agua, conductividad eléctrica (CE), fósforo disponible (P) mediante la metodología Bray-Kurzt y la de Olsen, densidad aparente (DA), resistencia mecánica a la penetración (RMP) e infiltración básica (Ib). Los niveles de COT en suelos agrícolas fueron menores que en los utilizados con pasturas perennes, donde la frecuencia del maíz para silo probablemente fue uno de los principales factores causantes de este efecto. En general, las fracciones orgánicas lábiles (F1 y F2) mostraron sensibilidad diferencial, fueron útiles para poner en evidencia los cambios debidos a las prácticas agrícolas. También se vio afectada la actividad biológica por altos contenidos de sales solubles en el perfil del suelo. Las propiedades físicas fueron degradadas por los manejos agrícolas y ganaderos con valores de densidad aparente cercanos a los críticos y una menor proporción de macroporos en el estrato superficial para los lotes destinados a pastoreo directo. Los resultados obtenidos nos permitieron detectar diferencias entre el manejo agrícola y los manejos ganaderos.

Palabras claves: Calidad de suelo, carbono orgánico total, respiración microbiana y propiedades físicas.

Dedicatoria:

A mis padres, Tiburcio y Encarnación. A mis hermanos, Joaquín, Eugenio, Justo y mi hermana Sofía.

A mis tres sobrinos, Pilar, Catalina y Benicio.

Agradecimientos:

Agradezco a todas las personas e instituciones que han estado presentes a su manera durante el transcurso de mi carrera universitaria.

A la Universidad Nacional del Sur y la Universidad Nacional de Río Negro, que me dieron la posibilidad de estudiar lo que siempre quise.

A mis directores de tesis, Lucio Reinoso y Martín Alejandro Luna, por estar siempre predispuestos ante cualquier duda, acompañarme y aconsejarme siempre que lo necesité.

A la Explotación Rangitata y sus integrantes, quienes me dieron el espacio para poder realizar mi trabajo final de carrera en su establecimiento. A quienes recurrí muchas veces durante el proceso y siempre respondieron de la mejor manera y sobre todo con buen humor.

A mis padres, por estar presentes, cada uno a su manera, durante toda mi formación estudiantil, ellos me han formado como persona ya que me han transmitido grandes valores de la vida.

A mis tres hermanos y hermana, que desde su lugar me acompañaron en todo momento. Y por transmitirme la vocación con la que desarrollan sus respectivas profesiones, son un ejemplo para mí.

A Elizabeth, por estar presente y bancarme desde que me conoció.

A todos mis amigos, los que hice durante el proceso universitario, de gran valor para mí. Sin la colaboración de cada uno de ellos no hubiese sido posible culminar este proceso.

Índice General

INTRODUCCIÓN	8
Indicadores de calidad de suelo.....	11
Materia orgánica y sus fracciones	11
Distribución granulométrica de partículas	12
Densidad aparente	12
Resistencia mecánica a la penetración	13
Infiltración básica	13
Reacción del suelo	15
Conductividad eléctrica.....	15
Nitrógeno total	16
Fósforo.....	17
Respiración microbiana	18
Descripción de los suelos del sitio de estudio e importancia del presente trabajo para la producción lechera	19
OBJETIVOS	20
<i>Objetivo general</i>	20
<i>Objetivos específicos</i>	20
MATERIALES Y MÉTODOS	20
Localización del sitio experimental.....	20
Caracterización agroclimática de la región del valle inferior del río Negro.....	21
Suelos y topografía	24
Caracterización de las series en donde se encuentra el sitio de estudio.....	24
Sitios de estudio.....	26
Muestreo	27
Indicadores evaluados y sus respectivas metodologías.....	28
Análisis estadístico.....	29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
<i>Composición granulométrica</i>	29

<i>Densidad aparente</i>	29
<i>Resistencia mecánica a la penetración</i>	30
<i>Respiración microbiana</i>	32
<i>Carbono Orgánico Total</i>	33
<i>pH del suelo</i>	36
<i>Conductividad eléctrica</i>	36
<i>Fósforo</i>	37
<i>Nitrógeno Total</i>	38
<i>Infiltración Básica</i>	40
<i>Relación entre variables estudiadas</i>	41
CONCLUSIÓN	46
BIBLIOGRAFÍA	47

Índice de Figuras

Figura 1. Formas químicas del fósforo en los suelos en función del pH.	18
Figura 2. Localización geográfica del valle inferior del río Negro y sitio donde se tomaron las muestras de suelo: Explotación “Rangitata”.	21
Figura 3. Temperaturas medias mensuales serie 1965-2018..	23
Figura 4. Déficit hídrico medio estimado para el valle inferior del Río Negro según ETP (Blaney y Criddle, 1962) y precipitaciones.	24
Figura 5. Mapa del Instituto de Desarrollo del Valle Inferior (IDEVI)..	25
Figura 6. Ubicación de los sitios de muestreo para cada situación productiva.	27
Figura 7. Líneas de corte del pan de suelo.	28
Figura 8. Valores de RMP para las distintas situaciones productivas. AH (Alfalfa para heno), MS (Maíz para silo), FP (Festuca para pastoreo directo), RP (Raigrás para pastoreo directo)..	33
Figura 9. Respiración microbiana en las cuatro situaciones productivas. AH (Alfalfa para heno), MS (Maíz para silo), FP (Festuca para pastoreo directo), RP (Raigrás para pastoreo directo)	31
Figura 10. Contenido de carbono orgánico total (COT) para cada situación productiva. AH (Alfalfa para heno), MS (Maíz para silo), FP (Festuca para pastoreo directo), RP (Raigrás para pastoreo directo).....	35
Figura 11. Producción de materia seca para los ciclos 18/19 y 19/20.....	39
Figura 12. Relación entre las variables Materia orgánica (MO) y Nitrógeno total (NT).	37
Figura 13. Curvas de infiltración para las situaciones productivas MS y AH. MS (Maíz para silo), AH (Alfalfa para heno).	42
Figura 14. Curvas de infiltración para las situaciones productivas RP y FP. RP (Raigrás para pastoreo directo), FP (Festuca para pastoreo directo).....	42
Figura 15. Relación entre los niveles de materia orgánica (MO) y densidad aparente (DA).....	42
Figura 16. Relación entre carbono orgánico total (COT) y sus fracciones con el nitrógeno total (NT).	43
Figura 17. Relación entre la conductividad eléctrica (CE) y la respiración microbiana (RM).....	44

Índice de tablas

Tabla 1. Rangos de infiltración básica (Ib) según composición granulométrica del suelo.....	15
Tabla 2. Medias para las variables físicas (L +a, DA, RMP).	30
Tabla3. Medias para las variables físicas (L + a, DA), biológica (RM) y las profundidades de muestreo (0-15 y 15-30 cm).....	30
Tabla 4. Contenido de limo y arcilla (L + a),carbono orgánico total (COT), fracciones lábiles de carbono (F1 y F2) y F3.....	35
Tabla 5. Resultados de medias para limo y arcilla (L + a) y carbono orgánico total (COT) y sus fracciones orgánicas.	35
Tabla 6. Resultados de medias obtenidas para las variables químicas en los distintos manejos.....	38
Tabla 7. Resultados de medias obtenidas para las variables químicas y las profundidades asignadas 0 - 15 cm y 15 – 30 cm.	38
Tabla 8. Matriz de correlaciones entre las variables físicas, químicas y biológicas del suelo.....	45

INTRODUCCIÓN

El suelo es la capa de materiales orgánicos y minerales que cubre la corteza terrestre, formado por sustancias en estado sólido, líquido y gaseoso, en la cual las plantas desarrollan sus raíces y toman los nutrientes que le son necesarios para su crecimiento y desarrollo. La historia de un suelo comienza con la acumulación de materiales rocosos meteorizados y finamente divididos. Luego aparecen los organismos vivos y con ellos se inicia la fase constructiva de los procesos de formación. Así se van diferenciando capas que descansan sobre el material rocoso original y cuyo espesor varía desde pocos milímetros hasta varios metros. Tanto las características como el espesor de los suelos dependen de la intensidad con que actúen los procesos de formación -clima, topografía, vegetación, material parental y el tiempo- (Jenny, 1980), el tiempo que haya durado su acción y la resistencia del material original a sufrir esos cambios (Castro, 1979).

En las últimas décadas, estudios realizados sobre la capacidad productiva de los suelos han puesto de manifiesto la degradación severa, y más del 10% de los suelos cultivados en todo el mundo se vio afectado por erosión, contaminación ambiental, labranza excesiva, sobrepastoreo, tala de árboles, salinización y desertificación (Sanders, 1992). En un mundo que debe enfrentar un incremento exponencial de la población, en el contexto de cambio climático, el mantenimiento de la calidad de los suelos va a ser cada vez más importante (Casas y Albarracín, 2015). Se estima que la población mundial podría llegar a los 9.100 millones de habitantes para el año 2050 (ONU, 2005). Por lo tanto, es importante la evaluación de los suelos para planificar el uso de los recursos naturales, ya que el objetivo es utilizar cada suelo para aquello que presenta mejores características y programar su manejo de manera que se cause la mínima degradación y así, mantener la calidad de los suelos para satisfacer la demanda futura de alimentos.

La calidad del suelo (CS) ha ganado atención en los últimos años debido a problemas ambientales relacionados con la degradación del suelo y la sostenibilidad de la producción bajo diferentes sistemas de cultivo. Este interés se ha centrado en la definición del concepto de CS y en la búsqueda de métodos fiables para la evaluación de esta calidad. La CS se puede definir como la “capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites del ecosistema, sustentar la productividad biológica, mantener la calidad del medio ambiente, y promover la sanidad tanto de plantas como de animales y humanos” (Doran *et al.*, 1996; Karlen *et al.*, 1997).

En base a la compleja naturaleza del sistema-suelo, se pueden distinguir dos tipos de calidad: inherente y dinámica (De la Rosa, 2008).

La calidad inherente del suelo es intrínseca, debida a su composición, es función del material geológico, del material parental y de la topografía, siendo la mineralogía y la distribución del tamaño de partículas, estáticas o de poco cambio. Es el resultado de los factores clima, topografía, organismos, material parental y tiempo (Jenny, 1941), y está gobernada por los procesos formadores de manera que cada suelo tiene una capacidad natural para funcionar (Pierce y Larson, 1993). Puede ser definida por un rango de valores óptimos de propiedades del suelo que reflejan el potencial ideal del mismo para cumplir una función específica (Karlen *et al.*, 1997).

La calidad dinámica es debida a factores extrínsecos, está relacionada con la producción de cultivos, y comprende todas las propiedades que pueden cambiar en respuesta al uso y manejo antrópicos y que están fuertemente influenciadas por las prácticas agronómicas (Pierce y Larson, 1993). Es también llamada “salud del suelo”, y depende de propiedades más sensibles a los cambios que son objeto de estudio en el monitoreo de los suelos (De la Rosa, 2008).

La CS no se puede medir directamente, pero se puede inferir a través de la determinación de indicadores (Bredja *et al.*, 2000), y a través de la comparación de los resultados obtenidos para evaluar las consecuencias de los diferentes sistemas y/o prácticas agronómicas (Karlen *et al.*, 1997; Giuffré *et al.*, 2006).

La palabra “Indicador” proviene del verbo latino “indicare”, que significa revelar, señalar. Así, la evaluación de la calidad consiste en valorar y explicar los cambios sucedidos en el suelo en el espacio y en el tiempo a través de parámetros o indicadores que “revelan” su funcionamiento (Toledo *et al.*, 2015).

Para la evaluación de la calidad dinámica del suelo se utilizan indicadores que son representados por aquellas variables sensibles al deterioro o a la recuperación del suelo. Estos indicadores permiten expresar la condición actual o “estado del recurso” y su tendencia, aportando un carácter dinámico y holístico al considerar sus interrelaciones. Son necesarios para identificar áreas con problemas porque permiten monitorear cambios en la calidad ambiental, relacionados al uso y manejo. La clave es identificar variables físicas, químicas y biológicas que sean sensibles a los cambios en las funciones del suelo. Los indicadores deben ser preferiblemente variables cuantitativas o cualitativas (nominales, de rango u ordinales), especialmente cuando no hay disponibilidad de información cuantitativa, el atributo no es cuantificable o los costos para cuantificar son demasiado elevados. Las principales funciones de los indicadores son: evaluar

condiciones o tendencias y comparar transversalmente sitios o situaciones, con el fin de evaluar metas y objetivos, proveer información preventiva temprana y anticipar condiciones y tendencias futuras (Wilson, 2017).

Dada la naturaleza compleja de los suelos y el número excepcionalmente grande de propiedades que posee y que pueden ser determinadas, es importante seleccionar las variables o indicadores apropiadas según los objetivos del estudio. La materia orgánica (MO) del suelo ha sido ampliamente propuesta como un indicador clave de la CS, especialmente en los suelos agrícolas, ya que posee una influencia significativa sobre la calidad del suelo y su productividad debido a sus efectos sobre otras propiedades físicas, químicas y biológicas (Galantini y Suñer, 2008). Sin embargo, no existe un consenso sobre cuál es su nivel crítico en un suelo agrícola, ni cómo este nivel varía entre los suelos con diferentes clases texturales bajo diferentes condiciones ambientales (Duval, 2015).

La degradación del suelo por pérdidas en el contenido de MO es un claro síntoma de mal uso y/o manejo inapropiado de los sistemas productivos. La MO es una característica relativamente sencilla de medir y al mismo tiempo, se puede caracterizar de muchas maneras diferentes. Gregorich *et al.* (1994) y Bolinder *et al.* (1999) han sugerido que la MO puede ser apropiada para evaluar cambios en CS pero además hay que considerar otra serie de propiedades relacionadas que podrían estar más estrechamente vinculadas con funciones específicas que modifican la CS. Dichos autores sugieren incluir carbono orgánico particulado (COP), fracciones livianas de nitrógeno, carbono y nitrógeno mineralizable, biomasa microbiana, carbohidratos y enzimas del suelo.

Dada la multiplicidad de variables que se han considerado como indicadoras de calidad, los criterios para identificar aquellas que tengan mayor incidencia serán diferentes para los diversos tipos de suelos y usos de la tierra. De este modo, la CS y la evaluación de la sustentabilidad de un sistema de manejo se puede realizar comparando dicho sistema en relación a otros alternativos conducidos al mismo tiempo, evaluando diversas propiedades del suelo y su interacción a fin de establecer los mejores indicadores para cada situación (Larson y Pierce, 1994; Astier-Calderón *et al.*, 2002). Un mejor conocimiento de los procesos involucrados requiere la utilización de herramientas de estadística multivariada, las cuales tienen en cuenta las correlaciones entre numerosos parámetros que son analizados simultáneamente, de tal modo que permite sintetizar e interpretar la información (Quiroga *et al.*, 1998).

Indicadores de calidad de suelo

En nuestro país se han reportado diversos indicadores químicos de la calidad edáfica: materia orgánica (MO) y sus fracciones (Casanovas *et al.*, 1995; Quiroga *et al.*, 2001; Galantini y Suñer, 2008; Andriulo e Irizar, 2012), contenido de fósforo (Cardozo *et al.*, 2006; Heredia, 2008; Carrasco, 2009) y pH (Cantú *et al.*, 2007).

Entre los indicadores físicos de CS evaluados en Argentina y en el mundo, se pueden citar: estabilidad estructural y resistencia mecánica a la penetración (Quiroga, 2008), densidad aparente (Carrasco, 2009), densidad aparente máxima (Quiroga *et al.*, 1999) y fracción erodable (Druille *et al.*, 2013).

En cuanto al aspecto microbiológico, también se han desarrollado algunas técnicas que caracterizan la CS y por ello fueron reportados como indicadores. Tal es el caso de respiración microbiana (Cortés *et al.*, 2006).

Materia orgánica y sus fracciones

El principal constituyente de la materia orgánica (MO) es el carbono (C), que representa entre el 40 y 60% de su contenido total. La mayoría de los métodos analíticos cuantifican el carbono orgánico total (COT), a partir del cuales posible estimar la MO total del suelo utilizando un factor de conversión según el tipo de suelo. La mayoría de los estudios utilizan el contenido de COT para cuantificar las reservas y cambios en la MO. En muchos casos, los cambios resultantes de las prácticas de manejo o usos del suelo no están debidamente reflejados en los valores de COT (Roscoe y Buurman, 2003), principalmente debido a las altas concentraciones y estabilidad del C asociado a la fracción mineral (Lal, 2006).

Las grandes pérdidas de MO del suelo se reflejan en una serie de modificaciones adversas en las propiedades químicas, físicas y biológicas del mismo, tales como la reducción de su capacidad buffer, disminución de la capacidad de intercambio catiónico y la disponibilidad de nutrientes, pobre estructura, reducción de la infiltración de agua, mayor susceptibilidad de los suelos a la compactación y erosión y reducción de la biodiversidad (Montanarella, 2007). La MO se encuentra en compartimentos diferentes que tienen tiempos variables de reciclaje y formas de protección (Duxbury *et al.*, 1989). Estos compartimentos pueden ser arbitrariamente establecidos sobre la base de la localización, composición o el grado de estabilidad de la MO (Baldock y Nelson, 2000).

En las últimas décadas, varias técnicas se han ajustado para separar diferentes fracciones, tratando de identificar las fracciones lábiles y estables, y su ubicación en la estructura del suelo (Galantini y Suñer, 2008). Una de estas técnicas, el

fraccionamiento físico por tamaño de partícula, permite la separación de fracciones lábiles de MO —que se caracterizan por ser un material fácilmente disponible para la descomposición microbiana, por ejemplo, hojas, raíces y restos de animales (Duxbury *et al.*, 1989)—, de la MO asociada a la fracción mineral del suelo (estable) (Cambardella y Elliott, 1992). Estas fracciones se han utilizado en estudios que incluyen el almacenamiento de MO bajo diferentes sistemas de manejo (Bayer *et al.*, 2004).

Se ha hecho hincapié en el uso de estas fracciones como un atributo de CS y su sensibilidad como un indicador de los cambios causados por la agricultura, cuando superficies de vegetación natural se convierten en suelos bajo agricultura (Duval *et al.*, 2016). Vieira *et al.* (2007) demostraron que la MO particulada (MOP) se puede utilizar para determinar el índice que mide la labilidad de la MO. En un estudio de Bayer *et al.* (2004), el CO en la fracción particulada indicó cambios en el manejo, con mayor sensibilidad que el COT.

Distribución granulométrica de partículas

La distribución granulométrica de partículas o textura del suelo indica la proporción de partículas de arena, limo y arcilla que lo constituyen; es una propiedad de gran interés que se relaciona directamente con procesos de degradación y con su potencial de producción (White, 2005). La caracterización de un suelo es esencial para determinar su apropiado manejo y realizar planificación agrícola. Así mismo, la textura influye en otras propiedades tales como la densidad aparente, la porosidad y, por lo consiguiente, en el movimiento y almacenamiento de fluidos (agua y aire) en el suelo (Lacasta *et al.*, 2005).

Densidad aparente

Entre los indicadores físicos que han aportado información sobre la CS, puede mencionarse la densidad aparente (DA), que especifica la relación existente entre el espacio poroso y los componentes sólidos del suelo. Se define como masa por unidad de volumen y se expresa como Mg m^{-3} (Zilio, 2015).

Se han observado aumentos en la DA debidos al pastoreo (Venanzi *et al.*, 2004; Silenzi *et al.*, 2010). Otra de las causas de aumento de la misma es el tránsito de máquinas agrícolas, que afecta a distintas capas de suelo dependiendo del sistema de labranza utilizado (Iglesias *et al.*, 2014).

Para suelos de textura fina, el rango óptimo de DA para la producción agrícola se encuentra entre 0,9 a 1,2 Mg m^{-3} . Valores superiores a 1,2 Mg m^{-3} pueden impedir la elongación de la raíz o reducir la aireación del suelo (Reynolds *et al.*, 2003; Drewry y Paton, 2005).

Resistencia mecánica a la penetración

Se considera que la compactación por tránsito está asociada con un serio deterioro de la estructura de los suelos debido a la pérdida de su porosidad, que lleva a la impedancia mecánica generada por dicha carga (Gerster y Bacigaluppo, 2004). Se sugiere la medición de la resistencia mecánica a la penetración (RMP) como un indicador para determinar el grado de impedancias físicas en el suelo, en razón de que muestra, a partir de un valor determinado, una disminución en los rendimientos de cultivo (Díaz-Zorita, 2004).

En consecuencia, la RMP puede ser un indicador sensible para estudiar los efectos de la descompactación mecánica y de la secuencia de preparación del suelo para cultivo sobre el rendimiento (Gerster *et al.*, 2010). La amplia utilización de este indicador en suelos como un procedimiento para identificar y caracterizar capas densificadas por efectos del laboreo ha llevado a que sus resultados se correlacionen con el crecimiento de las raíces y la productividad de los cultivos (Ehlers *et al.*, 1983), con el contenido hídrico en horizontes (Cerana *et al.*, 2005) con la humedad del suelo y la DA como indicadores de la CS (Díaz *et al.*, 2010).

El valor crítico de RMP que impide la elongación radical de los cultivos es muy discutido, variando entre 0,9 y 3 MPa, aunque en general se asume el valor de 2 MPa (Eavis *et al.*, 1969), dependiendo del penetrómetro utilizado. Según Erksson (1974), existen efectos sobre la vegetación con presiones superiores a 0,2 MPa y limitantes al crecimiento con 0,8 a 5 MPa.

Infiltración básica

El fenómeno de la infiltración, según Hillel (1971), se define como el ingreso vertical de agua al suelo desde su superficie.

Los aportes más comunes de agua al suelo son por lluvias y riegos. El agua inicia su ingreso por los macroporos, desplazándose hacia abajo debido principalmente a gradientes de potencial gravitacional y mátrico, formando un frente húmedo, estableciéndose un flujo no saturado, salvo que el suelo estuviese saturado al comenzar a recibir el aporte de agua. Si continúa el aporte, el agua irá ocupando todo el espacio poroso y su movimiento tenderá a convertirse en un flujo saturado, que ocurrirá cuando toda la porosidad esté ocupada con agua (Génova *et al.*, 2017).

El frente húmedo profundizará dentro del suelo, a una velocidad y distribución gobernados mayoritariamente por características, propiedades y estado del suelo (textura, estructura, porosidad, agrietamiento, laboreo, humedad, cobertura vegetal, MO, etc.), las características del aporte de agua (intensidad de lluvia o aspersión, tamaño de gota, presión hidráulica, etc.) y en general, por los diferentes

tipos y magnitudes de fuerzas que se establecen en el complejo agua–suelo (Génova *et al.*, 2017).

La infiltración básica (I_b) se define como la etapa final del proceso cuando el ingreso de agua en el suelo se hace constante, es decir, aquella etapa en que la pendiente de la curva de velocidad de infiltración es igual o menor a $-0,1$, aumentando así la cercanía a la pendiente asintótica con respecto a la abscisa (Sánchez, 2014).

El modelo más ampliamente utilizado para caracterizar la infiltración es el de Kostiakov (1932), modificado por Lewis (1979), que es:

$$I = k \cdot t^{-n} \quad (1), \text{ donde:}$$

I = velocidad de infiltración, en cm/h.

k = factor numérico adimensional, pero que representa la velocidad de infiltración en cm/h durante el intervalo inicial, se obtiene analítica o gráficamente y es el parámetro del ajuste de los datos de campo al modelo.

n = exponente que varía entre 0 y -1 . Representa la tasa de cambio de la variable dependiente (I) respecto de la variable independiente (t), explicando la disminución de la velocidad de infiltración con el tiempo. Cuando se grafican los datos de campo y se ajustan al modelo, es la pendiente de la curva de ajuste.

t = tiempo de infiltración, en minutos. Una imprecisión del modelo (1) es que al aumentar el tiempo t , el valor de I tiende a cero, lo cual no explica la verdadera tendencia del fenómeno, conocido por abundante experimentación. El USDA modificó la ecuación (1) proponiendo:

$$I = k \cdot t^{-n} + I_b \quad (2), \text{ donde:}$$

I_b = constante de velocidad de infiltración, en cm/h, cuando el tiempo tiende a infinito o cuando las observaciones de campo de la I se realizan durante períodos de tiempo largos, en que la I llega a ser constante en el intervalo de tiempo en que se mide la I . Esta situación se alcanza generalmente cuando el suelo se satura y se produce la denominada infiltración básica o valor final de I , prácticamente constante respecto del tiempo (Génova *et al.*, 2017).

En la tabla 1 se exponen los valores de velocidad de I_b según Yagüe (1998).

Tabla 1. Rangos de infiltración básica (Ib) según composición granulométrica del suelo.

Tipo de suelo	Ib (mm/h)
Arcilloso	<5
Franco – Arcilloso	5 - 10
Franco	10- 20
Franco – Arenoso	20 - 30
Arenoso	>30

Reacción del suelo

La reacción del suelo hace referencia al grado de acidez o basicidad del mismo y se mide por el pH, que expresa la actividad de los iones H⁺, en escala logarítmica.

El pH influye en propiedades físicas y químicas del suelo. A pH muy ácidos, existe una intensa alteración de los minerales y la estructura se vuelve inestable. A pH alcalinos, ocurre dispersión de arcillas, con la consecuente destrucción de la estructura y el deterioro de las condiciones físicas (Porta Casanelas *et al.*, 1999). Desde el punto de vista químico, el pH influye marcadamente en la disponibilidad de nutrientes (Picone, 2005), por lo que resulta determinante en la nutrición vegetal.

Conductividad eléctrica

La salinidad en los suelos es un problema para la agricultura del mundo, siendo el factor que más limita la productividad de los cultivos (Gouia *et al.*, 1994). Las sales tienen efectos adversos sobre las propiedades físicas y químicas, y sobre los procesos microbiológicos del suelo. Los suelos afectados por sales representan cerca del 15% de las tierras áridas y semiáridas del mundo, y además el 40% de las tierras irrigadas (Hoffman *et al.*, 1980).

La salinidad es un ejemplo de degradación de los suelos, que presentan cambios significativos en su comportamiento físico-químico. Es conveniente mencionar que la distribución de las sales en el suelo es heterogénea, debido a que la salinización es un proceso complejo y variable en el espacio y tiempo a diferentes escalas de observación. Considerando lo anterior, el patrón de la variabilidad del contenido de sales cambia en función de la estación del año, aumentando su concentración en la temporada de estiaje, lo cual afecta el estado físico de la superficie del suelo, disminuyendo drásticamente la infiltración (Ruiz *et al.*, 2007).

En suelos sin cobertura vegetal, la formación de una costra superficial que impide la penetración del agua y conserva los horizontes superiores secos promueve el ascenso capilar de la solución salina proveniente de la napa freática. De esta forma y por evaporación, las sales se acumulan en la superficie (Masotta, 1970).

La cantidad de sales solubles del suelo se determina indirectamente en el laboratorio, midiendo la conductividad eléctrica (CE) del extracto de un suelo saturado con agua. La unidad usada para expresar la CE del suelo es decisiemens por metro (dS m^{-1}) o milimhos por centímetro (mmho cm^{-1}). La interpretación de los resultados se basa en la relación entre los valores de conductividad y el rendimiento de las plantas sobre un amplio rango de condiciones de salinidad. Un suelo se clasifica como salino cuando la CE es igual o mayor a 4 dSm^{-1} (Ozcáriz, 2013).

De acuerdo con el informe del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, 1986), las zonas bajo riego afectadas por sales en Argentina totalizan unas 500.000 ha, y aproximadamente 10% de éstas corresponden a suelos que forman parte del Alto Valle de Río Negro y Neuquén. Esta región tiene un clima árido y la producción de los cultivos depende enteramente de la irrigación.

Nitrógeno total

El nitrógeno (N) es un nutriente esencial para los seres vivos, ya que es uno de los constituyentes principales de compuestos vitales como aminoácidos, proteínas, enzimas, nucleoproteínas y ácidos nucleicos, así como también de las paredes celulares y clorofila en los vegetales.

En la naturaleza existen dos fuentes principales de reserva de N para las plantas. La mayor es la atmósfera, en la cual el 78% del aire es N. Éste se encuentra en forma molecular (N_2), aunque también existen otras formas gaseosas de N de mucha menor importancia cuantitativa: óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (NO_2) y amoníaco (NH_3). Se estima que por encima de una hectárea de suelo hay aproximadamente 300.000 toneladas de N (Stevenson, 1982). El aire del suelo tiene normalmente una composición similar a la atmósfera, aunque ocasionalmente puede estar más enriquecido en alguna de las otras formas gaseosas, como N_2O o NH_3 , debido a la acción de procesos químicos o microbiológicos.

La otra reserva importante de N es la MO del suelo. Del total del N que hay en el suelo, aproximadamente el 98% se encuentra formando compuestos orgánicos. Del contenido de MO, los primeros 20 centímetros de profundidad de un suelo pueden contener entre 1.000 y 10.000 kg ha^{-1} de N.

El N presente en el suelo bajo formas orgánicas (proteínas, aminoácidos y azúcares aminados) no está disponible como tal para las plantas, sino que para ser absorbido tiene que pasar a formas inorgánicas. Esta transformación es llevada a cabo por los microorganismos que habitan el suelo, principalmente bacterias y hongos, los cuales liberan el exceso de N en forma de amoníaco o ión

amonio (NH_4^+), que por oxidación es transformado en nitrito (NO_2^-) y luego en nitrato (NO_3^-). Éstas son las formas en que el N es absorbido por las plantas, por lo que el N inorgánico es muy importante para la nutrición vegetal.

El N inorgánico representa un 2% del N total del suelo. La forma inorgánica es transitoria en el suelo, por lo cual sus cantidades son extremadamente variables, pudiendo existir desde unos pocos gramos hasta más de 100 kg ha^{-1} de N.

Fósforo

En general, las principales funciones del fósforo (P) se relacionan con la transferencia y el almacenaje de energía, de forma que su deficiencia suele afectar en mayor medida el crecimiento más que la fotosíntesis (Marschner, 1995). El P disponible representa una pequeña fracción del P total presente en el suelo y se encuentra en un equilibrio dinámico entre sus formas orgánicas e inorgánicas (Galantini *et al.*, 2005). El análisis más utilizado para estimarlo es el método de Bray y Kurtz (1945), en el cual se emplea un extractante que simula la acción de la planta sobre la solución del suelo. Es un método efectivo para suelos de reacción neutra y ácida, pero presenta dificultades en suelos con pH mayores, por lo que en esos casos suele reemplazarse por la técnica de Olsen (1954).

La movilización de las formas menos disponibles hacia la solución del suelo es muy lenta y depende de las características físico-químicas del suelo, el contenido de las diferentes formas de P y los mecanismos biológicos (Tiessen *et al.*, 1994). En cuanto al efecto de las actividades agropecuarias, numerosos trabajos demuestran pérdidas de P en distintas zonas del país y bajo distintos manejos agronómicos (García, 2001; Carrasco, 2009; Duval *et al.*, 2013).

El P soluble es la forma aprovechable para las plantas en forma inmediata. Las formas solubles de P en el suelo son los fosfatos diácidos (H_2PO_4^-) y monoácidos (HPO_4^-). La concentración de los iones fosfatos en solución está relacionada con el pH de la misma (Fig. 1).

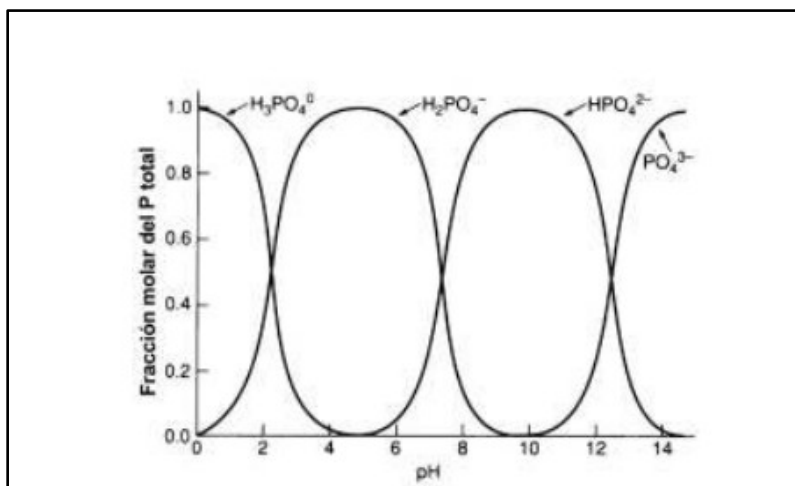


Figura 1. Formas químicas del fósforo (P) en los suelos en función de pH. **Fuente:** Tisdale, 1993.

Para el P lábil o adsorbido, su disponibilidad es más lenta que la anterior. A pH ácidos aumentan las cargas positivas de los coloides y, por ende, aumenta la adsorción. Este P lábil puede estar adsorbido directamente por los bordes de las arcillas (cuando éstas tienen cargas positivas como la caolinita a bajos valores de pH), o por uniones que usan al calcio como puente (en las arcillas de tipo 2:1). También puede estar adsorbido por los óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, que tienen un poder de fijación mucho mayor que el de las arcillas (Ron, 1987; 2005).

Respiración microbiana

Los indicadores biológicos de la CS proveen información sobre los organismos vivos del suelo, y miden propiedades y procesos que permiten detectar, con la mayor sensibilidad, los cambios en las funciones del suelo. Miden propiedades del suelo dinámicas, es decir, aquellas que están más sujetas a cambios debido a la actividad del hombre y son fuertemente afectadas por las prácticas agronómicas. Se considera importante monitorearlos porque estos indicadores biológicos responden más rápidamente a cambios en el manejo o en las condiciones ambientales que los indicadores físicos y químicos (Wilson, 2017).

La mineralización de la MO del suelo es controlada principalmente por el tamaño y la actividad de la biomasa microbiana que puede responder a los disturbios en una escala de tiempo menor. Los parámetros biológicos y bioquímicos tienden a reaccionar de manera más rápida y sensible a los cambios producidos por el manejo, por lo tanto podrían constituir una señal temprana y sensible y ser de utilidad para estimar la calidad edáfica, incluso antes que las propiedades físicas y químicas (Nannipieri, 1994).

La respiración microbiana (RM) es la producción y liberación de dióxido de carbono (CO₂) como resultado de la actividad biológica en el suelo. Los sistemas de manejo pueden ocasionar alteraciones en la tasa de liberación de CO₂, ya que pueden modificar las entradas de agua y MO, y a la biomasa microbiana y su actividad (Babujia *et al.*, 2012).

Descripción de los suelos del sitio de estudio e importancia del presente trabajo para la producción lechera

En la apreciación de la formación y evolución de los suelos del valle inferior del río Negro (VIRN), se considera separadamente los suelos desarrollados sobre materiales coluviales, provenientes de la meseta patagónica, y los suelos desarrollados sobre sedimentos fluvioacustres, pertenecientes a la llanura fluvioaluvional del valle del río Negro (Masota, 1970).

Los suelos desarrollados en la primera formación corresponden al orden Aridisoles caracterizados por suelos grises, de textura gruesa, franco arenosa o textura media franco limosa con poca MO, horizontes subsuperficiales muy ricos en calcáreo, con escasos rodados en todo el perfil, hasta paliar a una capa de rodado abundante, cementado por material calcáreo y mezclado con proporciones variables de arena gruesa (Masota, 1977).

En la llanura fluvioaluvional, los suelos pueden ubicarse como pertenecientes a los órdenes Entisoles, Vertisoles y Aridisoles. En los suelos desarrollados sobre materiales aluvionales, el proceso de formación está influenciado en profundidad por las condiciones de humedad, fundamentalmente de la humedad proveniente de las aguas freáticas; un fenómeno indicador de esto es la presencia a una cierta profundidad que oscila entre 80 y 100 cm de moteados ferruginosos o concreciones ferruginosas o material gleizado que indica la fluctuación de la napa freática (Masota, 1977).

Los suelos del VIRN fueron clasificados según la formación geomorfológica de cada uno, en donde se establecieron seis grupos y catorce series que sirvieron de unidades de mapeo. También fueron clasificados según su aptitud para riego. Para tal fin, se tomaron en consideración las características del perfil del suelo, la topografía y el drenaje. Se consideraron cinco clases: 2, 3, 4, 5 y 6, en que la salinidad y la alcalinidad constituyen el factor limitativo de las clases 4 y 5 (FAO, 1966).

La explotación Rangitata está ubicada en el VIRN. Su actividad es la producción de leche bajo un sistema pastoril. La base de este sistema es la parición concentrada a fines de invierno y principios de primavera, con el fin de hacer

coincidir al máximo posible la tasa de requerimientos del rodeo con la de crecimiento del pasto. Así, las vacas se encuentran en el pico de lactancia en pleno octubre, mientras que todas están secas durante el periodo de menor tasa de crecimiento del pasto en invierno. La utilización de suplemento es relativamente baja (10 – 20% anual).

Por lo tanto, es de suma importancia en este tipo de sistemas hacer una evaluación de la CS, poder relevar posibles cambios a mediano y corto plazo, para incrementar la producción de materia seca del forraje y no generar degradación del recurso.

OBJETIVOS

Objetivo general

Estudiar y validar indicadores como parámetros de calidad de los suelos en lotes con diferentes usos y manejos productivos en un establecimiento dedicado a la producción lechera bajo riego.

Objetivos específicos

- Caracterizar el sistema de producción de la explotación y evaluar la calidad de los suelos por medio de indicadores físicos, químicos y biológicos.
- Establecer las variables que tienen mayor impacto sobre la productividad de los suelos.
- Proponer diferentes alternativas de manejo para optimizar la calidad de los suelos de la explotación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del sitio experimental

El sitio de estudio está ubicado en la parte Este de la Patagonia septentrional, dentro del VIRN, Argentina. Se trata de una larga planicie fluvio-aluvial que se extiende por unos 100 km en la margen derecha del río, desde la Primera Angostura hasta la desembocadura en el océano Atlántico (Rosso, 2012). El estudio se realizó en una explotación dedicada a la producción láctea, que basa su sistema productivo en la transformación de forrajes producidos bajo riego a leche. La misma se encuentra en el km 1012 de la ruta nacional N° 3, a 50 km de la ciudad de Viedma (Fig. 2).



Figura 2. Localización geográfica del VIRN y sitio de estudio: Explotación “Rangitata”. **Fuente:** Google Earth -Elaboración propia, 2021.

Caracterización agroclimática de la región del valle inferior del río Negro

El VIRN, ubicado a $40^{\circ} 48'$ de latitud Sur y $63^{\circ} 05'$ de longitud Oeste, se extiende de Oeste a Este siguiendo la margen sur del río Negro hasta su desembocadura en el Océano Atlántico. Su encajonamiento entre dos mesetas de 25 a 35 m de altura explica muchas de las diferencias climáticas existentes con la vecina localidad de Patagones, ubicada sobre la cuchilla Norte (Martín, 2009).

Topográficamente, el VIRN es una llanura con suave pendiente hacia el mar y una altitud media de 4 msnm, con algunas depresiones que no sobrepasan los 2 m. La mayor de ellas, el Bajo del Juncal que se extiende desde San Javier hasta el Sur de Viedma (aproximadamente 40 km), se anegaba con las crecidas del río antes de la construcción de las primeras obras de defensa realizadas en 1940. El río y el

mar actúan moderando los valores térmicos de la Región. Las temperaturas pueden ser de hasta 3°C menores cerca de la cuchilla Sur que en la costa del río, distantes unos 8 km entre sí, y esta diferencia se hace más marcada desde la costa marítima hacia el sector continental.

El clima del VIRN se clasifica, según Thorntwaite (1948) y Burgos y Vidal (1951), como semiárido mesotermal, con nulo exceso de agua y baja concentración térmica estival. Papadakis (1960), por su parte, lo clasifica como “peripampeano semiárido casi marítimo”.

La precipitación media anual (PMA) es de 394,2 mm, con una distribución casi homogénea a lo largo del año, lo que determina la imposibilidad de realizar cultivos primavera-otoñales sin el aporte suplementario de riego. Las temperaturas en su conjunto son apropiadas para el desarrollo de una amplia gama de cultivos subtropicales, siempre que se tengan en consideración las características propias que adopta este parámetro en el VIRN (Martín, 2009).

Según registros de la estación agrometeorológica de la Estación Experimental Agropecuaria Valle Inferior (EEAVI) en una serie de 53 años, el valle presenta una temperatura media anual (TMA) de 14,1 °C, la temperatura máxima media anual es de 20,9 °C, registrándose en los meses de enero, febrero y diciembre las temperaturas medias máximas más elevadas. La temperatura mínima media anual es de 7,9 °C, ubicándose en los meses de junio, julio y agosto los valores más bajos del año (Fig. 3). El promedio de días libres de heladas meteorológicas es de 199 días, con fecha media de primera helada correspondiente al 1° de mayo, y la fecha media de la última al 13 de octubre.

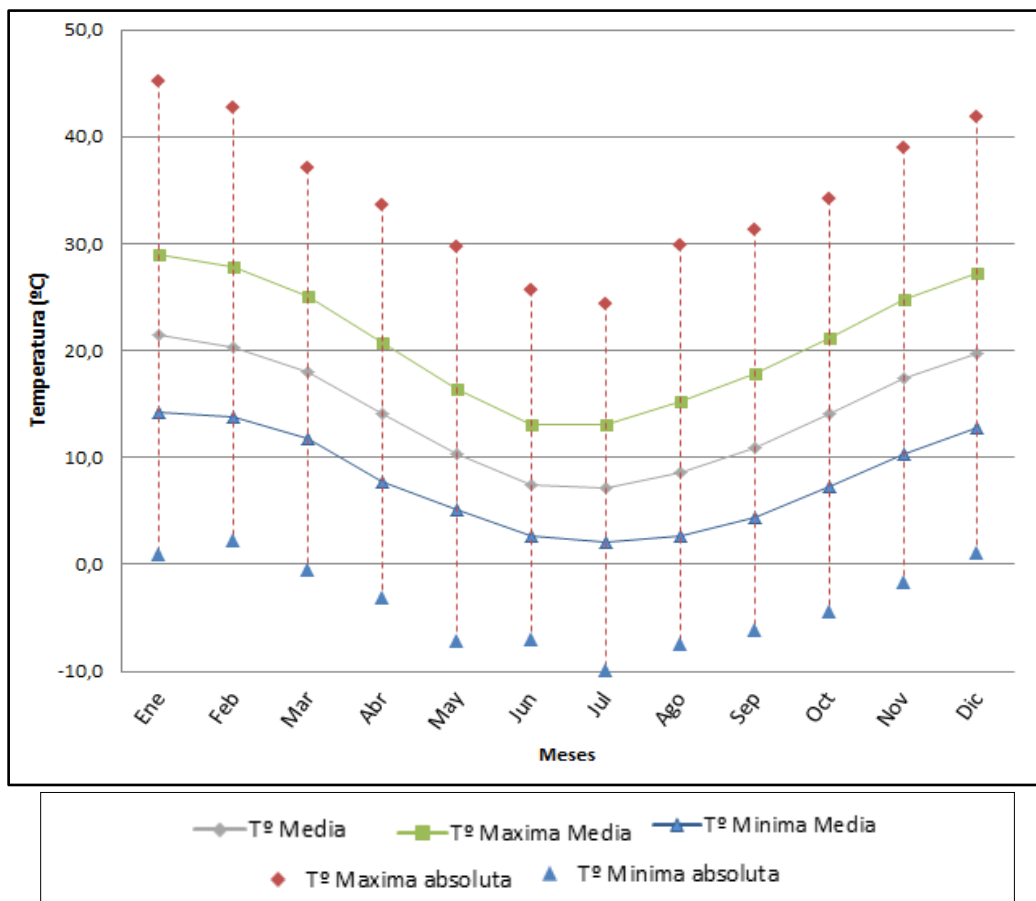


Figura 3. Temperaturas medias mensuales serie 1965-2018. **Fuente:** Elaboración propia en base a datos de la EEA del VIRN, 2021.

Según los registros en la misma serie de años, la PMA es de 395,5 mm, con variaciones interanuales entre 196 mm y 697 mm. El régimen de precipitaciones es primavera-estival, concentrándose aquí el 65% de las lluvias. Sin embargo, la distribución no es homogénea, ya que en los meses de diciembre y enero las mismas no superan los 65 mm.

La evapotranspiración (ETP) anual calculada según las fórmulas sugeridas por Thornthwaite (1948) y Blaney-Cridde (1962) es de 1047,5 mm en promedio. El déficit hídrico o necesidad de riego según la ETP calculada y las precipitaciones es de unos 650 mm anuales (Fig. 4). Las precipitaciones no cubren las necesidades hídricas de los cultivos en ninguno de los meses del año, acentuándose el déficit en el periodo estival.

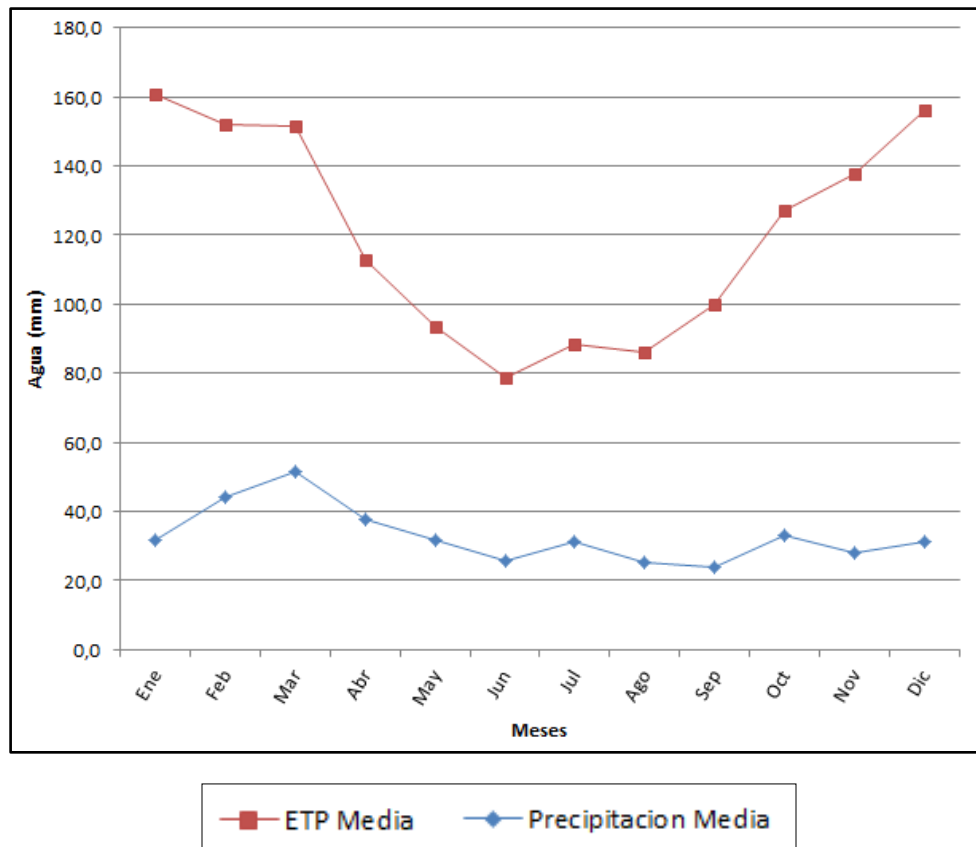


Figura 4. Déficit hídrico medio estimado para el VIRN según ETP (Blaney y Criddle, 1962) y precipitaciones. **Fuente:** Elaboración propia en base a datos de la EEA del VIRN, 2021.

Suelos y topografía

En el presente trabajo se realizó la evaluación de la calidad del suelo con un set mínimo de indicadores, en las series Barda (05.3) y Terraza (14.2), subzonas K y L, tercer etapa del Instituto de Desarrollo del Valle Inferior (IDEVI) (Fig. 5).

Caracterización de las series en donde se encuentra el sitio de estudio:

Serie Barda (05.3): Se caracteriza por tener textura arenosa con escasa MO y color pardo grisáceo. El horizonte A de pequeño espesor, es de textura arenosa o franco arenosa suelta. El horizonte B₂ es poco evidente, presentando la mayor parte de los perfiles estructura prismática, gruesa y débil. Son suelos moderadamente profundos y se han desarrollado sobre materiales de arena y calcáreo, bien drenados.

Manejo y aptitud: Suelos restringidos para plantas de raíces profundas y muy sensibles al calcáreo, que se encuentra acumulado en los horizontes inferiores. Son aptos para todos los cultivos de raíces no muy exigentes en profundidad.

Salinidad y alcalinidad: La distribución en el área de la salinidad y alcalinidad es irregular, constituyendo complejos de suelos difíciles de ser mapeados. A través del perfil, los primeros 30 a 40 cm se encuentran prácticamente libres de sales, en los suelos normales. El calcáreo o el yeso están siempre en cantidades apreciables, que van aumentando con la profundidad. La textura, permeabilidad y presencia de calcáreo favorecen la recuperación de las áreas afectadas por salinidad y sodio (Masotta, 1970).

Serie Terraza (14.2): En general son suelos profundos, la grava fina y media es abundante, se encuentra por debajo de los 100 cm. Con alta capacidad de retención de humedad y drenaje muy lento, sobre todo como consecuencia de la presencia de costras vesiculares impermeables en superficie. Responden comúnmente a una secuencia de horizontes: A- B_{2t}- B₃Ca. Suelen presentar zonas enriquecidas en carbonato de calcio a partir de los 25-40 cm de profundidad. Las texturas dominantes son las finas, arcillosas, arcillo-limosas y moderadamente finas, franco arcillosas y franco arcillo-limosas, pudiendo presentar alguna capa de textura más liviana en el sustrato profundo. La reacción del suelo es neutra en los horizontes superficiales y moderadamente alcalina en el resto del perfil. Suelen observarse fuertes problemas por exceso de sales solubles, que en combinación con la presencia de sodio intercambiable desencadenan casos extremos de CE y de PSI, con valores superiores a 25 dS m⁻¹ y 50%, respectivamente (Masotta, 1970).

Desde el punto de vista de la fertilidad, el horizonte superficial está poco provisto de MO y de NT, pero bien provistos de P (Plunkett, 1984).

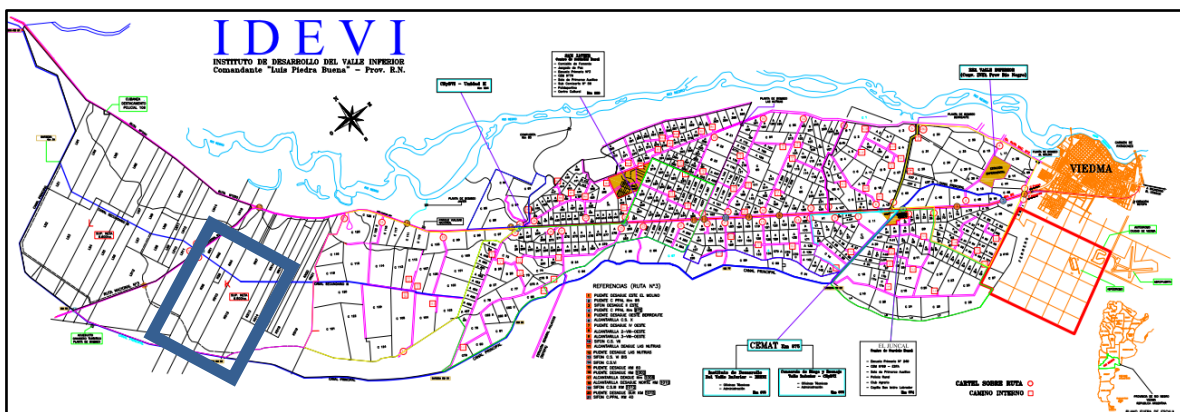


Figura 5. Mapa del Instituto de Desarrollo del Valle Inferior (IDEVI). El rectángulo azul delimita la zona del presente estudio. **Fuente:** EEI del VIRN, 2021.

De acuerdo a los aspectos fisiográficos, los suelos del VIRN pueden dividirse en dos grandes grupos: suelos de aluvión y suelos de terraza. Los primeros se desarrollaron sobre la planicie aluvial del valle y son los que ocupan la mayor parte del área; los segundos se desarrollaron sobre una antigua terraza y los faldeos de la barda del VIRN, ocupando un área reducida (Masotta, 1970; Masotta y Lavado, 1974).

Las pendientes, en general, tanto en sentido longitudinal como transversal al río Negro son prácticamente nulas. Su elevación media oscila alrededor de los 4 msnm. Las cotas más altas del terreno, entre 5 y 6 m, corresponden a lomadas que en forma de cordones se distribuyen por toda la superficie del VIRN, pero con de prevalencia en el sector norte (Reinoso, 2014).

Sitios de estudio

Los sitios de estudio que se han considerado para el siguiente trabajo profesional son:

- Lotes con Maíz (*Zea mays*): cultivo anual de crecimiento estival, perteneciente a la familia de las Poaceas o Gramíneas y al orden de las Poales. Puede ser utilizado como cereal o recurso forrajero. La historia del lote es maíz sobre maíz para silo, bajo siembra directa. En la explotación es utilizado como recurso forrajero, dejando bajo contenido de rastrojo.
- Lotes con Alfalfa (*Medicago sativa*): cultivo perenne de crecimiento primavera-estivo-otoñal, perteneciente a la familia de las Fabaceas y al orden Fabales. Es una especie forrajera, puede ser destinada a pastoreo directo o diferido en forma de heno, empaquetada como mega-fardo o fardo. El muestreo se realizó en una pastura de alfalfa con cinco años de edad destinada para el consumo diferido en forma de heno.
- Lotes con Raigrás (*Lolium perenne*): cultivo perenne de crecimiento otoño-invierno-primaveral perteneciente a la familia de las Poaceas o gramíneas y al orden Poales. Es una especie forrajera, en la explotación es destinada al pastoreo directo. Las muestras se tomaron en una pastura de raigrás de cinco años.
- Lotes con Festuca (*Festuca arundinacea*): gramínea perenne de crecimiento otoño-invierno-primaveral perteneciente al orden Poales. Es una especie forrajera, en la explotación es destinada al pastoreo directo. Las muestras se tomaron en una pastura de festuca de cinco años de edad.

Muestreo

En cada una de las situaciones productivas: Maíz para silo (MS), Alfalfa para heno (AH), Raigrás para pastoreo directo (RP) y Festuca para pastoreo directo (FP) se asignaron tres puntos de caracterización con una distribución de 5 a 7 ha entre cada punto (Fig.6). Los puntos seleccionados en cada situación productiva fueron georreferenciados con GPS.



Figura 6. Ubicación de los sitios de muestreo para cada situación productiva.
Fuente: Google Earth - Elaboración propia, 2021.

Para el muestreo de suelo fueron consideradas dos profundidades, respetando las líneas de corte del pan de suelo (Fig. 7): de 0-15 y de 15-30 cm, colectando un total de seis muestras por cada situación productiva. Seguidamente, todas las muestras fueron llevadas al laboratorio, secadas al aire y pasadas por un tamiz de 2 mm de malla para su posterior análisis.

También se tomaron tres muestras de suelo sin disturbar hasta los 20 cm de profundidad con cilindros de 5 cm de altura y 4,7 cm de diámetro para el cálculo de la densidad aparente (DA). Para la determinación de la resistencia mecánica a la penetración (RMP), al igual que para la DA, se tomaron datos de tres repeticiones por punto en cada situación hasta una profundidad de 30 cm.

Las muestras y registros de campo fueron tomadas por única vez, y todas en la misma época del año (octubre de 2019).

Línea de corte



Figura 7. Líneas de corte del pan de suelo. **Fuente:** Elaboración propia, 2019.

A continuación se presentan los indicadores considerados en el presente estudio para evaluar la variación en calidad de los suelos:

Indicadores evaluados y sus respectivas metodologías.

Indicadores	Variable	Metodología
Físicos	Distribución granulométrica de partículas.	Hidrómetro de Bouyoucos (Bouyoucos, 1962).
	Densidad aparente.	Cilindro de bordes cortantes (Blake y Hartge, 1986).
	Resistencia mecánica a la penetración.	Penetrómetro de impacto (Rangeon <i>et al.</i> , 2008).
	Infiltración básica.	Permeámetro de disco (Gil, 2006)
Químicos	Carbono orgánico total.	Combustion húmeda (Walkley y Black, 1934).
	Carbono orgánico fácilmente oxidable.	Método modificado de Combustión húmeda (Chan <i>et al.</i> , 2001).
	Conductividad eléctrica.	Extracto de pasta saturada de suelo (Inalbon y Valenzuela, 2005).
	Reaccion del suelo (pH).	Extracto de pasta saturada de suelo (Inalbon y Valenzuela, 2005).
Biológicos	Nitrógeno total.	Semi-microKjeldahl (Bremmer y Mulvaney, 1982).
	Fósforo disponible.	Fósforo disponible (Bray y Kurtz, 1945; Olsen 1954)
	Respiración microbiana.	Paoloni Gómez (2017).

Análisis estadístico

Se llevó a cabo una comparación mediante análisis de la varianza (ANOVA) y test LSD Fisher (5%) de la variación en los indicadores físicos, químicos y biológico del suelo con respecto al uso y manejo productivo como variables de clasificación.

Para hallar asociación entre las variables edáficas se aplicó un análisis de correlación de Pearson con un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

Los resultados serán presentados mediante tablas y figuras ilustrativas haciendo uso del software estadístico Infostat versión 2020 (Di Rienzo et al., 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición granulométrica

La fracción mineral más fina de los suelos limo y arcilla (L+a) no presentó variación entre los distintos recursos forrajeros analizados, así como tampoco para los diferentes estratos de profundidad (Tablas 2 y 3). En promedio, la composición mineral del suelo estuvo constituida por un 26,1% de L+a, lo que indica una marcada presencia de la fracción arena. La composición granulométrica de los suelos analizados puede deberse a que en el valle inferior del río Negro parte de los suelos fueron originados por formaciones geológicas y geomorfológicas de depósitos coluviales (conos y depósitos coluviales asociados). Estos sedimentos provenientes de la Meseta Patagónica están compuestos principalmente por arena, limos y rodados revestidos de calcáreo (Loeppert, 1988). A su vez, la presencia calcáreo se correspondería con los valores de pH (7,5 – 8,5) obtenidos en las muestras tal como se observa en la tabla 6.

Densidad aparente

En todos los sitios y profundidades analizadas, la DA no sería una limitante para el crecimiento radicular de los cultivos si se toman como referencia los límites críticos obtenidos por Griffith *et al.* (1986). Estos corresponden a valores de 1,75 a 1,80 Mg m^{-3} para suelos arenosos y de 1,40 a 1,50 Mg m^{-3} para arcillosos. Estadísticamente, no se observaron diferencias significativas en la densificación de los suelos, aunque en los lotes con RP y MS se registraron los mayores valores de DA comparados con el resto de los usos y manejos productivos. En promedio para RP y MS la DA alcanzó 1,37 Mg m^{-3} contra 1,07 Mg m^{-3} para FP y AH. Esta diferencia, según Hamza y Anderson (2005), podría deberse a que existe una relación entre el incremento de la DA en la capa superficial en los sistemas bajo siembra directa debido a la mayor intensidad de tránsito de maquinaria en operaciones de siembra y menor roturación. Por otra parte, Reynolds *et al.* (2002) y Ferreras *et al.* (2007), hallaron que al aumentar la DA disminuía la proporción de

COT en los suelos. Por lo tanto, los mayores valores de DA observados en MS pueden atribuirse a una combinación de efectos por menor contenido de COT (Tabla 4) y compactación por tránsito de maquinaria.

En el caso de la RP, se observó que al aumentar la DA aumentó el contenido de COT. Estos resultados no coinciden con los obtenidos por Reynolds *et al.* (2002) y Ferreras *et al.* (2007).

Según lo expuesto por Greenwood *et al.* (2001), el pisoteo animal provocado por pastoreo directo podría generar una compactación del perfil del suelo aumentando los valores de DA. Esto explicaría los valores de DA obtenidos en la situación productiva RP del presente estudio.

Tabla 2. Medias para las variables físicas (L+a, DA, RMP) evaluadas en las diferentes situaciones productivas.

Usos	L+a (%)	DA (Mg m ³)	RMP (MPa)
AH	25,0 a	1,15 a	2,6 a
MS	25,1 a	1,34 a	1,9 b
FP	26,5 a	0,99 a	2,1 ab
RP	28,0 a	1,41 a	2,2 ab

Letras diferentes para cada parámetro analizado indican diferencias estadísticamente significativas entre las situaciones productivas ($p < 0,05$). AH (Alfalfa para heno), MS (Maíz para silo), FP (Festuca para pastoreo directo), RP (Raigrás para pastoreo directo). L + a, limo y arcilla; DA, densidad aparente; RMP, resistencia mecánica a la penetración.

Tabla 3. Medias para las variables (L+a, DA y RM) según las profundidades de muestreo estudiadas.

Estrato	L+a	DA	RM
1	25,5 a	1,20 a	322,3 a
2	26,7 a	1,51 a	745,1 a

Letras diferentes para cada parámetro analizado indican diferencias estadísticamente significativas entre las situaciones productivas ($p < 0,05$). Estrato 1 de 0-15 cm y estrato 2 de 15-30 cm. L + a, limo y arcilla; DA, densidad aparente; RM, respiración microbiana.

Resistencia mecánica a la penetración

La RMP presentó diferencias ($p < 0,05$) para los lotes con AH y MS (Tabla 2). Este efecto podría atribuirse al manejo realizado en estos lotes, siendo destinados al pastoreo directo y henificación. El mayor efecto de la compactación se registró a

nivel superficial en todas las situaciones productivas (Fig. 8). Los valores registrados podrían tener distintos orígenes: en lotes con MS y AH la densificación podría estar asociada al tránsito de la maquinaria agrícola utilizada, y en lotes con FP y RP al pisoteo animal. Bowen *et al.* (1994) indican valores críticos entre 0,9 y 1,5 MPa para impedir el crecimiento óptimo de las raíces, mientras que Threadgill (1982), valores superiores a 1,5 MPa, y por encima de 2,5 MPa el crecimiento de raíces podría detenerse. Los valores registrados en todas las situaciones productivas analizadas fueron menores a los indicados por Threadgill (1982). Sin embargo, si se comparan con los valores señalados por Bowen *et al.* (1994), todos los lotes presentarían cierto grado de RMP (Tabla 2).

Los mayores efectos del tráfico de maquinarias sobre la RMP, se dieron en el estrato superficial en MS y en el subsuperficial en los lotes con AH (Fig. 8), restringiendo el normal desarrollo radicular, según los valores de RMP indicados por Threadgill (1982). En lotes con RP y FP, a causa del pisoteo animal, se estaría provocando una densificación en superficie (0-10 cm) alcanzando valores mayores a 2 MPa (Fig. 8). Esto coincide con lo reportado por Greenwood *et al.* (2001), quienes registraron aumentos en la RMP debido al pastoreo, dependiendo de la carga animal y duración del pastoreo. Este efecto es más severo en aquellos lugares donde el pisoteo se realiza con mayor repetición (Donkor *et al.*, 2002), por ejemplo en caminos y sitios de descanso, y en suelos húmedos, donde el agua actúa como lubricante favoreciendo el empaquetado entre las partículas minerales del suelo (Aliev, 2001).

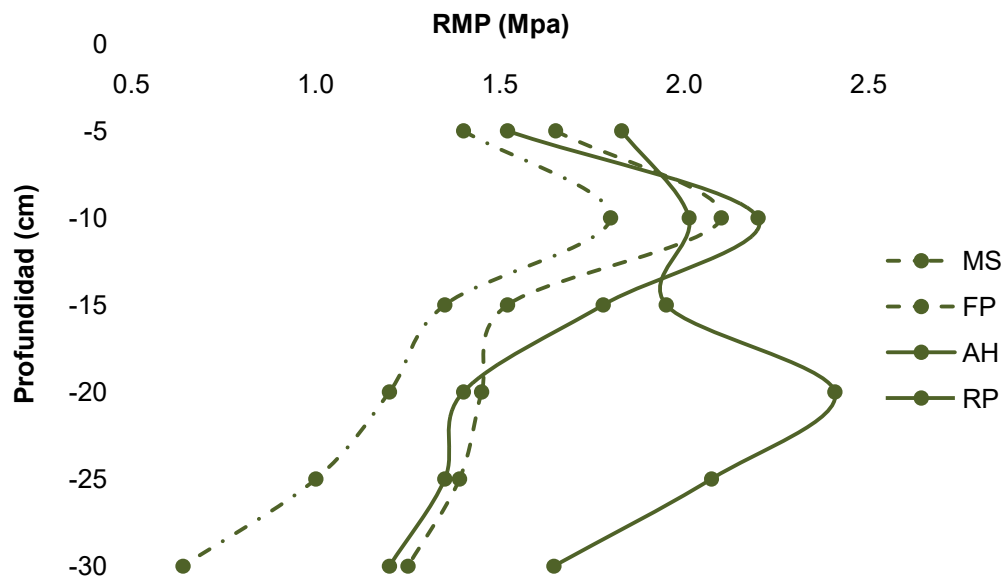


Figura 8. Valores de resistencia mecánica a la penetración (RMP) para las distintas situaciones productivas. AH (Alfalfa para heno), MS (Maíz para silo), FP (Festuca para pastoreo directo), RP (Raigrás para pastoreo directo).

Respiración microbiana

La respiración microbiana (RM) presentó diferencias ($p < 0,05$) para los usos con destino a pastoreo directo en comparación con el lote destinado a la henificación, como así también un mayor desprendimiento de CO_2 para los usos con pasturas perennes con respecto al lote MS. Glover *et al.* (2010), hallaron en sistemas con pasturas perennes mayores contenidos de C en raíces, mayor longitud radical y mayores niveles de C y N en profundidad, con respecto a cultivos anuales. Bardgett *et al.* (2001), encontraron en sistemas pastoreados mayor biomasa y actividad microbiana con respecto a los no pastoreados, y como consecuencia un incremento en la recirculación de nutrientes. En concordancia, Oates *et al.* (2012) aluden que el animal estimula la descomposición de mantillo, y por ende, el suministro de nutrientes para la biomasa microbiana; este efecto se debe, en parte, a la cantidad y calidad de los residuos incorporados al suelo, al incremento de los exudados radiculares en pastoreo y al mayor ingreso de nutrientes vía excretas. Los resultados obtenidos en el presente estudio podrían deberse a lo expresado anteriormente, como así también a la época del año en la que se realizó el muestreo (primavera), ya que en el lote de MS todo el material orgánico estaba inactivo y, tal como mencionan Gosz y Fisher (1984) citados por Tisdall (1996), las raíces vivas liberan mucho material orgánico activo dentro de la rizósfera. Por otro lado, el lote con MS presentaba un material orgánico más estable, de mayor relación C:N, que reduciría su tasa de transformación y liberación de CO_2 producto de la actividad microbiana ya que existe una menor cantidad de material de fácil descomposición comparado a los lotes con pasturas permanentes (Fig. 9), coincidiendo esto con los resultados obtenidos por Ayuso *et al.* (1996).

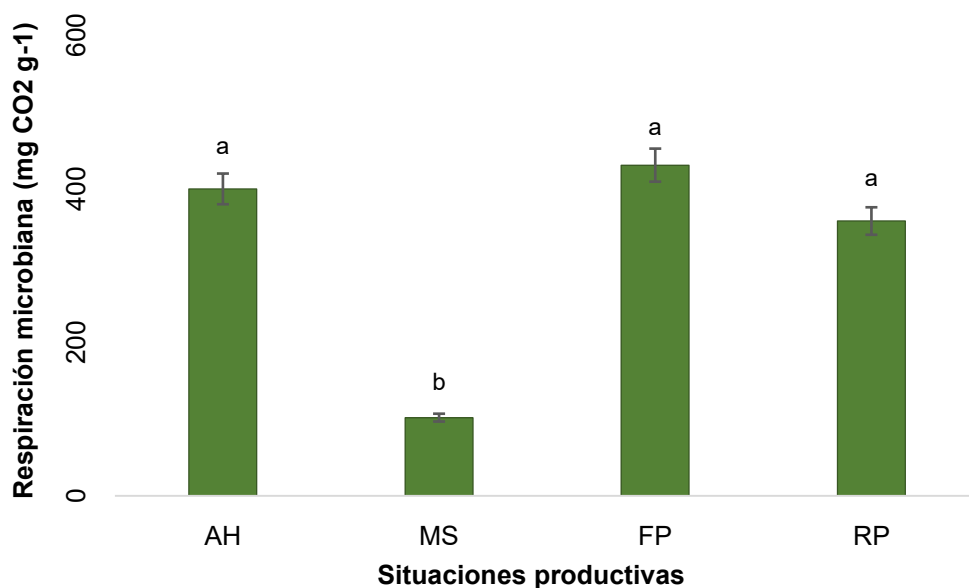


Figura 9. RM en las cuatro situaciones productivas. AH (Alfalfa para heno), MS (Maíz para silo), FP (Festuca para pastoreo directo), RP (Raigrás para pastoreo directo).

Carbono Orgánico Total

Los lotes con RP presentaron, en promedio, un 72% más COT que los usos AH y MS, mientras que FP no se diferenció en el contenido de COT con otros usos y manejos productivos (Fig. 10). Las pasturas a base de gramíneas (RP y FP) aportan una importante cantidad de rastrojo con alta relación C:N incrementando el contenidos de COT (Tabla 4).

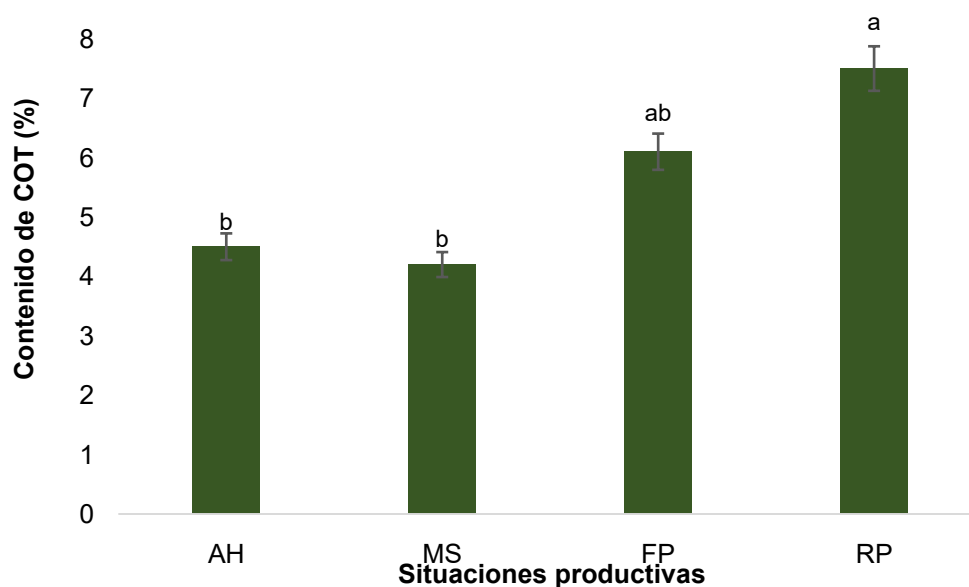


Figura 10. Contenido de COT en cada situación productiva. AH (Alfalfa para heno), MS (Maíz para silo), FP (Festuca para pastoreo directo), RP (Raigrás para pastoreo directo).

Tabla 4. Contenido de limo y arcilla (L + a), carbono orgánico total (COT), fracción fácilmente oxidable de carbono orgánico (F1 y F2) y fracción recalcitrante de carbono orgánico (F3).

Usos	L + a	COT (%)	F1+F2 (%)	F3 (%)
AH	25,0 a	4,5 b	82,5 b	17,5b
MS	25,1 a	4,2 b	66,3 ab	33,7 ab
FP	26,5 a	6,1 ab	54,7 a	45,3 a
RP	28,0 a	7,5 a	73,1 ab	26,9 ab

Letras diferentes para cada parámetro analizado indican diferencias estadísticamente significativas entre las situaciones productivas ($p < 0,05$). AH (Alfalfa para heno), MS (Maíz para silo), FP (Festuca para pastoreo directo), RP (Raigrás para pastoreo directo). L + a, limo y arcilla; COT, carbono orgánico total; F1 + F2, fracción de carbono lábil; F3, fracción de carbono menos lábil.

La pastura a base de leguminosas (AH) aportaría un menor volumen de residuos, con una menor relación C:N, de rápida descomposición, generando menores niveles de COT en comparación con las gramíneas. En este sentido, diferentes especies de cultivos producen residuos de diversa calidad, que pueden influir en el contenido de COT y de otros nutrientes (Martens, 2000). Las especies de cultivos que producen residuos de menor calidad (alta relación C:N), como las gramíneas, pueden contribuir a un mayor secuestro de C en relación a las leguminosas (baja C:N) (Wright y Hons, 2005).

El monocultivo practicado en el lote MS, ha dejado una baja cantidad de residuos a incorporarse al suelo. Esto podría explicar los menores valores de COT encontrados, coiciendo con lo reportado Krüger *et al.* (2004), quienes reportaron pérdidas del 35% del COT como resultado de agricultura continua, respecto de un suelo definido como "natural". En el mismo sentido, Urioste *et al.* (2002) hallaron pérdidas del 38% en el COT por efecto de la agricultura, en el horizonte superficial de Hapludoles y Haplustoles de la región semiárida pampeana. Como se puede observar, la pérdida de COT reportados por otros autores son muy variables, esto se debe a la diversidad de las situaciones edáficas, ambientales, especies vegetales y de manejo agronómico estudiadas.

Los resultados obtenidos, además podrían estar dados por la relación existente entre el COT y la composición granulométrica de los suelos. En el presente estudio, los suelos con RP y FP presentaron mayor porcentaje de L + a y de COT que los suelos con AH y MS (Tabla 4). Varios estudios demostraron la influencia de la fracción limo y arcilla sobre el contenido de COT (Galantini *et al.*, 2004). Otros autores indican que a medida que aumenta el material fino (L + a), existe una mayor protección del COT debido a la asociación entre las partículas inorgánicas y las moléculas orgánicas más transformadas (Wander, 2004). La adsorción del COT sobre las partículas minerales, su encapsulación entre las arcillas o su ubicación dentro de poros pequeños, generan un ambiente inaccesible para los microorganismos (Tisdall y Oades, 1982; Van Veen *et al.*, 1990). Este efecto se visualiza en los resultados presentados en la Tabla 4, en donde el aumento del contenido de L + a se relacionó a un aumento en los niveles de COT.

En relación a las fracciones oxidables de CO, las variaciones de las fracciones más lábiles del CO (F1+F2) se ha propuesto como un indicador temprano de los cambios producidos en la dinámica del C por las prácticas de manejo (Fabrizzi *et*

al., 2003). Esta fracción orgánica es muy sensible a la degradación cuando los sistemas son disturbados, y de esta forma su ciclado aumenta más que el de las fracciones física o químicamente protegidas (Galantini *et al.*, 2004). Por otro lado, las fracciones más lábiles de carbono pueden indicar el tamaño del compartimiento fácilmente mineralizable de nutrientes, pudiendo ser de gran utilidad para el diagnóstico del potencial de mineralización de N del suelo (Fabrizzi *et al.*, 2003). En el presente estudio se observaron diferencias ($p < 0,05$) entre el lote con AH con respecto a los lotes con FP, RP y MS en cuanto a la fracciones más lábiles (F1+F2), con un valor más elevado. A su vez, este uso presentó el menor valor y diferencia estadística en la fracción menos lábil (F3) (Tabla 4). Esta variación podría deberse a lo mencionado anteriormente, donde las leguminosas aportan residuos con una baja relación C:N, aumentando los valores de la fracciones más lábiles del C (F1+F2) y disminuyendo la fracción menos lábil (F3).

Las fracciones más lábiles del COT (F1+F2) representan el material orgánico menos transformado, resultado del equilibrio entre los aportes orgánicos superficiales y subsuperficiales por un lado, y por otro, de la velocidad de descomposición, dependiente de la calidad del material, ubicación, temperatura y humedad. Por lo tanto, la variabilidad propia de esta fracción, junto con el efecto variable debido a la profundidad del suelo y el ciclo de crecimiento de la vegetación natural o cultivada, obligan a definir con mayor precisión el muestreo (tiempo y profundidad) para utilizar este parámetro como un indicador de CS (Duval, 2015). En este sentido, el contenido de COT mostró diferencias ($p < 0,05$) entre estratos, hallándose mayores valores en el estrato superficial con un 28% más que en el estrato subsuperficial (Tabla 5). Los principales cambios en los contenidos de COT ocurren principalmente en superficie, donde el suelo recibe el mayor impacto de las prácticas agrícolas, y estos cambios se diluyen al aumentar la profundidad (Franzluebbers, 2010).

Tabla 5. Contenidos de limo y arcilla (L + a), carbono orgánico total (COT) y fracciones oxidables del CO.

Estratos	L+a	COT (%)	F1+F2 (%)	F3 (%)
1	25,5 a	6,47 a	70,5 a	29,43 a
2	26,7 a	4,63 b	67,70 a	32,30 a

Letras diferentes para cada parámetro analizado indican diferencias estadísticamente significativas entre las situaciones productivas ($p < 0,05$). L + a, limo y arcilla; COT, carbono orgánico total; F1 + F2, fracción de carbono lábil; F3, fracción de carbono menos lábil.

pH del suelo

El análisis estadístico detectó diferencias ($p < 0,05$) asociadas al manejo, sin embargo, estas serían de poca relevancia agronómica. En lo que respecta a los estratos evaluados no se apreciaron diferencias estadísticas asociadas a la profundidad de muestreo. Los valores de pH de los cuatro usos, como así también de los estratos evaluados se presentan como moderadamente alcalinos (8,2-8,6) (Tablas 6 y 7), requiriéndose acciones correctivas de manejo para disminuir el pH del suelo y evitar problemas de disponibilidad de nutrientes. Estos valores podrían atribuirse a la presencia de material calcáreo en la zona de estudio (Loeppert, 1988).

Tabla 6. Resultados de medias obtenidas para las variables químicas en los distintos manejos.

Usos MO(%)	pHe	CE (dSm ⁻¹)	P Bray (mg kg ⁻¹)	P Olsen (mg Kg ⁻¹)	NT (%)	
AH	0,78 b	8,5b	0,7 b	16,7b	4,3b	0,9 a
MS	0.81b	8,2 ab	1,4 a	13,1 ab	13,9 a	0,8 a
FP	1,05 ab	8,5 ab	0,8b	11,4 ab	3,0b	0,8 a
RP	1,29 a	8,6 a	0,6b	7,05 a	6,0 b	1,0 a

Letras diferentes para cada parámetro analizado indican diferencias estadísticamente significativas entre las situaciones productivas ($p < 0,05$). AH (Alfalfa para heno), MS (Maíz para silo), FP (Festuca para pastoreo directo), RP (Raigrás para pastoreo directo). pHe, pH en extracto de pasta saturada; pH 1:2,5, pH relación suelo:agua; CE, conductividad eléctrica; P Bray, fósforo con la metodología Bray – Kurtz; P Olsen, fósforo con la metodología Olsen; NT, nitrógeno total.

Tabla 7. Resultados de medias obtenidas para las variables químicas y las profundidades asignadas 0 - 15 cm y 15 – 30 cm.

Estrato	pHe	CE(dSm ⁻¹)	P Bray(mg Kg ⁻¹)	P Olsen(mg Kg ⁻¹)	NT (%)
1	8,5 a	0,9 a	15,6a	7,4 a	1,0a
2	8,4 a	0,9 a	8,3b	6,2 a	0,74 b

Letras diferentes para cada parámetro analizado indican diferencias estadísticamente significativas entre las situaciones productivas ($p < 0,05$). AH (Alfalfa para heno), MS (Maíz para silo), FP (Festuca para pastoreo directo), RP (Raigrás para pastoreo directo). pHe, pH en extracto de pasta saturada; pH 1:2,5, pH relación suelo:agua; CE, conductividad eléctrica; P Bray, fósforo con la metodología Bray – Kurtz; P Olsen, fósforo con la metodología Olsen; NT, nitrógeno total.

Conductividad eléctrica

La CE presentó valores que no serían limitantes para los cultivos de este estudio (menor a 4 dS m⁻¹). A pesar de ello, se observaron diferencias significativas con

respecto a los usos, siendo el lote con MS el que presentó los mayores contenidos de sales solubles en el suelo. Esto puede atribuirse a la condición semiárida del sitio, y a que el lote queda sin cobertura sobre el suelo gran parte del año pudiendo generar el ascenso de las sales a la superficie, como puede observarse en la tabla 6. Según Casas (2013), la cobertura vegetal y sus residuos pueden generar una reducción de la evaporación del agua desde la superficie, reducir el ascenso capilar del agua freática y la concentración salina superficial.

Fósforo

El contenido de P extraíble mostró diferencias entre las técnicas de Bray-Kurtz y Olsen realizadas. Los valores de Bray-Kurtz superaron a los obtenidos con Olsen, en los lotes con AH y FP, no así en MS y RP donde se registraron valores similares para ambas técnicas. Zalba *et al.* (2002), encontraron que cuando el $\text{pH} > 7$, el método de Olsen estima el 24% más de P que el de Bray-Kurtz, presentando una mayor variabilidad en los resultados. Ambas metodologías utilizadas presentan valores de escala que no son comparables; así $10 \text{ mg de P kg}^{-1}$ según Olsen corresponde a un nivel de disponibilidad más alto según Bray y Kurtz. El método de Olsen utiliza como extractante una disolución de NaHCO_3 0.5 M moderadamente alcalina ($\text{pH}=8,5$) ideada para controlar la actividad de los iones calcio, a través del producto de solubilidad del carbonato de calcio (CaCO_3) durante la extracción de fósforo en suelos calcáreos. Al observar los valores obtenidos de pH en el presente estudio podría afirmarse que la metodología de Olsen se adapta mejor a este tipo de suelos. Los contenidos de P total dependen de la naturaleza del material parental, el grado de meteorización, la ocurrencia de lavado y los efectos antrópicos. El P orgánico está presente en los residuos vegetales y animales que se adicionan al suelo, mientras que la disponibilidad del P inorgánico (P soluble, lábil o adsorbido e insoluble) está regulada por el pH del suelo (Tisdale, 1993).

En esta experiencia se observaron bajas concentraciones de P inorgánico en los lotes con AH, FP y RP (Tabla 6). Esto podría deberse: en primera instancia, a un bajo contenido del nutriente en el material parental, en segundo lugar al pH, y por último a la fertilización. En función de los resultados obtenidos estos suelos podrían clasificarse como deficientes en P según Heredia *et al.* (1997), quienes consideraron a partir de la extracción por el método de Olsen: suelos muy pobres $< 7 \text{ ppm}$, pobres $7 - 12 \text{ ppm}$, moderados $12 - 19 \text{ ppm}$ y bien provistos $> 20 \text{ ppm}$. Una deficiente fertilización fosforada, como así también la interacción entre el pH y el P en solución, podrían ser las causas de la baja disponibilidad de P, ya que según Masotta y Lavado (1974), el material parental de estos suelos está bien provisto de P. Los altos valores de pH podrían deberse a la presencia de calcáreo

en los suelos del presente estudio (Loeppert, 1988). Esta variable incide en la disponibilidad del P, dado que puede precipitar al P como fosfatos cálcicos reduciendo la efectividad de la fertilización con fosfatos en suelos calcáreos tal como indica Bravo (2000). Las condiciones mencionadas (presencia de material calcáreo y elevado pH) hacen que los fosfatos cambien rápidamente a formas que no son aprovechables por las plantas.

Nitrógeno Total

El contenido de NT no presentó variación significativa asociada al uso del suelo, tampoco en los diferentes estratos analizados. En el lote con AH se registró la menor producción de materia seca, mientras que en los lotes con FP y RP la mayor producción de materia en los dos ciclos registrados (Fig. 11). La menor producción en el lote con AH podría deberse a que en los suelos habría menores contenidos de MO, mayor proporción de arena y residuos con baja relación C:N, que generarían una mayor mineralización de la MO y aporte de N respecto del lote con RP (Tabla 6). En el lote con RP se encontró mayor contenido de L + a y una proporción mayor de MO y NT que en los demás lotes. Esto podría ser a causa de una protección de la fracción fina sobre la MO y residuos de menor calidad (alta relación C:N). En este sentido, Sharifi *et al.* (2009) hallaron diferentes efectos según cantidad y calidad de los residuos, definidas por la relación C:N. Los residuos con baja relación se descompondrán más rápido favoreciendo la mineralización de N (Willson *et al.*, 2001). Según Griffin (2008), los suelos con mayor contenido de arena poseen una mayor tasa de mineralización, esto es dado por una mayor aireación y una menor protección física de las fracciones lábiles por las arcillas. La Figura 12 muestra la asociación positiva entre la MO y el NT, confirmando lo explicado en los párrafos anteriores.

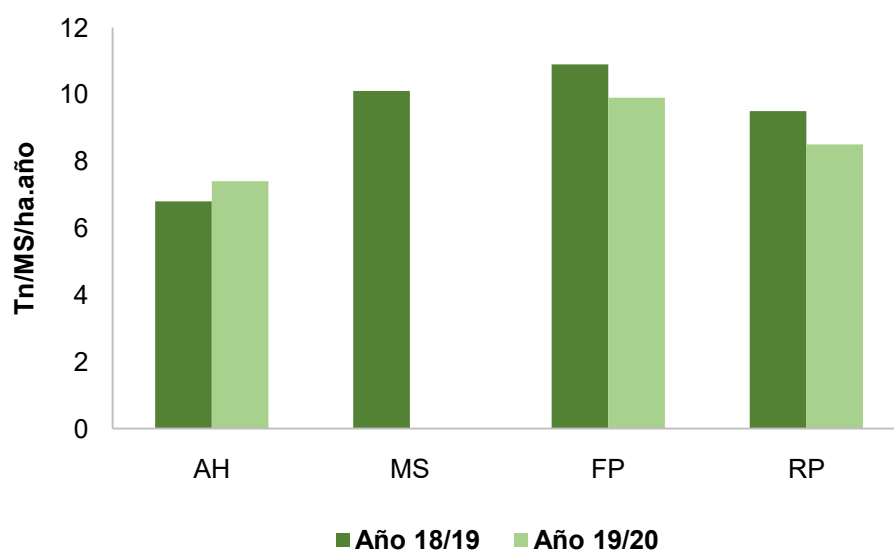


Figura 11. Producción de materia seca (MS) para los ciclos 18/19 y 19/20. AH (Alfalfa para heno), MS (Maíz para silo), FP (Festuca para pastoreo directo), RP (Raigrás para pastoreo directo).

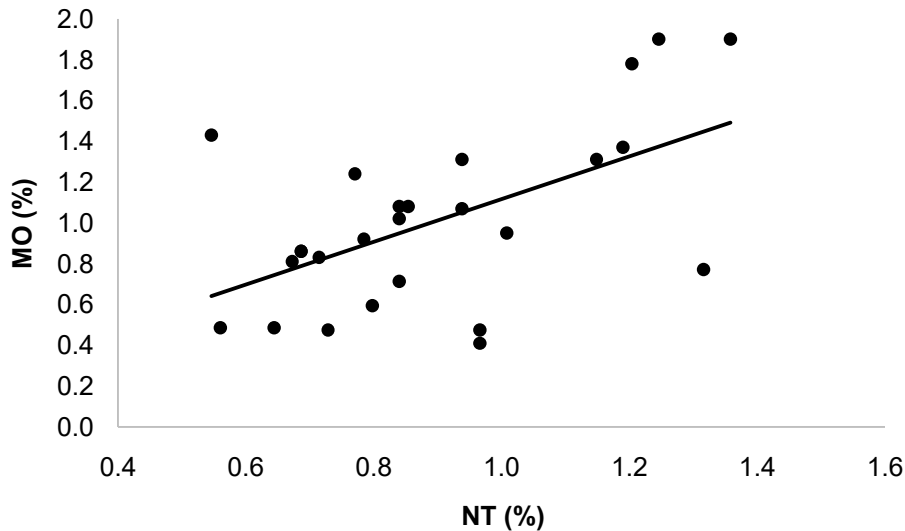


Figura 12. Relación entre las variables MO y NT.

En los suelos del VIRN, el horizonte superficial es pobre en MO, siendo además bajo su contenido de NT. El N del suelo proviene principalmente de la mineralización de la MO, proporcionando entre el 50 - 80% de las necesidades de N de los cultivos (Kundu y Ladha, 1995), pudiendo liberar o retener el N, para aumentar la productividad en el corto plazo o la conservación a largo plazo. Las formas orgánicas de N constituyen hasta el 90% del NT en la capa arable de suelos minerales. La mineralización es afectada por las propiedades edáficas, químicas y físicas, (Luce *et al.*, 2011). Entre las propiedades químicas, el pH, NT, COT, relación C:N y P extraíble influyen en la actividad de los microorganismos, afectando la mineralización de N. Entre las propiedades físicas, la más influyente es la textura. Hassink (1994) reportó un aumento en las tasas de mineralización en suelos de textura gruesa, debido a la menor protección física de la fracción lábil de la MO (Luce *et al.*, 2011). Del mismo modo, Hassink (1997) encontró una relación inversa entre el aumento del contenido de arcilla y la cantidad de N mineralizado, por una mayor protección de los nutrientes del ataque microbiano.

Infiltración Básica

La infiltración básica (I_b) manifestó una tendencia similar para las cuatro situaciones productivas con un promedio de $3 \text{ cm}\cdot\text{h}^{-1}$ (Fig. 13 y 14).

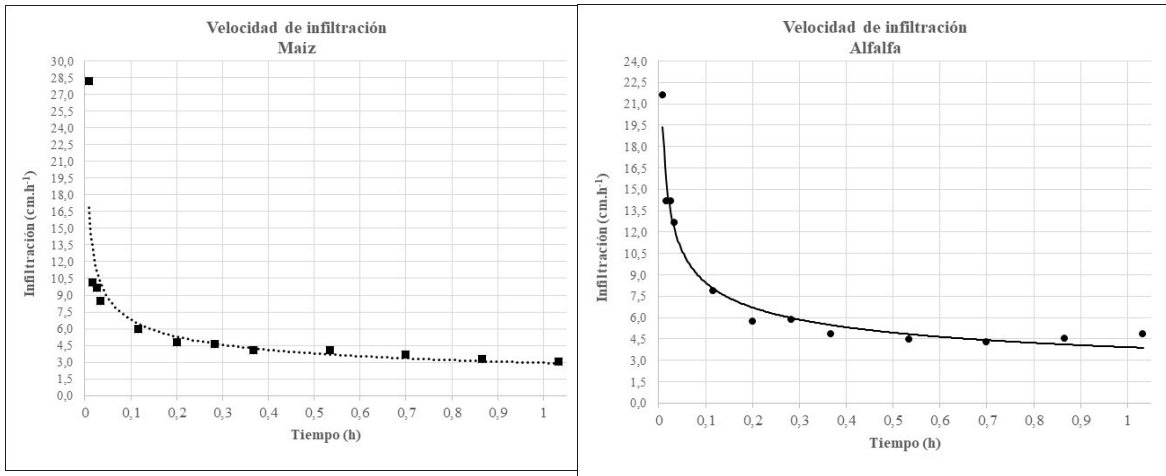


Figura 13. Curvas de infiltración para las situaciones productivas MS y AH. MS (Maiz para silo) y AH (Alfalfa para heno).

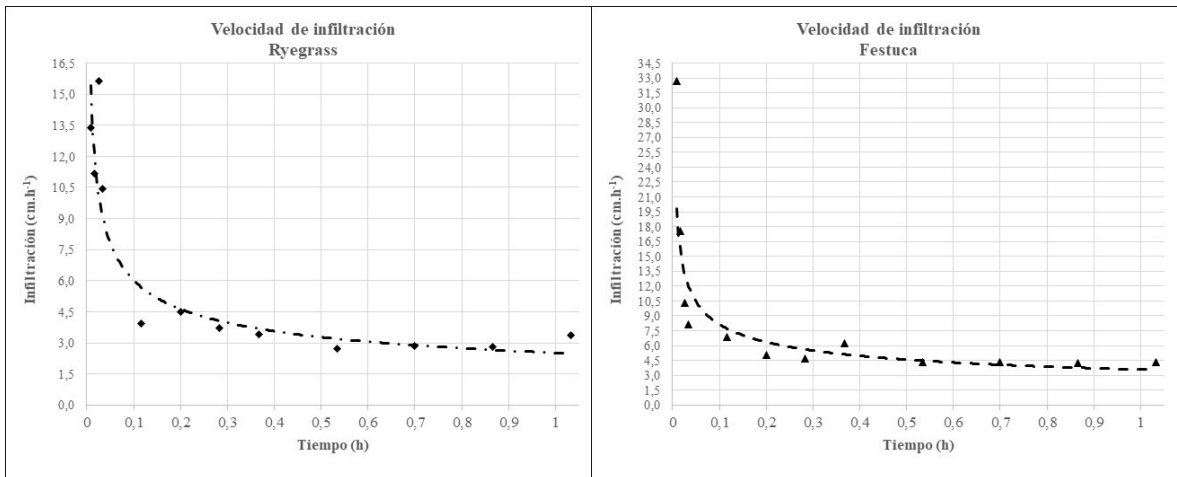


Figura 14. Curvas de infiltración para las situaciones productivas RP y FP. RP (Raigrás para pastoreo directo) y FP (Festuca para pastoreo directo).

Para el lote con MS, en el estrato superficial podría haber un mayor porcentaje de poros, ya que a los 12 minutos tuvo una infiltración mayor del 25% con respecto al lote de AH. En este último lote, se registraron valores críticos para la variable RMP (Fig. 8). Por lo tanto, podría estar indicando una compactación por el tránsito agrícola en los primeros centímetros del suelo y una alteración en la infiltración de

agua a causa de una reorganización en la porosidad total del suelo. Es decir, el efecto agrícola generó una compactación, aunque no crítica, a expensas de una disminución de los macroporos. Los cambios en la distribución de tamaños de poros por causa de la compactación se caracterizan por un aumento en el porcentaje de poros de diámetros pequeños e intermedios en detrimento de los poros más grandes (Andriulo y Rosell, 1988).

A partir de la Figura 13 y los resultados obtenidos de infiltración acumulada (datos no publicados), se observó que la AH registró mayores valores de la misma. El tamaño de los poros del suelo de esta situación productiva podrían estar causando una compactación en el estrato superior como se mencionó anteriormente, no así en los estratos subsuperficiales con respecto al MS.

Según Gil *et al.* (1993), la compactación altera la capacidad de infiltración de agua, su redistribución en el perfil del suelo, la aireación, la transferencia de calor y el movimiento de nutrientes. La reducción de la tasa de infiltración aumenta las pérdidas por escurrimiento y disminuye la reserva disponible para los cultivos.

Los suelos del presente estudio fueron clasificados según su textura como arenosos y franco arenosos por lo tanto los valores de Ib obtenidos se encuentran dentro del rango esperado para esta composición granulométrica (Tabla 1).

En cuanto a los lotes destinados a pastoreo directo (RP y FP), se observa una mayor infiltración en el lote FP en el estrato superficial, al infiltrar en los primeros 6 minutos un 62% más que en el lote RP (Fig. 14). Este resultado podría deberse a que este último presentó valores críticos de RMP que como se mencionó, podría haberse generado por el pisoteo animal (Fig. 8). Cluzeau *et al.* (1992) expusieron que el pisoteo animal por pastoreo directo afecta a los componentes principales de un sistema de pastizales (plantas, estructura y biología del suelo), y cuando no se maneja apropiadamente puede destruir la vegetación y compactar el suelo (Bilotta *et al.*, 2007), aumentando la DA y de RMP del mismo provocando la destrucción de los poros y como consecuencia una menor infiltración en el perfil del suelo.

Relación entre variables estudiadas

Los valores de DA y RMP siguieron un patrón inverso con el contenido de MO (Figura 15 y Tabla 8). Estos resultados son coincidentes con los reportados por Reynolds *et al.* (2002) y Ferreras *et al.* (2007), quienes hallaron mayor DA y menor contenido de MO en suelos de diferente textura y estados estructurales bajo siembra directa en comparación con situaciones no cultivadas o ambientes naturales. Durante la aplicación de cargas, las partículas del suelo son reorganizadas, decrece el espacio poroso y éstas son llevadas a un contacto más

cercano, incrementando la densidad de volumen; cambia la forma, tamaño y distribución de los poros, lo cual limita la capacidad de retención del suelo, el intercambio hídrico y gaseoso, y aumenta la impedancia mecánica (Berli, 2001).

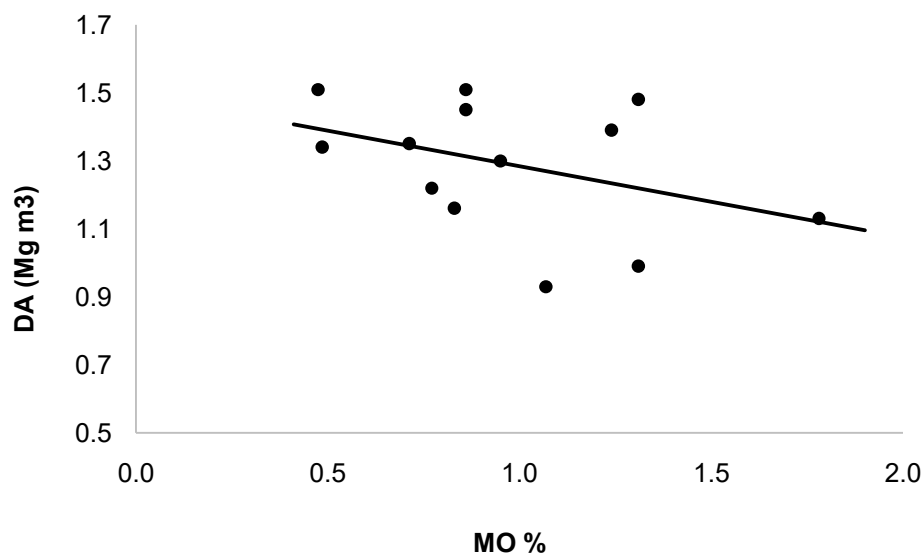


Figura 15. Relación entre los niveles de MO y DA.

Tabla 8. Matriz de correlaciones entre las variables físicas, químicas y biológicas del suelo.

	L+a	MOT	NT	COT	F1+F2	F3	RM	pHe	pH	CE	PBray	P Olsen	DA	RMP
L+a	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
MO	0,1	1	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*
NT	-0,14	0,68	1	*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
COT	0,1	1	0,69	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*
F1+F2	-0,36	0,24	0,66	0,24	1	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
F3	0,36	-0,24	-0,66	-0,24	-1	1	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
RM	-0,4	0,4	0,12	0,4	-0,09	0,09	1	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
pHe	0,14	0,5	0,42	0,5	0,44	-0,44	0,21	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns
pH	0,39	-0,14	-0,34	-0,14	-0,68	0,68	-0,05	-0,2	1	*	ns	ns	ns	ns
CE	0,46	-0,26	-0,35	-0,26	-0,4	0,4	-0,62	-0,11	0,54	1	ns	ns	ns	ns
P Bray	-0,36	-0,34	-0,49	-0,34	0,01	-0,01	0,21	0,16	-0,1	0,07	1	ns	ns	ns
P Olsen	-0,23	-0,05	-0,11	-0,05	0,11	-0,11	-0,25	-0,49	-0,1	0,18	-0,01	1	ns	ns
DA	-0,32	-0,65	1,60	-0,64	0,35	-0,35	-0,4	-0,14	-0,14	0,23	-0,08	0,23	1	ns
RP	0,37	-0,56	-0,37	-0,56	-0,05	0,05	-0,32	0,09	0,22	0,36	0,29	-0,21	-0,18	1

En negrita y cursiva: correlaciones de Pearson con $p < 0,05$. L + a limo más arcilla; MO materia orgánica; NT nitrógeno total; COT carbono orgánico total; F1+F2 carbono fácilmente oxidable; F3 carbono fácilmente oxidable; RM respiración microbiana; pHe pH en extracto; CE conductividad eléctrica; PBray metodología Bray y Kurtz; POlsen metodología Olsen; DA densidad aparente; RMP resistencia mecánica a la penetración; * correlación estadísticamente significativa $p < 0,05$; ns no significativa ($p > 0,05$).

Se halló una asociación positiva entre el contenido de NT, el COT (Fig. 16) y las fracciones más lábiles de CO oxidables F1+F2, y una correlación negativa entre NT y F3 (Tabla 8). Estos resultados podrían deberse a que las fracciones más lábiles del COT (F1 y F2) presentan una menor relación C:N y se encuentran en los estratos superficiales donde la actividad biológica es mayor. Benbi *et al.* (2014), reportaron mayores valores de C:N en la fracción particulada más gruesa (250-2000 micrones) con respecto a la fracción particulada fina (53-250 micrones), sugiriendo que la fracción más gruesa tiene una cinética de descomposición más rápida que la particulada fina. Este autor también sugirió que para la incorporación de C desde los residuos de cultivos, estos primeramente se transforman para formar parte de la fracción particulada gruesa y luego progresivamente se siguen descomponiendo hasta compuestos más estables en la fracción particulada fina.

Estos resultados demuestran la importancia de las fracciones orgánicas en el proceso de mineralización. Galantini *et al.* (2000), reportaron que las relaciones más estrechas se obtuvieron entre las fracciones más lábiles de C y N, ya que son las que realizan un aporte rápido de nutrientes. Otros autores también encontraron relaciones altamente positivas entre el COT y NT (Sharifi *et al.*, 2007).

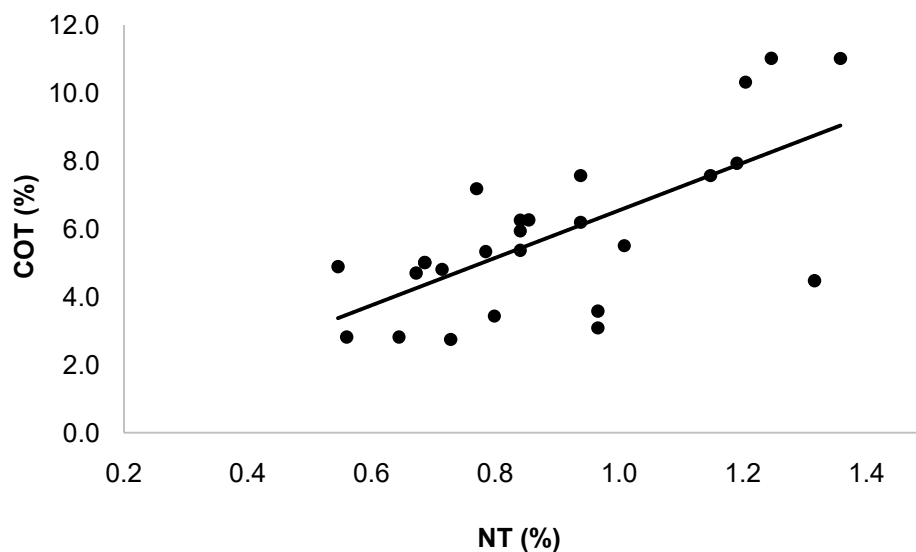


Figura 16. Relación entre COT y NT.

La RM presentó una asociación negativa con la CE (Fig.17). Esto podría deberse a que al aumentar la CE no se generan las condiciones aptas para que los microorganismos del suelo puedan desarrollarse con normalidad. La composición de la comunidad microbiana puede verse afectada por la salinidad (Pankhurst *et*

al., 2001) ya que los diferentes microorganismos difieren en su tolerancia a un potencial osmótico bajo (Mandeeel, 2006; Llamas *et al.*, 2008).

En el presente estudio se pudo observar un mayor contenido de sales en solución en el lote de MS en comparación con los demás lotes evaluados, así como la presencia de una menor actividad biológica. Esto podría deberse a varios factores: mayores valores de CE encontrados en dicho lote, la existencia de un material de menor calidad (una alta relación C:N) y la época del año (condiciones de H°, T°, etc.) en que se tomaron las muestras.

En un clima cálido y seco, la baja humedad y la salinidad del suelo son los factores más estresantes para la flora microbiana del suelo, y ocurren con frecuencia simultáneamente coincidiendo con lo encontrado por Pankhurst *et al.*, (2001).

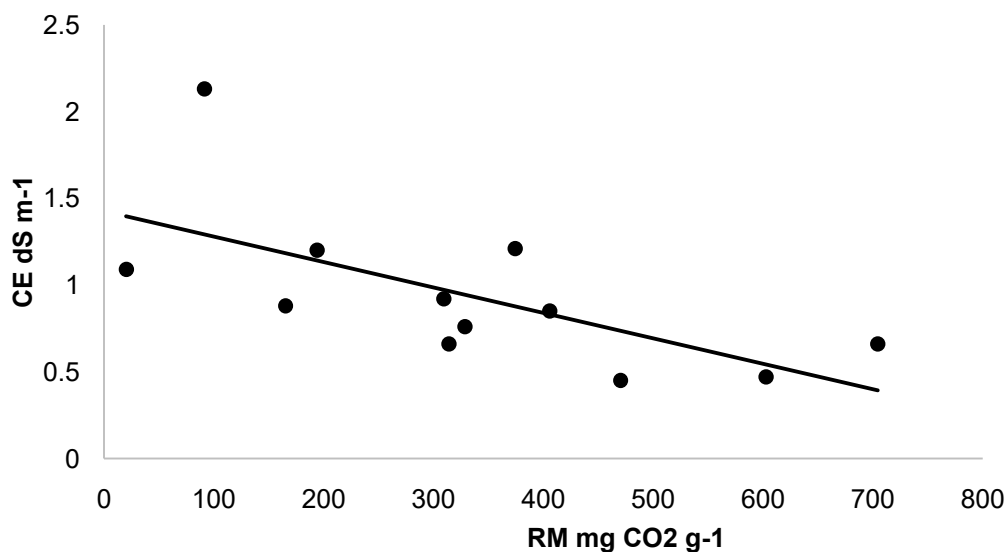


Figura 17. Relación entre la CE y RM.

RECOMENDACIONES DE MANEJO

- En lotes destinados a manejos ganaderos (RP y FP) se deberían tomar medidas que tiendan a minimizar la compactación por pisoteo del suelo, para no aumentar la misma hasta valores que se encuentren cercanos a los rangos críticos según los citados en el presente estudio. Entre dichas medidas se consideran: controlar el pastoreo excesivo que elimine la cubierta vegetal del suelo, y evitar el pisoteo animal si el suelo está húmedo.
- En lotes destinados a henificación y maíz para silo, controlar el tráfico de maquinaria para provocar el menor impacto sobre el suelo. Valores de densidad aparente y de resistencia mecánica a la penetración por encima de los críticos causan situaciones indeseables para la calidad del suelo.
- En el lote con AH incorporar residuos con una alta relación C:N para que se humifiquen y aumente el contenido de MO, la cual contribuirá a mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo.
- La fertilización con N es una práctica necesaria para las cuatro situaciones productivas planteadas en el presente estudio debido a los bajos contenidos de MO que poseen estos suelos.
- La fertilización con P en la implantación de los cultivos es de suma importancia para lograr un buen desarrollo radicular, debido a los bajos valores de este mineral que se obtuvieron en el presente estudio. A su vez, para que esta práctica sea efectiva, es necesario conocer si existe la presencia de calcáreo para evitar la precipitación de este nutriente que ocurriría con los valores actuales.
- Realizar un aporte de estiércol. Por medio de esta práctica se incorpora N al suelo a través de la orina, y P a través de las heces de los animales.
- En los lotes con destino a MS, luego de la cosecha del mismo mantener el suelo con cobertura vegetal para evitar el ascenso de sales por capilaridad desde la napa freática, y así, no generar condiciones adversas tanto para los cultivos como para la biota del suelo.

CONCLUSIÓN

Varios indicadores fueron útiles para determinar el impacto de los diferentes manejos sobre la calidad del suelo. En general, la mayoría de los indicadores permitieron detectar diferencias entre el lote con cultivo anual (MS) y los lotes con pasturas perennes (AH, RP, FP).

En los suelos estudiados, los valores de COT, sus fracciones, la MO y la CE fueron los esperados para cada tipo de manejo analizado, los cuales resultaron mayores en los lotes con pasturas perennes implantadas con especies de gramíneas. Esta información refleja qué manejos productivos estarían mejorando o conservando la calidad de los suelos.

Los indicadores físicos evaluados (DA y RMP) mostraron que la compactación del suelo se ve afectada no solo por las prácticas agrícolas, sino también por el pisoteo animal por pastoreo directo.

La RM puso en evidencia qué tipo de manejo hay que realizar luego de la cosecha del maíz para silo. Dejar estos lotes sin cobertura luego de la cosecha trae aparejados efectos no deseados para el suelo.

Los indicadores que permitieron detectar diferencias en los efectos de manejo de los suelos evaluados fueron: COT y sus fracciones, MO, CE, DA, RMP y RM.

Este trabajo permitió obtener valores de referencia para la zona de diversos parámetros de calidad del suelo asociados a diferentes suelos, ambientes y distintas situaciones de manejo. Sería aconsejable continuar la investigación con mayor número de muestreos acotados a cada zona agroecológica, con el objetivo de identificar otros indicadores de calidad del suelo sensibles a la intensidad de manejo.

BIBLIOGRAFÍA

Aliev, K. 2001. Current problems with regard to mechanization and greening of farming in Azerbaijan. *Mezhdunarodnyi Sel'skokhozyaistvennyi Zhurnal* 5: 57-61.

Andrade, F.; A, Cirilo; S, Uhart y M, Otegui. 1996. *Ecofisiología del cultivo de maíz*. Editorial la Barrosa. Balcarce. 292 pp.

Andriulo, AE y AB Irizar. 2012. La materia orgánica como indicador base de calidad del suelo. XXIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata, Argentina.

Andriulo, AE & RA Rosell. 1988. Propiedades físicas edáficas en dos sistemas de labranza. *Turrialba* 38, 365–375.

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

Ayuso, M., J. A. Pascual, C. Garcia, and T. Hernández. 1996. Evaluation of urban wastes for agricultural use. *Soil Sci. Plant Nutr.* 42: 105-111.

Babujia, L.C.; M. Hungria; J.C. Franchini y P.C. Brookes. 2012. Microbial biomass and activity at various soil depths in a Brazilian oxisol after two decades of no-tillage and conventional tillage. *Soil Soil Biology and Biochemistry*, 42: 2174-2181.

Baldock, JA y PN Nelson. 2000. Soil organic matter. In: Sumner, ME. (Ed.), *Handbook of Soil Science*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 25–84

Benbi, DK; AK Boparai & K Brar. 2014. Decomposition of particulate organic matters more sensitive to temperature than the mineral associated organic matter. *Soil Biology and Biochemistry* 70: 183-192.

Bardgett, R.D.; A.C. Jones; D.L. Jones; S.J. Kemmitt; R. Cook. P.J. Hobbs. 2001. Soil microbial community patterns related to the history and intensity of grazing in sub-montane ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*, 33: 1653-1644.

Bayer, C; L Martin-Neto; J Mielniczuk y A Pavinato. 2004. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(7), 677-683.

Berli, M.: *Compaction of agricultural subsoils by tracked heavy construction machinery*, 141pp., Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas), Instituto Federal Suizo de Tecnología de Zurich, Zurich, Suiza, 2001.

Bilotta, G; Brazier, R; Haygarth, P. 2007. The impacts of grazing animals on the quality of soils, vegetation, and surface waters in intensively managed grasslands. *Advances in Agronomy* 94:237-280.

Blake G.R. y Hartge K.H. 1986. Bulk density. In: A Klute (ed.) *Methods of soil analysis, Part 1*. 2nd ed. American Society of Agronomy, Madison, Agronomy 9.

Blaney, H.F. y W.D. Criddle. 1962. Determining consumptive use and irrigation water requirements. U. S. Dept. Agr. Agricultural Research Service Tech Bull 1275. 59 pp.

Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total organic and available form of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59:39-45.

Bouyoucos G. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agron. J.*, vol. 54: 464-465.

Bravo, S. 2000. El fósforo en el suelo. Aspectos básicos de química de suelos. Ediciones de la Universidad Nacional de los Llanos Ezequiel Zamora (UNELLEZ). Barinas. Venezuela. 249 p.

Bredja, JJ; TB Moorman; DL Karlen y TH Dao. 2000. Identification of regional soil quality factors and indicators: I. Central and southern high plains. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 2115-2124.

Bremner J.M y Mulvaney C.S. 1982. Nitrógeno total., en: AL Page, RH Miller y DR Keeny, (Eds.). *Métodos de análisis de suelos*, Sociedad Americana de Agronomía y Sociedad de Ciencias del Suelo de América, Madison, págs. 1119-1123.

Bolinder, MA; DA Angers; M Giroux y MR Laverdiere. 1999. Estimating C inputs retained as soil organic matter from corn (*Zea mays* L.). *Plant Soil* 215, 85–9.

Botta, G; D Jorajuria; R Balbuena & H Rosatto. 2004. Mechanical and cropping behaviour of direct drilled soil under different traffic intensities: effect on soybean (*Glycine max* L.) yields. *Soil Till. Res.* 78, 53–58.

Bowen, H.D; Garner T.H. y Vaughn D.H. 1994. Advances in soil-plant dynamics. In: ASAE. *Advances in soil dynamics*. St. Joseph. pp. 255-280.

Burgos, J. J., y Vidal, A. (1951). Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thornthwaite. *Revista Meteoros*, 1(1). p. 12-32.

Cambardella, CA y ET Elliott. 1992. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56, 777-783.

Cardozo, MS; JL Arzeno; J León; C Sánchez, J Huidobro. 2006. Estudio de suelos desmontados de uso agrícola, a través de indicadores de calidad de suelo. AntaSalta. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy, Argentina.

Carrasco, N. 2009. Evaluación de la calidad de suelo según intensidad de uso y labranza en el centro sur bonaerense. Tesis Magister Scientiae, UNMdP. Mar del Plata, Argentina.

Casas, R. 2013. Utilización de los suelos afectados por sales. La Nación, Supl. Campo, Bs. As., 05.01.13, pág. 8.

Cantú, MP; AM Becker; JC Bedano y Schiavo, H. F. 2007. Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. Ci. Suelo 25(2), 173-178.

Casanovas, EM; GA Studdert y HE Echeverría. 1995. Materia orgánica del suelo bajo rotaciones de cultivos. II. Efecto de los ciclos de agricultura y pastura. Ci. Suelo 13: 21-27.

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.

Cerana, J.; Wilson, M.; Pozzolo, O.; De Battista, J. J.; Rivarola, S.; y Díaz, E. 2005. Relaciones matemáticas entre la resistencia mecánica a la penetración y el contenido hídrico en un Vertisol. Estudios de la Zona no Saturada del Suelo 7:159 - 163.

Chan, K.Y; Bowman, A. y Oates, A. 2001. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an OxicPaleultalf under different pasture leys. SoilScience, 166, 61-67.

Cluzeau, D; Binet, F; Vertes, F; Simon, J; Riviere, J; Trehen, P. 1992. Effects of intensive cattle trampling on soilplant-earthworms system in two grassland types. Soil Biology and Biochemistry 24(12):1661-1665.

Cortés, MP; V Gómez Hermida y C Saenz. 2006. Indicadores de calidad de suelo asociados a distintos usos de la tierra en la Región Semiárida. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta-Jujuy, Argentina.

De la Rosa, D. 2008. Evaluación agro-ecológica de los suelos para un desarrollo rural sostenible. Ediciones Mundi-Prensa. 404 p.

Díaz-Zorita, M. 2004. Effects of subsurface soilQHelianthus annus L. Production. Ciencia del Suelo 22:40 - 43.

Díaz, C. G.; Osinaga, R y Arzeno, J. 2010. Resistencia a la penetración, humedad del suelo y densidad aparente como indicadores de calidad de suelos en parcelas de largo plazo. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Rosario, Argentina.

Di Rienzo, J.A; Casanoves, F; Balzarini, M.G; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

Drewry, J.J y Paton, R.J. 2005. Soil physical quality under cattle grazing of a winter-fed brassica crop. *Aust. J. Soil Res.* 43, 525–53.

Druille, M; Castiglioni, M; Massobrio, J.M. 2013. Fracción erosionable del suelo en el oeste bonaerense bajo sistemas de uso de tierra contrastantes. *Ci. Suelo* 31 (1): 125-132.

Donkor, N.T;Gendir J.V;Hudson,R.J;Bork,E.W;Chanasyk,D.S. and Naeth,M.A.. 2002. Impacts of grazing systems on soil compaction and pasture production in Alberta. *Can. J. Soil Sci.* 82: 1-8.

Doran, J.W; M Sarrantino y MA Liebig. 1996. Soil health and sustainability. *Adv. Agronomy* 56, 1- 54.

Duval, M.E. 2015. Contenido, calidad y dinámica de las fracciones orgánicas como indicadores de calidad de suelos bajo diferentes manejos en siembra directa.

Duxbury, J.M; Smith, M.S yDoran,J.W. 1989. Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. In: Coleman, DC; JM Oades y G Uehara. (Eds.), *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. Honolulu, University of Hawaii Press. 2, 33-67.

Eavis, B.W; Ratcliff, L.E. and Taylor, H.M. 1969. Use of dead load technique to determine axial root growth pressure. *Agronomy Journal* 61: 640-643

Ehlers, W.; Köpke, U.; Hesse, F.; y Bohm, W. 1983. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil Tillage Res.* 3:261 - 275.

Fabrizzi, K.P; Morón, A &García, F.O. 2003. Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. Nondegraded Mollisols in Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67, 1831-1841.

F.A.O. Guidelines for Soil Profile Descriptions. Rome. Soil Survey and Fertilization Branch. 1966.

Ferreras, L; Magra, G; Besson, P; Kovalevski, E y García, F. 2007. Indicadores de calidad física en suelos de la región pampeana norte de argentina bajo siembra directa. *Ci. Suelo* 25(2), 159- 172.

Franzluebbers, A.J. 2010. Achieving soil organic carbon sequestration with conservation agricultural systems in the southeastern USA. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74, 347–357.

Galantini, J.A y Suñer, L. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia* 45: 41-55.

Galantini, J.A. 2005. Separación y análisis de las fracciones orgánicas. En: *Manual Tecnología en Análisis de Suelos: alcances a laboratorios agropecuarios*. Marban y L y S. Ratto (Eds.) 1º edn. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. - Buenos Aires, pág. 215.

Galantini, J.A; Senesi, N; Brunetti, G & Rosell, R. 2004. Influence of texture on the nitrogen and sulphur status and organic matter quality and distribution in semiarid Pampean grassland soils. *Geoderma* 123, 143-152.

Galantini, J.A; Landriscini, M.R; Iglesias, J.O; Miglierina, A.M & Rosell, R.A. 2000. The effects of crop rotation and fertilization on wheat productivity in the Pampean semiarid region of Argentina: 2. Nutrient balance, yield and grain quality. *Soil and Tillage Research* 53(2): 137-144.

García, F.O. 2001. Balance de fósforo en los suelos de la región pampeana. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur INPOFOS N°9*: 1-3.

Génova, L.J; Andreau, R; Etcheverry, M. 2017. Hidrología aplicada al estudio y manejo de cuencas y de sistemas de riego y drenaje: Aplicación de metodologías para la medición y estimación del escurrimiento y la infiltración.

Gerster, G.; Bacigaluppo, S.; Bodrero, M.; y Salvagiotti, F. 2010. Secuencia de cultivos, descompactación mecánica y rendimiento de soja en un suelo degradado de la región pampeana. *Para Mejorar La Producción* 45:59 - 61.

Gerster, G. y Bacigaluppo, S. 2004. Consecuencias sur de Santa Fe. *Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, Paraná, Argentina.

Gil, R.C. 2006. Infiltrómetro - permeámetro de disco. Instituto de suelos del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CNIA) – INTA Castelar. Buenos Aires, Argentina.

Gil, R.; Bragachini, M.; Bongiovanni, R; Bonetto, L. 1993. Capítulo de compactación del suelo de la obra "Sistemas de Traslado de Equipos de Cosecha para reducir la Compactación". Proyecto PROPECO, p 9-39.

Greenwood, K. L; Mc Kenzie, M. 2001. Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 41, 1231 - 1250.

Gregorich E.G; Carter, M.R; Angers, D.A; Monreal, C.M y Ellert, B.H. 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Can. J. Soil Sci.* 74, 367–385.

Griffin, T.S; Honeycutt, C.W; Albrecht, S.L; Sistani, K.R; Torbert, H.A; Wienhold, B.J; Woodbury, B.L; Hubbard, R.K & Powell, J.M. 2008. Nationally-coordinated evaluation of soil nitrogen mineralization rate using a standardized aerobic incubation protocol. *Communications of Soil Science and Plant Analysis* 39: 257–268.

Griffith, D; Mannering, J y Box, E. 1986. Soil and moisture management with reduce tillage. En: Sprague M y G Triplett (Eds.). *No tillage and surface-tillage agriculture*. J. Wiley Sons. New York. 467 pp.

Giuffré, L; Romaniuk, R; Conti, M.E y Bartoloni, N. 2006. Multivariate evaluation of no-tillage system quality indicators in Argiudolls of Rolling Pampa (Argentina). *Biol Fert Soils* 42: 556-560.

Glover, J.D.; Culman, S.W; DuPont, S.T; Broussard, W; Young, L; Mangan, M.E; Mai, J.G; Crews, T.E; DeHaan, L.R; Buckley, D.H; Ferris, H; Turner, R.E; Reynolds H.L. y Wyse, D.L.. 2010. Harvested perennial grasslands provide ecological benchmarks for agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 137: 3–12.

Gouia, H; Ghorba, M.H.I and Touraine, C.B. 1994. Effects of NaCl on flows of N and mineral ions and NO³⁻ reductasa rate within whole plants of salt-sensitive bean and tolerant cotton. *Plant Physiol.* 105:1409-1418.

Hassink, J & Whitmore, A.P. 1997. A model of the physical protection of organic matter in soils. *Soil Science Society of America Journal* 61(1): 131-139.

Hassink, J. 1994. Active organic matter fractions and microbial biomass as predictors of N mineralization. *European Journal of Agronomy* 3: 257-265.

Heredia, SO; Giuffré, L; Rontondaro, R. 1997. Fósforo adsorbido: su relación con el P Bray y Olsen en grandes grupos de suelos de la provincia de buenos aires.

Hilbert, J.A. & Tesouro, M.O. 2002. Curved subsoiler field performance and draft requirement. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (Argentina)* 30:14-23.

Hipps, N.A. & Hodgson, D.R.. 1988. Residual effects of a slant-legged subsoiler on same soil physical conditions and the root growth of spring barley. *J. Agric. Sci.* 110:481-489.

Hoffman, G.J.; Ayers, R.S.; Doering, E.J and McNeal, B.L.. 1980. Salinity in irrigated agriculture. p. 1455-185. *In* Design and operation of farm irrigation systems. American Society of Agricultural Engineering, St. Joseph, Michigan, USA.

Iglesias, J.O; Vallejos, A; Galantini, J.A; Bondia, P y Kleine, C. 2014. Efecto del tránsito sobre algunas propiedades edáficas en dos sistemas de labranza. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca, Argentina.

Inalbon, M.R. y Valenzuela, A.M. 2005. Procedimientos analíticos para suelos normales y salinos. Técnicas utilizadas en el laboratorio de suelos y aguas. Estación Experimental Agropecuaria Sáenz Peña – Chaco, Argentina.

INTA. 1986. Documento básico para el programa de riego y drenaje. Vol. 1. p. 95. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Buenos Aires, Argentina.

Jenny, H. 1980. *The Soil Resource: Origin and Behavior*. Springer, New York. 377 pp.

Karlen, D.L; Mausbach, M.J; Doran, J.W; Cline, R.G; Harris, R.F y Schuman, G.E. 1997. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Sci. Soc. Am J.* 61, 4-10.

Krüger, H.R; Venanzi, S; Galantini, J.A. 2004. Rotación y cambios en las propiedades químicas de un Hapludol típico del sudoeste bonaerense bajo labranza. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos, Argentina.

Kundu, D.K. & Ladha, J.K. 1995. Enhancing soil nitrogen use and biological nitrogen fixation in wetland rice. *Exp. Agric.* 31(03): 261-278.

Lacasta, C; Meco, R y Maire, N. (2005). Evolución de las producciones y de los parámetros químicos y bioquímicos del suelo, en un agrosistema de cereales sometido a diferentes manejos de suelo durante 21 años. *El reto de la Agricultura y Medio Ambiente, la Energía y la Nueva Política Agraria Común*. Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación, 429-436.

Lal, R. 2006. Soil carbon sequestration in Latin America. In: Lal, R; CC Cerri; M Bernoux; J Etcheves y E Cerri. (Eds.), Carbon sequestration in soils of Latin America. Food Products Press, New York, pp. 49–64.

Llamas, D.P; Gonzales, M.D; Gonzales, C.I; Lopez, G.R; Marquina, J.C. (2008). Effects of water potential on spore germination and viability of *Fusarium* species. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, Vol. 35, No 11, (November, 2008), pp. 1411- 1418, ISSN: 1367-5435.

Larson, W y Pierce, F. 1994. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. Pp. 37-51. In: Doran, J; D Coleman; D Bezdick y B Stewart (Ed.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI.

Loeppert, R.H. 1988. Chemistry of iron in calcareous system. pp. 689–714. In: Stucki, J.W., B.A. Godman y U. Schwertmann (eds.). *Iron in soils and clay minerals*. NATO ASI Series. Dordrecht, The Netherlands.

Luce, M.S; Whalen, J.K; Ziadi, N; Zebarth, B.J. 2011. Nitrogen dynamics and indices to predict soil nitrogen supply in humid temperate soils. *Adv. Agron.* 112:55-102.

Mandeeel, Q.A. (2006). Biodiversity of the genus *Fusarium* in saline soil habitats. *Journal of Basic Microbiology*, Vol. 46, No 6, (December, 2006), pp. 480-494, ISSN: 0233-111X.

Marschner, H. 1995. *Mineral nutrition of Higher Plants*. Academic Press, London. UK. En: Echeverría HE y F García. (Eds.). 2005. *Fertilidad de Suelos y Fertilización de cultivos*. Ediciones INTA. 525 pp.

Martens, D.A. 2000. Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. *Soil Biol. Biochem.* 32, 361–369.

Masotta H.T. 1970. Reconocimiento detallado de suelos con fines de riego en el área de influencia del canal secundario VII. Instituto de Desarrollo del Valle Inferior. IDEVI. Estación Experimental de Riego y Cultivos. 98 pp.

Masotta, H. T. y Lavado, R. S. 1974: Normas de manejo de suelos bajo riego en el Valle Inferior del río Negro. Estación Experimental del IDEVI. Boletín de Divulgación Técnica N° 2. 56 p.

Martín D. 2009. Estadísticas climáticas del Valle de Viedma. EEA Valle Inferior-Convenio provincia de Río Negro-INTA. Información Técnica N° 27 Año 4 N° 9. 80 p.

Moret, D & Arrúe, J.L. 2007. Dynamics of soil hydraulic properties during fallow as affected by tillage. *Soil Till. Res.* 96, 103–113.

Montanarella, L. 2007. Trends in land degradation in Europe. In: Sivakumar, MV; N Ndiang'ui (Eds.), *Climate and Land Degradation*. Springer, Berlin, pp. 83–104.

Nannipieri, P. 1994. The potential use of soil enzymes as indicators of productivity, sustainability and pollution. In: Pankhurst, CE; BM Doube; VVSR Gupta y PR Grace (eds.). *Soil Biota: Management in Sustainable Farming Systems*. CSIRO, Australia, pp. 238-244.

Oates, L.G; Balser, T.C. y Jackson, R.D. 2012. Subhumid pasture soil microbial communities affected by presence of grazing, but not grazing management. *Applied Soil Ecology*, 59: 20– 28.

Olsen S.R., C.V. Cole, F.S. Watanabe y L.A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Department of Agriculture, Circular 939.

Omar, S.A.; Abdel-Sater M.A.; Khallil, A.M.; Abdalla, M.H. (1994). Growth and enzyme activities of fungi and bacteria in soil salinized with sodium chloride. *Folia Microbiologica*, Vol.39, No 1, (1994), pp. 23-28, ISSN: 0015-5632.

Ozeáriz, M.E. 2013. El suelo y las sales. El efecto de las sales en el suelo y en la producción.

Pankhurst, C.E; Yu, S; Hawke, B.G. & Harch, B.D. (2001). Capacity of fatty acid profiles and substrate utilization patterns to describe differences in soil microbial communities associated with increased salinity or alkalinity at three locations in South Australia. *Biology and Fertility of Soils*, Vol. 33, No 3, (March, 2001), pp. 204–217, ISSN: 0178- 2762.

Paolini Gómez J.E. 2017. Actividad microbológica y biomasa microbiana en suelos cafetaleros de los Andes venezolanos. *Terra Latinoamericana* 36: 13-22.

Pierce, F.J y Larson, W.E. 1993. Developing criteria to evaluate sustainable land management's. Pp 7-14. In: JM Kimble (ed.). *Proceedings of the Eighth International Soil Management Workshop: Utilization of soil survey information for sustainable land use*. USDA Soil Conservation Service, National Soil Survey Center.

Pieri, G. 2004. La agricultura irrigada en Río Negro y su contribución al desarrollo regional. BANCO MUNDIAL. Buenos Aires - Argentina.

http://siteresources.worldbank.org/INTARGENTINAINSPANISH/Resources/Rio_Negro_la_agricultura_irrigada.

Quiroga, A; Fernández, R and Noellemeyer, E.. 2009. Grazing effect on soil properties in conventional and no-till systems. *Soil Till. Res.* 105: 164-170.

Quiroga, A.R; Ormeño, O y Peineman, N. 2001. Materia orgánica: un indicador de calidad de suelos relacionado con la productividad de los cultivos. *Boletín Divulgación técnica* 70 EEA INTA Anguil, 28 pp.

Rangeon N.I., Aciar L.M. Osinaga R., Arzeno J.L. y Sánchez C. 2008. Análisis de la resistencia a la penetración y humedad de suelo como indicadores de calidad en distintos sistemas de labranza. *Actas XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Potrero de Los Funes, Argentina.

Reinoso, L. 2014. Tesis de Magister en Ciencias Agrarias: “Rendimiento de maíz en el Valle Inferior del Río Negro: Evaluación de la frecuencia de riego y la fertilización nitrogenada”. Universidad Nacional del Sur.

Reynolds, W.D; Bowman, B.T; Drury, C.F; Tan, C.S y Lu, X. 2002. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma* 110, 131–146.

Reynolds, W.D; Yang, X.M; Drury, C.F; Zhang, T.Q y Tan, C.S. 2003. Effects of selected conditioners and tillage on the physical quality of a clay loam soil. *Can. J. Soil Sci.* 83, 318–393.

Rosso, J.C. 2012. “Nuestro querido IDEVI: relatos y visiones de una utopía y su realidad”. Editorial EDUCO. 221 pp.

Roscoe, R y Buurman, P. 2003. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. *Soil Till. Res.* 70(2), 107-119.

Ruiz, C.E; Aldaco-Nuncio, R.A; Montemayor, T.A; Fortis, H.M; Olague R.J, Villagómez-Gamboa, J.C. 2007. Aprovechamiento y mejoramiento de un suelo salino mediante el cultivo de pastos forrajeros. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México. *Técnica Pecuaria en México* 45 (1):19-24.

Sánchez R.M. (2014). Infiltración en los suelos regados del valle bonaerense del río Colorado, Argentina. *XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo II Reunión Nacional “Materia Orgánica y Sustancias Húmicas”*.

Sanders, D.W. 1992. International activities in assessing and monitoring soil degradation. *Am. J. Alternative Agric.* 7, 17-24.

Sharifi, M; Zebarth, B.J; Porter, G.A; Burton, D.L & Grant, C.A. 2009. Soil mineralizable nitrogen and soil nitrogen supply under two-year potato rotations. *Plant Soil* 320: 267–279.

Sharifi, M; Zebarth, B.J; Burton, D.L; Grant, C.A & Cooper, J.M. 2007. Evaluation of some indices of potentially mineralizable nitrogen in soil. *Soil Science Society of America Journal* 71: 1233-1239.

Silenzi, J.C; Echeverría, N.E; Vallejos, A.G; Bouza, M y De Lucía, M.. 2010. Evaluación de la densidad aparente y penetrometría en un suelo abonado con cáscara de girasol y/o barro de maltería en condiciones de campo. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, Argentina.

Sojka, R.E y Upchurch, D.R. 1999. Reservations regarding the soil quality concept. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63, 1039–1054.

Stevenson, F. J. 1982. Organic forms of soil nitrogen. P 67-122. In F. J. Stevenson (ed.). *Nitrogen in agricultural soils. Monography N° 22.* American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA.

Threadgill, E.D. 1982. Residual tillage effects as determined by cone index. *Transactions of the ASAE*, 25(4), 859-863.

Thornthwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographic Review* 38: 55-94 p.

Tiessen, H; Stewart, J.W.B y Oberson, A. 1994. Innovative phosphorus availability indices: assessing organic phosphorus. En: Havlin J y J Jacobsen (Eds.). *Soil Testing: Prospects for Improving Nutrient Recommendations*, SSSA Special Publication 40, Madison, WI, USA. Pp. 141-162.

Tisdale, S.L; Nelson, W.L; Beaton, J.D y Havlin, J.L. 1994. *Soil fertility and fertilizers. Fifth Edition.* Macmillan publishing company. New York. Pp. 176 – 229.

Tisdall, JM & J Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33(2), 141-161.

Toledo, D.M; Galantini, J.A; Contreras Leiva, S.M y Vazquez, S. 2015. Stock de carbono y relaciones de estratificación como índices de calidad en Oxisoles subtropicales. En: *El impacto de los sistemas actuales de cultivo sobre las propiedades químicas del suelo y sus efectos sobre los balances de carbono.* Ed. Sá Pereira, Eduardo de. 1º Edición. Ediciones INTA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Coronel Suarez, Buenos Aires. Argentina. Pp. 139-144.

Urioste, A; Buschiazzo, D.E; Hevia, G.G; Hepper, E.N; Ferramolas, L & Bono, A. 2002. Distribución de carbono orgánico, nitrógeno total y fracciones de fósforo en la capa arable de suelos de la región semiárida pampeana central. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Puerto Madryn, Argentina.

Van Bruggen, A.H.C. & Semenov, A.M. (2000). In search of biological indicators for soil health and disease suppression. *Applied Soil Ecology*, Vol. 15, No 1, (August, 2000), pp. 13–24, ISSN: 0929-1393.

Venanzi, S; Galantini, J.A y Krüger, H.R. 2004. Pastoreo en siembra directa y crecimiento de soja. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos.

Vieira, F.C.B; Bayer, C; Zanatta, J.A; Diekow, J; Mielniczuk, J y He, Z.L. 2007. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. *Soil Till. Res.* 96(1), 195-204.

Walkley A. y Black I. 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.

Wander, M. 2004. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function. In K Magdoff & R.R. Weil (Eds.), *Soil organic matter in sustainable agriculture*. CRC Press, Boca Raton, Florida, EE.UU. Pp. 67-102.

White, R.E. (2005). *Principles and practice of soil science: the soil as a natural resource*. Cuarta edición. Oxford: Blackwell. 384 p.

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.

Willson, T.C; Paul, E.A & Harwood, R.R. 2001. Biologically active soil organic matter fractions in sustainable cropping systems. *Applied Soil Ecology* 16: 63-76.

Yagüe, J.L. 1998. *Técnicas de Riego*. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Ediciones mundi-prensa . Madrid.

Zalba P; Bravo, O; Amiotti, N & Peinemann, N. 2002. Métodos alternativos para determinar las disponibilidades de fósforo en suelos agrícolas. *Ci. Suelo* 20(1):50-53.

Zebarth, B.J; Dury, C.F.; Tremlay, N & Cambouris, A.N. 2009. Opportunities for improved fertilizer nitrogen management in production of arable crops in eastern Canada: A review. *Can. J. Soil Sci.* 89: 113–132.

Zilio, J. 2015. Aspectos de calidad de suelos representativos del sur de la provincia de Buenos Aires y efectos de la actividad agropecuaria sobre la misma. Tesis de magister en ciencias agrarias. Universidad Nacional del Sur. Argentina.