



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOMAS DE ZAMORA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Carrera: Ingeniería Agronómica
Espacio de Prácticas profesionales

**Título: Cambios en las propiedades químicas de
suelos de Región Pampeana bajo diferentes
rotaciones agrícolas**

Autor: Francisco Larraburu

Directora: Ing. Agr. Mg. Ana Clara Sokolowski
Codirectora: Dra. Prack Mc Cormick Bárbara

Lugar y Fecha: Lomas de Zamora, Junio de 2021
Trabajo Final de Grado

AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas que han contribuido de forma directa o indirecta en la realización de este trabajo.

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia y amigos, quienes a lo largo de estos años de formación han sido un apoyo incondicional, tolerándome y aconsejándome en todo momento y sin los cuales hubiera sido muy difícil llegar hasta donde hoy me encuentro.

Estoy especialmente agradecido a la MSc. Ing. Agr. Ana Clara Sokolowski, directora de este trabajo, por haber confiado en mí, por el tiempo dedicado, su predisposición, paciencia y ayuda incondicional en todo momento. Sin dejar de mencionar a mi codirectora, la doctora Bárbara Prack Mc Cormick por su apoyo y colaboración.

A las cátedras de Suelo y a todos sus integrantes por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo. Al Ingeniero Agrónomo Hernán Rodríguez, por ser quien me permitió desde el primer momento ser parte de este proyecto.

A la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Lomas de Zamora, por permitirme acceder de manera gratuita y darme los medios necesarios para estudiar la carrera de Ingeniería Agronómica que tanto me apasiona, y desarrollarme no sólo como futuro profesional sino también como persona.

A los amigos y amigas que me ha dado la facultad, por el apoyo y ayuda en todos estos años, y por los momentos compartidos que hicieron más liviano el camino recorrido.

Finalmente agradezco a todas aquellas personas que directa o indirectamente colaboraron a la realización del presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	
1. INTRODUCCIÓN	Pág. 5
2. OBJETIVOS	
2.1. OBJETIVO GENERAL	Pág. 8
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	Pág. 8
3. HIPÓTESIS	
3.1. HIPÓTESIS GENERAL	Pág. 9
3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	Pág. 9
4. MATERIALES Y MÉTODOS	Pág. 10
4.1. CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	Pág. 10
4.2. UBICACIÓN DE LOS ESTABLECIMIENTOS	Pág. 11
4.3. CARACTERÍSTICAS EDAFOCLIMÁTICAS	Pág. 13
4.3.1. Suelo	Pág. 14
4.3.2. Clima	Pág. 18
4.4. DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS	Pág. 20
4.5. PROPIEDADES QUÍMICAS ESTUDIADAS Y METODOLOGÍA EMPLEADA	Pág. 21
4.5.1. Potencial de Hidrógeno	Pág. 21
4.5.2. Conductividad Eléctrica	Pág. 22
4.5.3. Carbono Orgánico Total	Pág. 22
4.5.4. Nitrógeno Total	Pág. 23
4.5.5. Relación Carbono/Nitrógeno	Pág. 24
4.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	Pág. 25
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	Pág. 26
5.1. POTENCIAL DE HIDRÓGENO	Pág. 26
5.2. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	Pág. 28
5.3. CARBONO ORGÁNICO TOTAL	Pág. 30
5.4. NITRÓGENO TOTAL	Pág. 32
5.5. RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO	Pág. 34
6. CONCLUSIONES	Pág. 37
7. BIBLIOGRAFÍA	Pág. 38
8. ANEXO	Pág. 45
NÓMINA DE ABREVIATURAS	Pág. 3
ÍNDICE DE TABLAS	Pág. 3
ÍNDICE DE FIGURAS	Pág. 4
ÍNDICE DE ANEXOS	Pág. 4

NÓMINA DE ABREVIATURAS	
CREA	Consortios Regionales de Experimentación Agrícola
FCA	Facultad de Ciencias Agrarias
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
IPNI	Internacional Plant Names Index
PROSAP	Programa de Servicios Agrícolas Provinciales
UNLZ	Universidad Nacional de Lomas de Zamora
USDA	United States Department of Agriculture

ÍNDICE DE TABLAS		
Tabla 1. Datos analíticos del perfil de la serie Estación Naón. Lote San Felipe		Pág. 15
Tabla 2. Datos analíticos del perfil de la serie Norumbega. Lote San Francisco		Pág. 15
Tabla 3. Datos analíticos del perfil de serie Arrecifes. Establecimiento El Ranchito		Pág. 16
Tabla 4. Datos analíticos del perfil de la serie Urquiza.		Pág. 17
Tabla 5. Porcentaje de arena, limo y arcilla y clase textural de cada establecimiento estudiado.		Pág. 17
Tabla 6. Valores químicos iniciales (previos a las rotaciones, año 2014) de los establecimientos.		Pág. 18

ÍNDICE DE FIGURAS	
Figura 1. Regiones geográficas de la provincia de Buenos Aires	Pág. 10
Figura 2. Imagen satelital de Pampa Ondulada y Pampa Arenosa (Interior). Ubicación de campos.	Pág. 11
Figura 3. Imagen satelital del Establecimiento San Felipe.	Pág. 12
Figura 4. Imagen satelital del establecimiento El Ranchito.	Pág. 13
Figura 5. Imagen satelital del establecimiento La Lucila.	Pág. 13
Figura 6. Unidades cartográficas establecimiento San Felipe.	Pág. 14
Figura 7. Unidades cartográficas establecimiento El Ranchito.	Pág. 15
Figura 8. Unidades cartográficas establecimiento La Lucila.	Pág. 16
Figura 9. Valores climatológicos medios del período 1931-2020, Estación 9 de Julio.	Pág. 19
Figura 10. Valores climatológicos medios del período 1931-2019, Estación Junín.	Pág. 19
Figura 11a. pH-metro.	Pág. 21
Figura 11b. Medición del pH.	Pág. 21
Figura 12. Conductímetro.	Pág. 22
Figura 13. Determinación del Carbono Orgánico Total.	Pág. 23
Figura 14. Determinación de Nitrógeno Total.	Pág. 24
Figura 15a. Valores iniciales y finales de pH según sitio.	Pág. 26
Figura 15b. Valores iniciales y finales de pH según rotación.	Pág. 26
Figura 16a. Cambio en el pH según Sitio.	Pág. 27
Figura 16b. Cambio en el pH según rotación.	Pág. 27
Figura 17a. Valores iniciales y finales de conductividad eléctrica según Sitio.	Pág. 28
Figura 17b. Valores iniciales y finales de conductividad eléctrica según rotación.	Pág. 28
Figura 18a. Cambio en la Conductividad Eléctrica según Sitio.	Pág. 29
Figura 18b. Cambio en la Conductividad Eléctrica según rotación.	Pág. 29
Figura 19. Valores iniciales y finales de COT según las diferentes combinaciones de Sitio y Rotación.	Pág. 30
Figura 20. Cambio en el COT según las diferentes combinaciones de Sitio y Rotación.	Pág. 31
Figura 21a. Valores iniciales y finales de Nitrógeno Total según Sitio.	Pág. 33
Figura 21b. Valores iniciales y finales de Nitrógeno Total según Rotación.	Pág. 33
Figura 22a. Cambio en el Nitrógeno Total según Sitio.	Pág. 33
Figura 22b. Cambio en el Nitrógeno Total según rotación.	Pág. 33
Figura 23a. Valores iniciales y finales de C/N según Sitio.	Pág. 35
Figura 23b. Valores iniciales y finales de C/N según Rotación.	Pág. 35
Figura 24a. Cambio en la relación C/N según Sitio.	Pág. 35
Figura 24b. Cambio en la relación C/N según rotación.	Pág. 35
ÍNDICE DE ANEXOS	
TABLAS	
Tabla 1. Cantidades de N y P aplicadas por fertilizante para cada rotación para el establecimiento La Lucila y El Ranchito	Pág. 45
Tabla 2. Cantidades de N y P aplicadas por fertilizante para cada rotación para el establecimiento San Felipe (Lote San Francisco y Lote San Felipe o Lote 14).	Pág. 46

1. INTRODUCCIÓN

El incremento de la población mundial de los últimos años ha requerido una mayor producción de cultivos agrícolas (Andrade, 2016) como consecuencia de la mayor demanda de alimentos. Este cambio productivo implicó el empleo de paquetes tecnológicos basados en el uso excesivo del suelo y el monocultivo (Andrade, 2016; Bringezu *et al.*, 2010). Esta intensificación de la producción ha llevado al deterioro de las propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos (Micucci y Taboada, 2006; Barrios, 2011). Procesos como la erosión hídrica, la acidificación, la salinización, la pérdida de nutrientes y de materia orgánica, y la disminución de los procesos biológicos, han generado una estructura menos estable, de menor fertilidad y condiciones inadecuadas de aireación y retención de agua en el suelo (Casas, 2007).

Dentro de las prácticas utilizadas para disminuir el deterioro en las propiedades del suelo, la Siembra Directa (SD) es una alternativa ampliamente adoptada en Argentina y principalmente en Región Pampeana (Triplett y Dick, 2008). La SD es un sistema de labranza conservacionista donde se deja una cobertura superior al 30 % entre un cultivo y el siguiente (Karayel, 2009). Se realiza sobre el rastrojo del cultivo anterior con mínima remoción de suelo, sobre la línea de siembra y manteniendo la cobertura (Gargicevich, 1995). A partir de la década del 90' y la “*revolución verde*”, la SD fue tomando protagonismo acompañada de la inclusión de una mayor diversidad de agroquímicos y la aparición de materiales genéticamente modificados con resistencia a herbicidas. La adopción de la SD fue aumentando de forma progresiva, llegando a alcanzar el 90 % de la superficie cultivada en el país (Aapresid, 2019). Esto se debe a que la misma permite en el suelo, conservar la humedad, mantener los niveles de materia orgánica, y proteger de la erosión, lo cual se traduce en mejoras en los rendimientos de los cultivos (Alapin, 2008).

Los sistemas de labranza modifican los parámetros químicos del suelo (Urbanek y Horn, 2006; Wyngaard, 2010; Duval *et al.*, 2013; Barrios *et al.*, 2014). En este sentido, algunos autores afirman que el contenido de N se ve alterado por la labranza (Ramírez-Barrientos *et al.*, 2006; Diovisalvi *et al.*, 2008), otros hallaron mayor concentración y disponibilidad superficial de P en el suelo bajo SD (Guppy *et al.*, 2005) Asimismo, existen trabajos que mostraron que la labranza convencional reduce el contenido de materia orgánica del suelo. (Báez y Aguirre-Medina, 2011).

Si bien la SD es una herramienta de manejo válida para mitigar los efectos de la intensificación, resulta insuficiente si se lo utiliza como una única tecnología. Como complemento, dentro de las

prácticas más sustentables, se encuentran las rotaciones agrícolas, que también están incluidas dentro del conjunto de Buenas Prácticas Agrícolas (Tettamanti, 2015).

Las rotaciones agrícolas alternan cultivos con diferente hábito de crecimiento, distinta exploración radicular y necesidad de agua y nutrientes (Arnon, 1972).

La combinación resultante de los factores bióticos y abióticos (suelo y clima) presentes en las rotaciones agrícolas, termina favoreciendo el crecimiento y desarrollo de las especies de interés económico (Karleen *et al.*, 1994; Studdert y Echeverría, 2000; Ferrari, 2010). Sumado a estos beneficios, la rotación de cultivos disminuye la pérdida de suelos comparado con el monocultivo de soja, así como también disminuye la pérdida de agua por escurrimiento superficial (Flores y Sarandón, 2014). En este sentido, la intensificación en el manejo de las rotaciones en el incremento de los niveles de MO y mejoramiento de otras propiedades de suelo (Galantini *et al.*, 2008). En general la inclusión de gramíneas en la rotación mejora el balance de C del suelo por la cantidad y la calidad de los residuos, y la mayor cobertura del suelo. Se observa que, la mayor frecuencia de soja en las rotaciones con respecto al maíz o el sorgo tiene un impacto negativo sobre el contenido de MO (Sttudet y Echeverría, 2000). La implementación de rotaciones en SD permite mejorar los rendimientos de los cultivos y las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo incrementando el contenido de MO y P extractable. Además, la inclusión de leguminosas aporta N en el suelo (García, 2011).

Si bien la rotación agrícola tiene grandes beneficios sobre las propiedades del suelo, el monocultivo de soja se encuentra muy difundido en la Región Pampeana. El mismo está caracterizado por un bajo aporte de rastrojo, que impacta negativamente en el COT del suelo; reduce los niveles de reposición de nutrientes del suelo y en consecuencia los rendimientos. Debido a los largos períodos de barbecho invernal, en los cuales el suelo se encuentra expuesto a la erosión hídrica por la escasa cobertura y baja infiltración; el monocultivo de soja compromete la sustentabilidad del sistema productivo favoreciendo, además, la pérdida de estructura y la compactación del suelo (Kindernecht *et al.*, 2004).

Existen diversos planteos de rotaciones agrícolas que varían en cuanto a su intensidad según la cantidad de cultivos que se incluyen en las mismas. Al hablar de rotaciones agrícolas en la Región Pampeana, se puede mencionar la rotación integrada comúnmente por la secuencia de los cultivos de trigo/soja de segunda - maíz - soja de primera. Este modelo, permite un mayor nivel de reposición de nutrientes y una menor compactación del suelo (Álvarez *et al.*, 2014). Por otro lado, en una rotación intensificada, se incluye una leguminosa invernal adicional antecediendo al maíz de segunda (trigo/soja de segunda – arveja/maíz de segunda- soja de primera). Se ha verificado, que la respuesta de cereales precedidos de leguminosa es muy positiva en cuanto a rendimiento ya que mejora la

disponibilidad de N (Diez *et al.*, 2012) y mejora la estructura del suelo (Peoples y Herridge, 1990). También se observó un aumento considerable en el COT del suelo por el aporte adicional de rastrojo y un menor consumo de agua que otro cultivo de invierno (Agosti, 2016).

Existen numerosas investigaciones que muestran el impacto de la agricultura en la calidad del suelo en la Argentina. Michelena *et al.* (1989) hallaron una disminución de la calidad del suelo por la agricultura. El COT, el NT, el fósforo extractable, el pH, la estabilidad de los agregados y la tasa de infiltración fueron los parámetros evaluados que sufrieron las mayores variaciones. Campitelli *et al.* (2010), en un trabajo realizado en la zona central de Córdoba, hallaron una disminución del C y sus fracciones, macronutrientes (N total y P extractable) a medida que se prolongan los años de agricultura y se incrementan las prácticas tales como monocultivo de soja, evidenciando el deterioro de la calidad del suelo. Estudios recientes sugieren que el deterioro físico de los suelos, producto de planteos agrícolas con bajos aportes de carbono, podrían estar limitando los niveles productivos en la región pampeana (Bacigaluppo *et al.*, 2011; Sasal, 2012). Rotaciones más intensas y con mayor proporción de gramíneas que las utilizadas tradicionalmente permitirían mayores aportes de rastrojo y de carbono (Studdert y Echeverría, 2000), y mejoras en la estructura del suelo y el balance de agua (Sasal, 2012; Havlin, 1990), contribuyendo a estabilizar la producción y elevar los rendimientos, y a aumentar la eficiencia en el uso de recursos (Caviglia *et al.*, 2004 y Romaniuk *et al.* 2018), como así la actividad biológica del suelo (D'Acunto *et al.*, 2018). Sin embargo, son escasos los estudios encontrados acerca de los cambios de las propiedades químicas de suelos de Región Pampeana bajo diferentes rotaciones agrícolas. En este sentido el presente trabajo tratará de aportar conocimientos acerca del efecto que tienen las rotaciones con diferentes intensidades en sitios edafoclimáticos distintos, sobre las propiedades químicas de suelos de Región Pampeana.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto de rotaciones agrícolas sobre las propiedades químicas de diferentes suelos de la Región Pampeana, luego de cinco años de establecidas dichas rotaciones.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1- Estudiar el efecto del factor Rotación (monocultivo de soja, rotación de tercios y rotación intensiva) y el factor Sitio (San Felipe, San Francisco, La Lucila y El Ranchito) sobre el pH del suelo luego de cinco años de instalada la rotación agrícola.
- 2- Estudiar el efecto del factor Rotación (monocultivo de soja, rotación de tercios y rotación intensiva) y el factor Sitio (San Felipe, San Francisco, La Lucila y El Ranchito) sobre la conductividad eléctrica del suelo luego de cinco años de instalada la rotación agrícola.
- 3- Estudiar el efecto del factor Rotación (monocultivo de soja, rotación de tercios y rotación intensiva) y el factor Sitio (San Felipe, San Francisco, La Lucila y El Ranchito) sobre el carbono orgánico total del suelo luego de cinco años de instalada la rotación agrícola.
- 4- Estudiar el efecto del factor Rotación (monocultivo de soja, rotación de tercios y rotación intensiva) y el factor Sitio (San Felipe, San Francisco, La Lucila y El Ranchito) sobre el N total del suelo luego de cinco años de instalada la rotación agrícola.
- 5- Estudiar el efecto del factor Rotación (monocultivo de soja, rotación de tercios y rotación intensiva) y el factor Sitio (San Felipe, San Francisco, La Lucila y El Ranchito) sobre la relación C/N luego de cinco años de instalada la rotación agrícola.

3. HIPÓTESIS

3.1. HIPÓTESIS GENERAL

Las diferentes rotaciones agrícolas modifican las propiedades químicas de los suelos de Región Pampeana, luego de cinco años de establecidas dichas rotaciones.

3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- 1- Luego de cinco años el factor Sitio y el factor Rotación generan cambios sobre el pH del suelo en Región Pampeana.
- 2- Luego de cinco años el factor Sitio y el factor Rotación generan cambios sobre la conductividad eléctrica del suelo en Región Pampeana.
- 3- Luego de cinco años el factor Sitio y el factor Rotación generan cambios sobre el carbono orgánico total del suelo en Región Pampeana.
- 4- Luego de cinco años el factor Sitio y el factor Rotación generan cambios sobre sobre el N total del suelo en Región Pampeana.
- 5- Luego de cinco años el factor Sitio y el factor Rotación generan cambios sobre la relación C/N del suelo en Región Pampeana.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

La Región Pampeana es un área geográfica extensa, mayormente plana y de escasa altitud, que se localiza en el centro-este del territorio argentino y se encuentra limitada por diferentes accidentes geográficos y aspectos físicos (Giuseppucci, 2015). Dicha región abarca la provincia de Buenos Aires, centro y sur de la provincia de Santa Fe, sudeste de la provincia de Córdoba y la provincia de La Pampa en su sector oriental especialmente. Particularmente, dentro de la provincia de Buenos Aires - superficie de 307.571 km² , se distinguen ocho subregiones diferentes (Figura 1) en base a características geomorfológicas, edáficas y de vegetación (Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios de la Nación, 2006) entre las que se encuentran la Pampa Ondulada y la Pampa Arenosa, regiones donde se localizan los ensayos del presente trabajo.

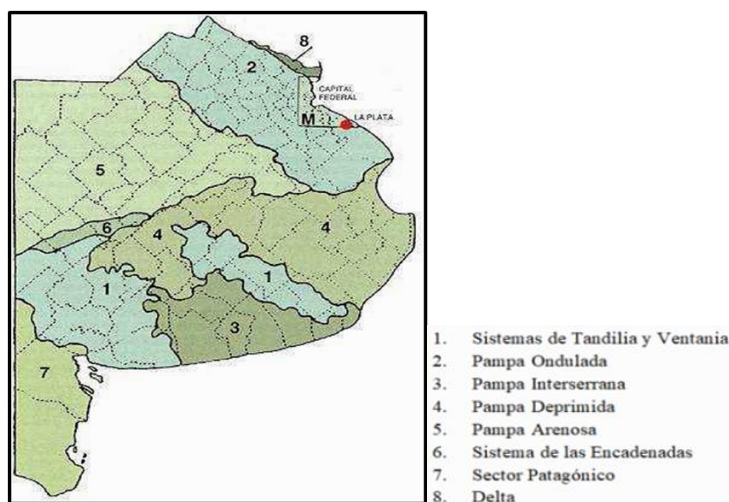


Figura 1. Regiones geográficas de la provincia de Buenos Aires

Fuente: Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios de la Nación. 2006.

La Pampa Arenosa está ubicada al noroeste de la provincia de Buenos Aires, delimitada al noreste por el Río Salado, al sudeste por el arroyo Vallimanca y al sur por el sistema hidrológico de las lagunas Las Encadenadas. Esta subregión se caracteriza por tener un clima templado sub-húmedo con época seca en invierno y una precipitación media anual que varía entre 700 y 800 mm, disminuyendo hacia el oeste. Su paisaje marcado por una llanura de pendiente suave de 0,25 % en promedio, se puede diferenciar en dos áreas bien definidas, la zona norte o de médanos longitudinales y la zona sur o de dunas parabólicas. Sus suelos, de aptitud agrícola-ganadera, son mayormente de textura franco-

arenosa, pobremente provistos de materia orgánica y con falta de estructura en superficie, por lo que son muy susceptibles a presentar erosión eólica (PROSAP, 2010; Giuseppucci, 2015). La baja pendiente junto con la granulometría y la elevada capacidad de infiltración de los suelos, favorecen el desplazamiento vertical del agua sobre el horizonte (Irigoin, 2004), resultando en la ausencia de vías naturales de drenaje.

La Pampa Ondulada, por su parte, está ubicada al noreste de la Provincia de Buenos Aires y delimitada por los ríos Paraná, La Plata y Salado. Se caracteriza por presentar un clima templado-húmedo con precipitaciones medias anuales superiores a los 900 mm. Presenta un paisaje con pendientes largas (700-1500m), unidireccionales con valores que varían entre el 1 y el 3 %. Por lo tanto, esta región posee una red de drenaje bien definida a nivel de cuencas y microcuencas que sumado a las precipitaciones la hacen muy susceptible a la erosión hídrica. Los suelos son mayormente de textura franco-limosa, con buena provisión de materia orgánica, aptos para la actividad agrícola y ganadera (PROSAP, 2010; Giuseppucci, 2015).

4.2. UBICACIÓN DE LOS ESTABLECIMIENTOS

El muestreo de suelos se realizó en cuatro lotes homogéneos pertenecientes a tres establecimientos productivos, que forman parte del grupo CREA (Consortios Regionales de Experimentación Agrícola), ubicados en la Región Pampeana, provincia de Buenos Aires (Figura 1). El establecimiento San Felipe se localiza en Pampa Arenosa, al oeste de la provincia de Buenos Aires y dentro del mismo se trabajó con el lote San Francisco y el lote 14, también llamado San Felipe. Por su parte, los dos establecimientos restantes, El Ranchito y La Lucila, se ubican en Pampa Ondulada al norte de la provincia.



Figura 2. Imagen satelital de Pampa Ondulada y Pampa Arenosa (Interior). Ubicación de campos.

Fuente: Imagen Google Earth Pro, 2020.

El establecimiento San Felipe se localiza en el partido de Bragado a 35° 02' 52" de Latitud Sur y 60° 39' 00" de Latitud Oeste, provincia de Buenos Aires, Argentina. Se sitúa a una distancia de 20 km de la ciudad de Bragado y 246 km de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. En la Figura 3 se muestra la ubicación del lote 14 y el lote San Francisco.



Figura 3. Imagen satelital del Establecimiento San Felipe.

Los polígonos amarillos corresponden al perímetro de los ensayos realizados en el establecimiento. Fuente:

Imagen Google Earth Pro, 2020.

El establecimiento El Ranchito se encuentra localizado en el partido de Arrecifes, 34° 00' 14" de Latitud Sur y 59° 53' 32" de Longitud Oeste, provincia de Buenos Aires, Argentina. Se ubica a una distancia de 20,5 km del casco urbano de Arrecifes y 194 km de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. En la Figura 4 se muestra la ubicación del lote del ensayo.

Comentario [MB1]: Todos los mapas no tienen escala o yo no la distingo

Comentario [FL2]:



Figura 4. Imagen satelital del Establecimiento El Ranchito.

El polígono amarillo corresponde al perímetro del ensayo realizado en el establecimiento. Fuente: Imagen Google Earth Pro, 2020.

El establecimiento La Lucila se localiza en el partido de Pergamino, 33° 54' 47" de Latitud Sur y 60° 23' 42" de Latitud Oeste, provincia de Buenos Aires. Se encuentra sobre la ruta nacional N°8, a una distancia de 17 km de la ciudad de Pergamino y 211 km de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. En la Figura 4 se muestra la ubicación del lote del ensayo.



Figura 5. Imagen satelital de establecimiento La Lucila.

El polígono amarillo corresponde al perímetro del ensayo realizado en el establecimiento. Fuente: Imagen Google Earth Pro, 2020.

CARACTERÍSTICAS EDAFOCLIMÁTICAS

4.3.1. Suelo

Dentro de la extensión del establecimiento San Felipe se identifican cinco unidades cartográficas de suelos diferentes, dos complejos, una asociación y una consociación, lo cual refleja la heterogeneidad de los suelos presentes (Figura 6). Por esta razón, para la realización del ensayo se seleccionaron dos lotes homogéneos pero diferentes entre sí. En el lote 14 (en adelante lote San Felipe) predomina la serie Estación Naón un suelo Hapludol Típico, Franca fina, mixta, térmica (USDA- Soil Taxonomy V. 2006), profundo, con aptitud agrícola, en un paisaje de lomas arenosas, situada en posición de loma, en Pampa Arenosa, algo excesivamente drenado, desarrollado a partir de un sedimento de acumulaciones arenosas, no alcalino, no salino, con pendientes entre 0,5 y 1 %. En el lote San Francisco predomina la serie Norumbega. Es un suelo Hapludol Éntico, Franca gruesa, mixta, térmica (USDA- Soil Taxonomy V. 2006), profundo, arenoso, con escaso desarrollo, de aptitud agrícola paisaje de cordones medianosos con relieve suavemente ondulado, en posición de crestas de lomas y medias lomas de Pampa Arenosa, algo excesivamente drenado, evolucionado sobre sedimentos eólico arenosos, no alcalino, no salino con pendiente predominante de 1 %.



Figura 6. Unidades cartográficas establecimiento San Felipe. Hoja Máximo Fernández 3560-20-2 1:50.000. Los polígonos amarillos corresponden al perímetro de los ensayos realizados en el establecimiento.

Fuente: Visor GeoINTA y Carta de suelos de la República Argentina. INTA.

La secuencia de horizontes, su profundidad, contenido de Carbono Orgánico total (COT), N, pH, PSI (Porcentaje de Sodio Intercambiable) y clase textural de cada serie se observa en la Tabla 1 y Tabla 2.

Tabla 1. Datos analíticos del perfil de la serie Estación Naón. Lote San Felipe

	Profundidad (cm)	COT (%)	NT (%)	pH (H ₂ O 1:2,5)	PSI (%)	Clase textural
Ap	0-15	2,24	0,175	6,6	1,5	Franco arenosa
A	15-30	1,45	0,115	6,6	1,9	Franco arenosa
Bw	30-48	0,69	0,067	6,8	2,2	Franco arenosa
BC	48-69	0,56	0,052	7,0	2,4	Franco arenosa
C	69-80	0,40	0,045	7,3	2,4	Franco arenosa

COT: Carbono Orgánico Total; NT (Nitrógeno total); PSI: porcentaje de sodio intercambiable. Fuente: Carta de suelos de la República Argentina. INTA.

Tabla 2. Datos analíticos del perfil de la serie Norumbega. Lote San Francisco

	Profundidad (cm)	COT (%)	NT (%)	pH (H ₂ O 1:2,5)	PSI (%)	Clase textural
A	0-25	2,30	0,126	6,5	1,5	franco arenoso
AC	25-50	0,90	0,055	6,9	4,7	franco arenoso
C	50-100	0,40	NA	6,5	1,7	franco arenoso

COT: Carbono Orgánico Total; NT (Nitrógeno total); PSI: porcentaje de sodio intercambiable. Fuente: Carta de suelos de la República Argentina. INTA.

El establecimiento El Ranchito está representado por una consociación de la serie Arrecifes (100%); un suelo Argiudol Acuico (Soil Taxonomy V. 2006) que ocupa la posición de lomas de Pampa Ondula presentando, en algunas zonas, fases erosionadas y engrosadas (Figura 7). El horizonte Bt posee un elevado contenido de arcilla (entre 38,4 y 48,1 %) y presenta abundantes barnices “clays skins”. Posee moteados comunes desde los 18 cm, es bien drenado y con una pendiente de 1 a 3 %. No presenta problemas de salinidad o alcalinidad.

**Figura 7.** Unidades cartográficas establecimiento El Ranchito. Hoja Arrecifes N° 3560-3-2 1:50.000

El polígono amarillo corresponde al perímetro del ensayo realizado en el establecimiento. Fuente: Visor GeoINTA y Carta de suelos de la República Argentina. INTA

La secuencia de horizontes, su profundidad, contenido de COT, N, pH, PSI y clase textural de la serie se observa en la Tabla 3.

Tabla 3. Datos analíticos del perfil de serie Arrecifes. Establecimiento El Ranchito

	Profundidad (cm)	COT (%)	NT (%)	pH (H ₂ O 1:2,5)	PSI (%)	Clase textural
Ap	0-18	3,48	0,183	6,1	0,8	franco limoso
ABt	18-27	2,22	0,145	6,3	1,2	franco arcillo limoso
Bt	27-60	1,20	0,082	6,9	1,2	arcillo limoso
Bt	60-80	0,68	0,052	7,2	1,5	franco arcillo limoso
BC1	80-105	0,46	0,045	7,3	1,7	franco arcillo limoso
BC2	105-135	0,36	0,029	6,9	1,4	franco limoso
2Ck	135-160	0,31	0,025	8,5	1,9	franco limoso

COT: Carbono Orgánico Total; NT (Nitrógeno total); PSI: porcentaje de sodio intercambiable. Fuente: Carta de suelos de la República Argentina. INTA

El establecimiento La Lucila está representado por una consociación de la serie Urquiza (100 %), un suelo Paleudol Típico, Fino, illítico y térmico (USDA-Soil Taxonomy 2006) muy oscuro y profundo, de aptitud agrícola, que se encuentra en un paisaje de planos altos extendidos en posición de loma de Pampa Ondulada, moderadamente bien drenado, formado en sedimentos loésicos, franco limoso, no alcalino, no sódico, con pendientes de 0,5 - 1 % (Figura 8).



Figura 8. Unidades cartográficas establecimiento La Lucila. Hoja Juan Anchorena N° 3360-33-3. 1:50.000. El polígono amarillo corresponde al perímetro del ensayo realizado en el establecimiento.

Fuente: Visor GeoINTA y Carta de suelos de la República Argentina. INTA

La secuencia de horizontes, su profundidad, el contenido de COT, NT, pH y PSI y la clase textural de la serie se observa en la Tabla 4.

Tabla 4. Datos analíticos del perfil de la serie Urquiza.

	Profundidad (cm)	COT (%)	NT (%)	pH (H₂O 1:2,5)	PSI (%)	Clase textural
Ap1	0-14	3,41	0,198	5,4	1,4	franco limoso
Ap2	14-28	2,79	0,156	5,5	2,4	franco limoso
AB	28-38	1,91	0,110	5,5	2,0	franco arcillo limoso
Bt1	38-70	1,20	0,074	6,0	2,5	arcillo limoso
Bt2	70-100	0,60	0,044	6,5	2,0	franco arcillo limoso
Bt3	100-130	0,34	NA	6,6	1,8	franco arcillo limoso
BC	130-180	0,17	NA	6,5	2,8	franco arcillo limoso
BCkc	180-220	0,12	NA	7,5	2,8	franco limoso
Ck	220-250	0,10	NA	7,8	NA	franco limoso

COT: Carbono Orgánico Total; NT (Nitrógeno total); PSI: porcentaje de sodio intercambiable. Fuente: Carta de suelos de la República Argentina. INTA.

En la Tabla 5 se puede observar el porcentaje de arenas, limos y arcillas y la clase textural de cada establecimiento realizado en el laboratorio de suelos de la FCA-UNLZ, valores previos a la instalación de las rotaciones agrícolas en el año 2014. Se observan dos clases texturales diferentes, los suelos de los lotes del establecimiento San Felipe son francos arenosos y, por otro lado, tanto el establecimiento El Ranchito como La Lucila presentan suelos franco limosos.

Tabla 5. Porcentaje de arena, limo y arcilla y clase textural de cada establecimiento estudiado.

Establecimiento	Profundidad	% arena	% limo	% arcilla	Clase textural
San Felipe - Lote 14	0-20 cm	54	28	18	Franco arenosa
San Felipe – Lote San Francisco	0-20 cm	69	19	12	Franco arenosa
El Ranchito	0-20 cm	15	62	23	Franco limosa
La Lucila	0-20 cm	13	65	22	Franco limosa

Clase textural método del hidrómetro (Bouyoucos) según SAMLA (2004) utilizando el triángulo USDA (1978).

En la Tabla 6, se detallan los valores iniciales (previos a la instalación de las rotaciones agrícolas en el año 2014) de las propiedades químicas de los suelos de los establecimientos estudiados a una profundidad de 0 a 20 cm. En todos los establecimientos, los valores de pH son moderadamente ácidos (Campillo & Sadzawca, 2006) y son no salinos, siempre menores a 2 ds m⁻¹ (Andrades y Martínez, 2014). Por otro lado, el Carbono Orgánico Total (COT) varía de pobremente desprovisto (1,25 - 1,50 %) en el establecimiento San Felipe (lotes San Felipe y San Francisco) a moderadamente provisto (1,50 - 2,0 %) en El Ranchito y La Lucila (Vázquez y Terminiello, 2008); el contenido de Nitrógeno Total (NT) varía de medio (0,10 a 0,15 %) en San Francisco a rico (0,15 - 0,25 %) en los demás y la

C/N varía de mediana (10 a 15) en San Francisco a baja (8 a 10) en los demás (Tavera, 1985). Se destaca que el lote La Lucila es el que presenta los mayores contenidos de COT y San Francisco los menores valores de NT. En cuanto a la CE y la pH si bien hay diferencias significativas ($p < 0,05$), no son variaciones importantes a nivel agronómico.

Tabla 6. Valores químicos iniciales (previos a las rotaciones, año 2014) de los establecimientos.

	pH	CE (dS/m)	COT (%)	NT (%)	C/N
Promedio Lote 14	5,4 a	0,11 a	1,45 a	0,18 b	8,05 a
<i>Desvío estándar Lote 14</i>	<i>0,13</i>	<i>72,65</i>	<i>0,28</i>	<i>0,02</i>	<i>0,62</i>
Promedio de San Francisco	5,8 b	0,11 a	1,37 a	0,12 a	11,42 b
<i>Desvío estándar de San Francisco</i>	<i>0,08</i>	<i>30,72</i>	<i>0,07</i>	<i>0,01</i>	<i>0,27</i>
Promedio de El Ranchito	5,6 ab	0,10 a	1,53 a	0,21 bc	7,28 a
<i>Desvío estándar de El Ranchito</i>	<i>0,15</i>	<i>56,06</i>	<i>0,12</i>	<i>0,04</i>	<i>1,18</i>
Promedio de La Lucila	5,5 a	0,24 b	1,99 b	0,23 c	8,65 a
<i>Desvío estándar de La Lucila</i>	<i>0,23</i>	<i>25,26</i>	<i>0,09</i>	<i>0,02</i>	<i>1,58</i>

pH y CE: Conductividad eléctrica por potencimetría en agua 1:2,5 (SAMPLA, 2004); COT: Carbono Orgánico Total por Walkley y Black (Jackson, 1976); NT: Nitrógeno total por micrométodo Kjeldahl (SAMPLA, 2004). Letras diferentes muestran diferencias significativas entre los sitios según Tukey ($p < 0,05$).

4.3.2. Clima

El establecimiento San Felipe (lotes San Felipe y San Francisco) posee un clima templado-húmedo. Su temperatura media anual es de 16,5 °C, y oscila entre 9,3 °C y 23,6 °C, temperaturas correspondientes respectivamente a julio, el mes más frío, y a enero, el mes más cálido. La temperatura máxima anual media es de 22,6 °C, varía entre 14,5 °C y 30 °C y la temperatura mínima anual media es de 10,4 °C con un rango que varía entre 4 °C y 16,7 °C. Presenta un régimen de precipitaciones isohigro que alcanza un promedio anual de 1060,3 mm, y concentra la mayor parte de las mismas en los meses de primavera-verano (octubre a abril). La pluviometría media mensual fluctúa entre 35,2 mm en el mes de agosto y 144,8 mm correspondiente en el mes de marzo (Figura 9). La humedad relativa media anual es de 71,2 %, siendo más baja en los meses de verano debido al efecto de las temperaturas más elevadas y menores durante el otoño-invierno (SMN).

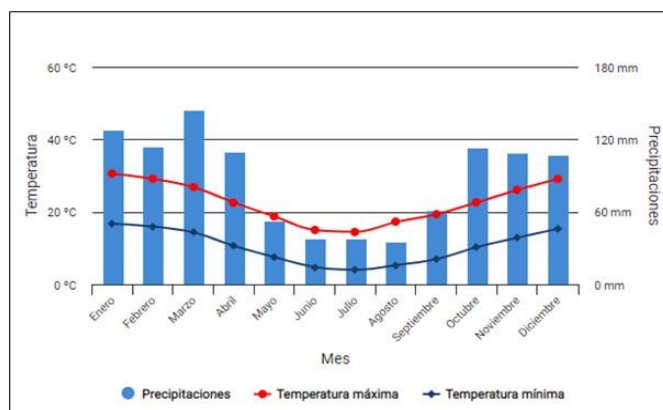


Figura 9. Valores climatológicos medios del período 1981-2010, Estación 9 de Julio.

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

Los establecimientos El Ranchito y La Lucila poseen un clima templado-húmedo, una temperatura anual promedio de 16,4 °C que varía entre 9,3 °C en el mes más frío (julio) y 23,3 °C del mes más cálido (enero). Su temperatura máxima anual media es de 22,7 °C, con un rango que varía de 15 a 29,8 °C, mientras que la mínima anual media de 10,2 °C oscila entre 3,6 y 16,6 °C. El régimen de precipitaciones es isohigro, con un promedio anual de 1044,1 mm con su mínimo en junio con una media de 26,8 mm y su máximo en marzo con un promedio de 133,2 mm (Figura 9). La humedad relativa tiene un promedio de 73,4 % anual, presentando sus valores más bajos en verano y los más altos en los meses de menor temperatura. Los vientos que cruzan la región lo hacen a una velocidad promedio de 12,1 km/h en sentido sudoeste-noreste (SMN).

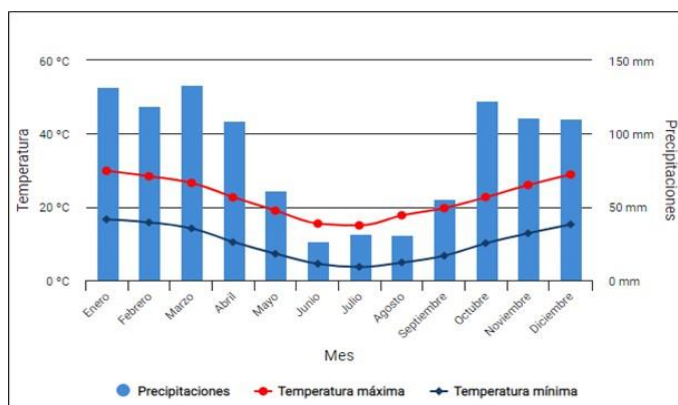


Figura 10. Valores climatológicos medios del período 1981-2010, Estación Junín.

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

4.4. DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS

El diseño experimental fue completamente aleatorizado (en arreglo factorial) con dos repeticiones, con cuatro niveles de sitio: establecimiento San Felipe Lote 14 (SFE); establecimiento San Felipe lote San Francisco (SFR), establecimiento La Lucila (LL) y establecimiento El Ranchito (ER), y tres niveles de rotación: Sin Rotación (SR); Rotación de Tercios (RT) y Rotación Intensificada (RI). En todos los establecimientos se trabajó bajo siembra directa, sin realizar ningún movimiento de suelo, dejando el residuo en superficie luego de la cosecha anterior y aplicando un desecante para control de malezas. En las parcelas bajo RT se utilizó una rotación Trigo/Soja 2° - Maíz - Soja 1°; en RI se utilizó una rotación agrícola que consistió en una rotación Trigo/Soja 2° - Arveja/Maíz - Soja 1° y las parcelas cuyo tratamiento fue SR consistieron en monocultivo de Soja. Las semillas fueron inoculadas para potenciar la fijación biológica de N.

Dentro de cada establecimiento se seleccionó una superficie de 200 m x 200 m de suelo homogéneo donde se confeccionaron las unidades experimentales. Cada unidad experimental (parcela) presentó una superficie de 200 m x 25 m (0,5 hectáreas). Los ensayos iniciaron en el año 2014 y el estudio se realizó sobre muestras de suelo tomadas al inicio y en el mes de julio del año 2019, cinco años después de iniciada la rotación agrícola (mayor detalle en el apartado de Metodología). Durante los años de ensayo se efectuaron en los mismos las tareas habituales de control de malezas, plagas y enfermedades, de acuerdo a la intensidad con la que se presentaron las mismas. Además, se realizaron prácticas de fertilización para las cuales se utilizaron criterios de reposición y reconstrucción para altos rendimientos. En Anexos tablas 1 y 2 se observan las cantidades de N y P aplicadas en cada ciclo de cada cultivo y en cada establecimiento.

Comentario [FL3]: "como se hizo el muestreo y que cantidad de muestras se evaluaron?"
comentario de JP

4.5. PROPIEDADES QUÍMICAS ESTUDIADAS Y METODOLOGÍA EMPLEADA

Sobre muestras compuestas de suelo, a partir de 15 submuestras extraídas de cada unidad experimental y a una profundidad de 0-20 cm se determinaron las siguientes propiedades: potencial de Hidrógeno (pH); Conductividad Eléctrica (CE); contenido de Carbono Orgánico Total (COT); contenido de Nitrógeno Total (NT). Todas las determinaciones se realizaron por duplicado y se llevaron a cabo en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNLZ.

4.5.1. Potencial de Hidrógeno

El potencial de Hidrógeno (pH) del suelo es una propiedad química del suelo que refleja, en forma aproximada, la actividad de los iones hidrógenos (H^+) de la solución del suelo. El concepto de pH se basa en el producto iónico del agua pura (25 °C) donde $pK_w = 14$, es decir $pH + pOH = 14$. Por definición el pH de un ácido es menor a 7 y el de una base mayor a 7. El pH del suelo se determinó por potenciometría realizando una suspensión del mismo con agua destilada en una relación 1:2,5 (m/v) según metodología descrita por SAMLA (2004). Este método se basa en la medición de la diferencia de potencial producido en un circuito eléctrico a partir de esa suspensión de suelo. Para ello, debe haber un electrodo de referencia y otro indicador de los cambios de la concentración de la solución. Se utilizó un pH-metro (Microprocessor pH Meter) marca HANNA modelo pH 211, con ajuste y control de temperatura (Figura 11). Se pesaron 20 g de cada muestra de suelo seco y tamizado por 2 mm (2.000 μ) en un vaso plástico, se añadieron 50 mL del agua destilada para realizar la suspensión, agitando durante 30 segundos. Se dejó en reposo una hora. Antes de la medición se calibró el pH-metro con las soluciones patrón (Buffer) de pH=4; pH=7 y pH=10. Una vez transcurrido el tiempo se procede a leer manteniendo la muestra en agitación, lavando los electrodos con agua destilada entre determinaciones y realizando el procedimiento por duplicado de cada muestra.



Figura 11a. pH-metro. **Figura 11b.** Medición del pH

4.5.2. Conductividad Eléctrica

La Conductividad Eléctrica (CE) permite medir la cantidad de sales presentes en una muestra de suelo. La CE se determinó por potenciometría preparando una suspensión de suelo y agua destilada en una relación 1:2,5 (m/v) según metodología descrita por SAMLA (2004). La técnica consistió en realizar una suspensión en relación suelo/agua 1:2,5, y determinar a los 10 minutos la CE con un conductímetro ORION modelo 20 a 20 °C (Figura 12).



Figura 12. Conductímetro.

4.5.3. Carbono Orgánico Total

El Carbono Orgánico Total (COT) del suelo se determinó por vía húmeda (micrométodo) como se observa en la Figura 13. El método se basa en el procedimiento propuesto por Walkley & Black (Jackson, 1976), en el que el carbono es oxidado con una solución de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) y ácido sulfúrico concentrado al 98 % (H_2SO_4). En la oxidación del carbono orgánico del suelo por acción del dicromato actuando en medio ácido se considera al carbono de la materia orgánica en estado de oxidación “cero”. El exceso de dicromato se tituló con un agente reductor: sulfato ferroso. Para determinar el COT se pesó entre 100-120 mg de suelo seco y tamizado por 0,5 mm en tubos de ensayo rotulados. Se agregó con micropipeta 1,5 mL de $K_2Cr_2O_7$ 1N. Luego se agregaron 3 mL de H_2SO_4 concentrado y se mezcló suavemente con movimiento de rotación. Se dejó en reposo durante 20 min colocando los tubos dentro de caja de telgopor para mantener la temperatura y evitar la pérdida de calor. Pasado el tiempo se agregó agua destilada hasta la mitad del tubo, se agitó y dejó enfriar en heladera durante 20 min para detener la reacción. Antes de titular se agregaron 3 gotas de indicador Ferroína previamente homogeneizado. La titulación se realizó con sulfato ferroso o Sal de Mohr 0,3 N en agitación con un agitador de pecera hasta viraje del color (punto final rojo), realizando simultáneamente ensayos en blanco. Para el cálculo de COT en % se utilizó la siguiente fórmula:

$$COT \% = \frac{(B-M) \times 0,3 \times 300}{P_M \times 0,82}$$

Siendo: B: volumen (mL) de sal consumido por el Blanco; M: volumen (mL) de sal consumido por la Muestra; PM: Peso de la Muestra (mg); 0,3: Normalidad de la sal; 300: Corresponde a la transformación de meq de C a mg y por 100 mg de suelo; 0,82: Factor de corrección por oxidación (82 %).



Figura 13. Determinación del Carbono Orgánico Total.

4.5.4. Nitrógeno Total

El Nitrógeno Total del suelo (NT) se determinó por Kjeldahl según metodología descrita por SAMLA (2004), según el SemiMicroMétodo Kjeldahl (Figura 14). El N de cada muestra es convertido a amonio (NH_4^+) por digestión con ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado; el NH_4^+ se determina a partir de la cantidad de amoníaco (NH_3) liberado por destilación del digesto con álcali. Este NH_3 es recogido en ácido bórico (H_3BO_3) y titulado con H_2SO_4 valorado. El punto final de la titulación se establece por el viraje del color (con una mezcla de indicadores verde de bromocresol y rojo de metilo), de verde-turquesa a gris rosado (color intermedio entre el verde turquesa y el rojo vinoso). El procedimiento se desarrolló en tres etapas:

1ra Etapa: Digestión húmeda de la muestra para convertir las distintas formas de N a NH_4^+ . En el balón de digestión se pesaron 0,25 g de la muestra de suelo seca y tamizada por 500 μ . Se agregó un 1 g de mezcla catalítica de sales a cada balón, 2 mL de agua destilada y 3 mL de H_2SO_4 concentrado y se agitó manualmente. Se llevó a digestor hasta que el digesto adquirió color verde pálido.

2da Etapa: Destilación: determinación de NH_4^+ en el digesto. Se trasvasó el digesto a un matraz de 50 mL, llevándolo a volumen con agua destilada. Se tomó una alícuota de 10 mL y colocó en el destilador micro-Kjeldahl, agregando 5 mL de NaOH para neutralizar y luego 10 mL de agua destilada. El destilado se recibió en un Erlenmeyer de 50 mL conteniendo 5 mL de la mezcla ácido bórico-

indicador. A los tres minutos de destilar aproximadamente se obtuvieron unos 20 mL de solución, al tiempo que se observó que la solución pasaba de color rojo vinoso a verde brillante. *3era Etapa: Titulación:* se tituló el NH_3 destilado con 0,005 N de H_2SO_4 hasta obtener color gris rosado. Paralelamente se desarrolló y tituló un blanco. Para calcular el % de NT se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Nt} = \frac{(\text{Vm} - \text{Vb}) \times 35}{\text{P}}$$

Siendo: Vm: Volumen (mL) de solución 0,005 N de H_2SO_4 empleados en la titulación de la muestra; Vb: Volumen (mL) de solución 0,005 N de H_2SO_4 empleados en la titulación del blanco; P: peso (mg) de la muestra de suelo; 35: Factor resultado del siguiente cálculo:

$$\% \text{ Nt} = \frac{0,005 \times 14 \times 50 \times 100}{10}$$

Donde:

0,005: es la normalidad del ácido sulfúrico; 14: es el peso del miliequivalente del N; 50: es el volumen al que se llevó la totalidad de la muestra; 10: es el volumen de la alícuota destilada; 100: para expresar el resultado en porcentaje con respecto al suelo.



Figura 14. Determinación de Nitrógeno Total por Kjeldahl.

4.5.5. Relación Carbono/Nitrógeno

La relación Carbono/Nitrógeno (C/N) es un valor numérico que indica la proporción de Carbono y Nitrógeno presente en un suelo. Dicha relación se determinó mediante el cociente entre COT/NT.

~~Colocar donde se realizaron las determinaciones en general~~

4.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los efectos de los tratamientos y las clases texturales contrastantes sobre los parámetros medidos, se evaluaron estadísticamente mediante un análisis de varianza utilizando el programa estadístico INFOSTAT versión 1.1. (Di Rienzo *et al.*, 2020). Las medias significativamente diferentes se separaron usando test de Tukey ($p < 0,05$).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El efecto de la rotación agrícola en sitios con diferentes características edafoclimáticas se estudió a través de las propiedades químicas de suelo pH, CE, NT, COT y relación C/N. Dadas las diferencias observadas en algunas de estas propiedades durante la caracterización inicial de los sitios (año 2014), y para poder realizar comparaciones, se trabajó con la variación absoluta entre valores iniciales y aquellos obtenidos al finalizar el ensayo (año 2019). En las secciones siguientes se presentan los valores iniciales, finales y la variación absoluta para cada una de las propiedades de suelo en estudio, y se evalúa el efecto del factor Rotación y el factor Sitio sobre la variación absoluta de la propiedad correspondiente.

5.1. POTENCIAL DE HIDRÓGENO: pH

En la figura 15a y 15b se observan los valores iniciales y finales de pH para cada Sitio y para cada Rotación agrícola. Primeramente, se muestran los datos considerando solo el factor Sitio y luego se muestran los datos considerando solo el factor Rotación agrícola. Los valores de pH del suelo encontrados corresponden a suelos moderadamente ácidos (Campillo & Sadzawca, 2006). Según el sitio, el mayor incremento en el pH se dio en LL y en el resto de los sitios, los valores disminuyeron levemente. Por otro lado, al analizar los valores de pH según rotación, los valores iniciales y finales resultaron similares.

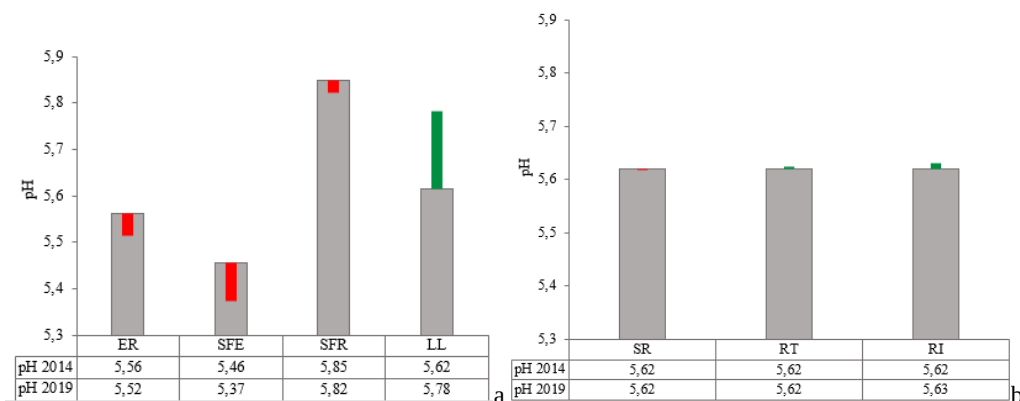


Figura 15. Valores iniciales y finales de pH. 15a según sitio y 15b según rotación.

ER: El Ranchito, SFE: San Felipe, SFR: San Francisco, LL: La Lucila; SR: Sin Rotación, RT: Rotación de Tercios, RI: Rotación intensificada. Las barras grises representan los valores iniciales correspondientes al año 2014. Las barras verdes muestran el aumento absoluto del pH y las rojas la disminución absoluta de pH entre 2014 y 2019.

Al analizar estadísticamente el pH no se encontró interacción entre el factor Sitio y el factor Rotación agrícola ($p>0,05$), por lo tanto, los resultados de cada factor se analizaron de forma separada. En cuanto a la variación absoluta se encontraron diferencias significativas ($p<0,05$) entre los sitios analizados (figura 16a). Por otro lado, el factor Rotación agrícola no mostró diferencias significativas en la variación del pH para el período evaluado (figura 16b). El establecimiento LL fue el único sitio que mostró un aumento del pH (0,16); SFR mostró una leve disminución (-0,02), mientras que ER y SFE disminuyeron en mayor medida el pH durante el período analizado (-0,05 y -0,04). Sin embargo, estos valores no implican un cambio de categoría; se siguen manteniendo dentro de los suelos moderadamente ácidos.

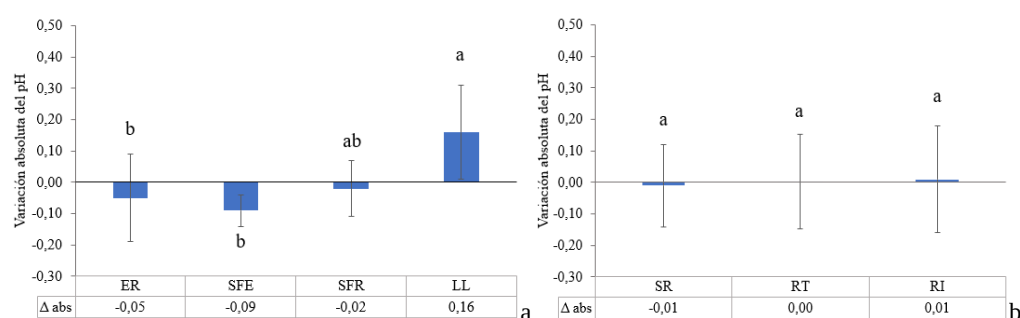


Figura 16. Cambio en el pH. 16a según Sitio y 16b según rotación.

pH: Potencial Hidrógeno, ER: El Ranchito, SFE: San Felipe, SFR: San Francisco, LL: La Lucila, Δ abs: variación absoluta. SR: Sin Rotación, RT: Rotación de Tercios y RI: Rotación Intensificada. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre los tratamientos según Tukey ($p<0,05$). Las barras verticales muestran el Desvío Estándar para cada variable analizada.

La diferencia encontrada entre los sitios analizados, determinada por el aumento de pH encontrado en el sitio LL, podría explicarse por la ocurrencia de un evento particular previo a la toma de muestra, como la aplicación de un fertilizante nitrogenado o glifosato, que puedan haber disminuido el pH del suelo (Alcarde, 2007; Rueda *et al.*, 2020) de forma momentánea.

En coincidencia con los resultados encontrados en este trabajo respecto al factor Rotación, varios autores hacen mención a cierta estabilidad de esta variable ante distintas prácticas de manejo (Carrasco *et al.*, 2008; Carrasco & Zamora, 2008; Krüger *et al.*, 2011; Capurro, 2018). Este comportamiento podría explicarse por el hecho de que el pH está determinado, en gran medida, por el material parental a partir del cual se desarrolla el proceso de formación del suelo (Iturri, 2015; Sokolowski, 2019). En este sentido, se lo puede reconocer como una variable correspondiente a la calidad inherente del suelo (Wilson & Sasal, 2017). A su vez, el alto contenido de MO confiere a los suelos de la región una alta

capacidad de resistir procesos de acidificación causados por la aplicación frecuente de fertilizantes (Sainz Rozas *et al.*, 2011). Es por esto que requiere de muchos años para que se evidencien cambios drásticos entre los valores de pH.

5.2. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA: CE

En la figura 17a y 17b se observan los valores de inicio y final de CE para cada Sitio y para cada Rotación agrícola. En primer lugar, se muestran los datos considerando solo el factor Sitio y luego se muestran los datos considerando solo el factor Rotación agrícola. En ninguna de las situaciones evaluadas se presentaron problemas de salinidad. Todos los suelos, tanto al inicio como al final del estudio, son considerados no salinos, con valores de CE menores a 2 dS m^{-1} (Andrades y Martínez, 2014), por lo que no se vería afectado el normal desarrollo de las plantas (Allen *et al.*, 2006; Heredia *et al.*, 2006). El sitio con el mayor valor de CE inicial fue LL ($0,24 \text{ dS m}^{-1}$), siendo mayor al doble que en los otros sitios. Por otro lado, los valores finales resultaron similares en todos los sitios y en todas las rotaciones.

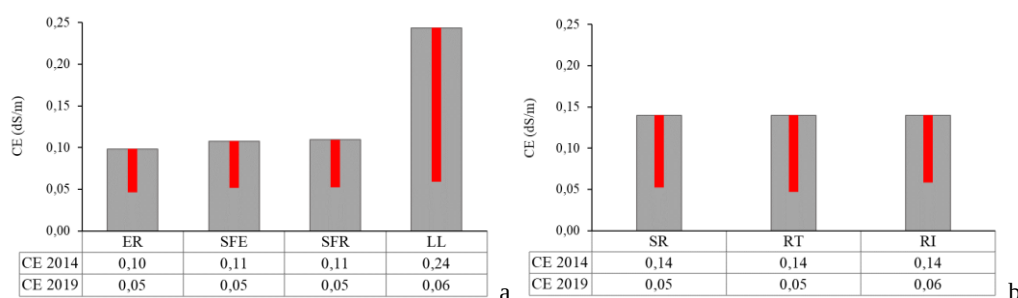


Figura 17. Valores iniciales y finales de conductividad eléctrica. 17a según Sitio y 17b según rotación.

CE: Conductividad Eléctrica, ER: El Ranchito, SFE: San Felipe, SFR: San Francisco, LL: La Lucila.

SR: Sin Rotación, RT: Rotación de Tercios, RI: Rotación intensificada. Las barras grises representan los valores iniciales correspondientes al año 2014 y las rojas muestran la disminución absoluta de CE entre 2014 y 2019.

Al analizar estadísticamente la CE no se encontró interacción entre el factor Sitio y el factor Rotación ($p > 0,05$), por lo tanto, los resultados de cada factor se analizaron de forma separada. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) tanto debido al factor Sitio (figura 18a) como debido al factor Rotación agrícola (figura 18b). El sitio LL mostró una disminución de la CE (-75,86 %) significativamente mayor a la de los sitios ER (-52,70 %), SFE (-51,73 %) y SFR (-57,55 %). En

cuanto a la rotación agrícola, la RI fue la que generó la menor variación (-52,45 %) entre valores iniciales y finales.

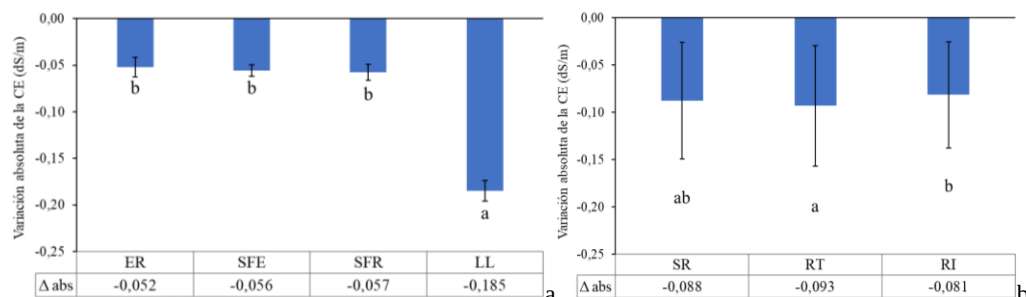


Figura 18. Cambio en la Conductividad Eléctrica. 18a según Sitio y 18b según rotación.

CE: Conductividad Eléctrica, ER: El Ranchito, SFE: San Felipe, SFR: San Francisco, LL: La Lucila, SR: Sin Rotación, RT: Rotación de Tercios y RI: Rotación Intensificada, Δ abs: Variación absoluta. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre los tratamientos según Tukey ($p < 0,05$). Las barras verticales muestran el Desvío Estándar para cada variable analizada.

Respecto al factor Sitio, la variación encontrada podría deberse por un lado al contenido de COT y por otro, podría pensarse que algún evento particular, como la aplicación de un fertilizante nitrogenado o glifosato, que alteró el valor inicial de CE en LL, generando un aumento transitorio en la concentración de sales del suelo (Soriano Soto, 2018). Este mismo evento podría haber afectado al valor de pH inicial en LL, explicando la variación encontrada.

Los resultados encontrados en este trabajo con respecto al factor Rotación, coinciden con Rodríguez, *et al.* (2015), quienes hallaron diferencias entre los valores absolutos de la CE de un suelo molisol de la Región Pampeana bajo diferentes manejos productivos cuando esta se midió en los primeros 5 cm del perfil. La diferencia entre la variación absoluta de la CE según la Rotación agrícola podría ser explicada por la variación en el contenido de COT del suelo. En este sentido, Simón *et al.* (2013) encontraron que el contenido de COT está correlacionado positivamente con la CE del suelo, debido a que el COT juega un rol significativo en el mantenimiento de las propiedades físicas del suelo y está asociado a una acumulación de nutrientes y retención de agua, factores que tienen relación directa con la CE (Martínez *et al.*, 2009).

5.3. CARBONO ORGÁNICO TOTAL: COT

En la Figura 19 se observan los valores iniciales y finales de COT para cada combinación de Sitio y Rotación agrícola. El sitio LL inició el ensayo con el mayor valor (1,98 %), seguido por ER (1,53 %), ambos clasificados como moderadamente provistos; mientras que SFE (1,45 %) y SFR (1,37 %) son clasificados como pobremente desprovisto. Para el final del período evaluado, el máximo valor encontrado fue el de LL bajo el tratamiento RI (1,43 %) y el mínimo se encontró en SFR con el tratamiento SR (0,79 %).

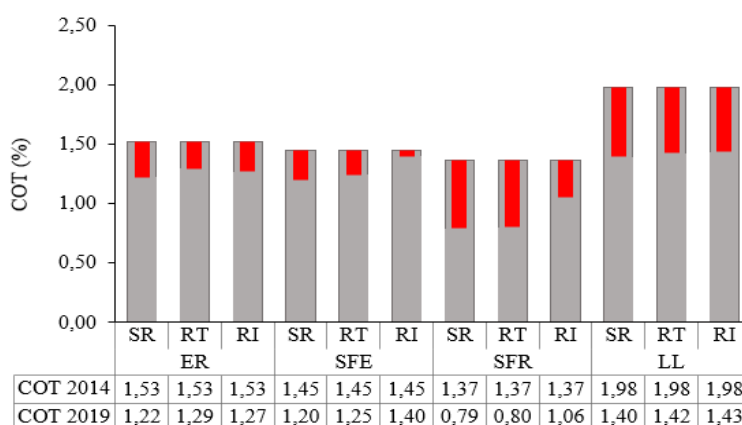


Figura 19. Valores iniciales y finales de COT según las diferentes combinaciones de Sitio y Rotación.

COT: Carbono Orgánico Total, SR: Sin Rotación, RT: Rotación de Tercios, RI: Rotación intensificada, ER: El Ranchito, SFE: San Felipe, SFR: San Francisco, LL: La Lucila. Las barras grises representan los valores iniciales correspondientes al año 2014 y las rojas muestran la disminución absoluta de COT entre 2014 y 2019.

Al analizar estadísticamente el COT se encontró interacción entre el factor Sitio y el factor Rotación agrícola ($p < 0,05$), indicando que el efecto de la rotación depende del sitio en estudio. Por lo tanto, los resultados de cada factor no se analizaron de forma separada y se estudiaron las combinaciones de los diferentes factores. En la Figura 20, se observan las diferentes respuestas obtenidas respecto a la variación absoluta del COT, para las distintas combinaciones de sitio y rotación luego de cinco años de instalada.

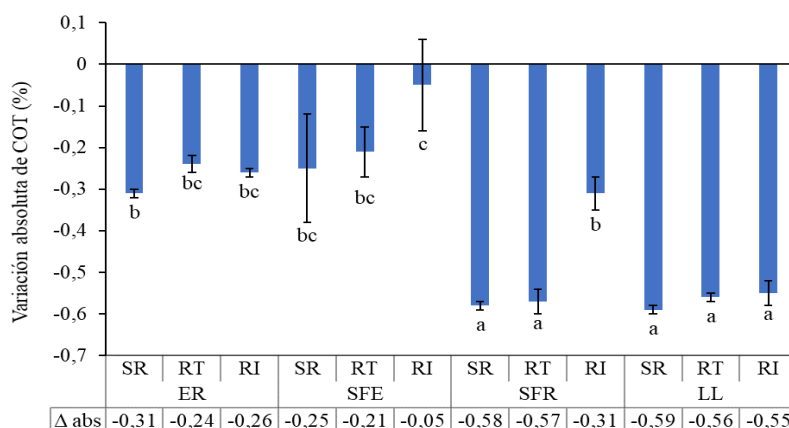


Figura 20. Cambio en el COT según las diferentes combinaciones de Sitio y Rotación.

COT: Carbono Orgánico Total, SR: Sin Rotación, RT: Rotación de Tercios, RI: Rotación intensificada, ER: El Ranchito, SFE: San Felipe, SFR: San Francisco, LL: La Lucila, Δ abs: Variación absoluta. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre los tratamientos según Tukey ($p < 0,05$). Las líneas verticales por encima y por debajo de cada barra representan el desvío estándar de la media.

En el caso de SR todos los sitios presentan el máximo valor de pérdida de COT, debido a que el carbono mineralizado anualmente no es compensado por la escasa cantidad y baja relación C/N del rastrojo de soja (Studdert, Echeverría, 1998; Martelloto *et al.*, 2001). En RT la pérdida de COT presentó menores valores para todos los sitios respecto a SR, sin llegar a ser una diferencia significativa. En este esquema de rotación el aporte de rastrojos por parte de las gramíneas es considerablemente mayor, sin embargo, esto no fue suficiente para revertir la pérdida de COT observada en SR en ninguno de los sitios en el período evaluado. Por último, en RI fue donde se observó la menor variación del contenido de COT luego de cinco años de agricultura continua. En SFE y SFR la RI revirtió la pérdida de COT observada en SR en un 80 % y 47 % respectivamente, mientras que en ER y LL lo hizo en un 16 % y 7 % respectivamente. En ER y LL, la RI no fue suficiente para revertir la pérdida de COT causada por cinco años de agricultura continua. La mejor combinación de factor Sitio y factor Rotación agrícola fue SFE con RI, y la peor combinación fue LL con SR.

Las respuestas encontradas se podrían explicar porque los suelos con alto contenido de COT, son más susceptibles a la degradación y pérdida de COT (Liu *et al.*, 2012) por contar con una mayor proporción que corresponde a la fracción lábil del mismo (Quiroga *et al.*, 2005). En ese sentido, Lefèvre *et al.* (2017) afirman que los efectos positivos de la rotación en relación al COT se observan en un menor período de tiempo, si el contenido de MO es bajo. Por otro lado, las fracciones de arcilla

y limo en suelos arenosos se encuentran más libres, mientras que en suelos arcillosos forman densos paquetes de agregados (Hassink *et al.*, 1997). Por lo tanto, la superficie específica disponible para retener COT es muy superior en arcillas de suelos arenosos que en arcillas de suelos arcillosos.

Si bien no en todos los casos es significativa la diferencia, la tendencia general que se observa muestra que a medida que aumenta la intensidad de la rotación, la pérdida de COT en el suelo disminuye. Este fenómeno se da por el aporte adicional de rastrojos y raíces por parte de las gramíneas en el caso de la RT. Las gramíneas, como trigo o maíz, son cultivos que dejan muchos residuos de cosecha sobre la superficie del suelo (Carrasco & Aguirre, 2018). Los rastrojos de trigo pueden aportar entre 8 a 12 tn ha⁻¹ de y entre 11 y 18 tn ha⁻¹ en maíz, dependiendo del rendimiento en grano obtenido (Ibarguren *et al.*, 2020). A su vez estos importantes volúmenes de rastrojo se caracterizan por presentar una alta relación C/N, determinando una descomposición más lenta y mayor perdurabilidad de los mismos (Forján & Manso, 2018). En el caso de RI se mantiene el suelo activo de forma casi permanente a lo largo del año, aportan exudados ricos en azúcares que favorecen la actividad biológica del suelo, facilitando la incorporación del rastrojo (Urquiaga *et al.* 2002; Frasier *et al.* 2016) y fijan nitrógeno atmosférico que es luego utilizado por la gramínea que le sigue en la rotación (Mellado M. & Madariaga R., 2003), pudiendo potenciar su rendimiento, traduciéndose en un aporte extra de rastrojo en comparación a RT. En coincidencia a la tendencia evidenciada en el presente estudio, Manso & Forján (2013) encontraron que la caída de COT fue inversamente proporcional a la cantidad de rastrojo total aportado en 18 años de rotación de cultivos. Además, esta se atenuó al aumentar la frecuencia de cultivos que aportaron elevado volumen de rastrojos (maíz y trigo) con alta relación C/N. Por otro lado, observaron que la pérdida de MO fue directamente proporcional a la participación de oleaginosas en la rotación, especialmente soja.

5.4. NITRÓGENO TOTAL: NT

En la Figura 21 a y b se observan los valores de NT al inicio y final para cada Sitio y para cada Rotación agrícola. El máximo valor inicial de NT se observó en LL (0,228 %) y el mínimo en SFR (0,121 %). Al final del período evaluado, el máximo valor de NT se observó en SFE (0,192 %), mientras que el menor fue nuevamente SFR (0,154 %). La rotación con el mayor contenido de NT al final del período evaluado fue SR (0,179 %) siendo similar en el resto.

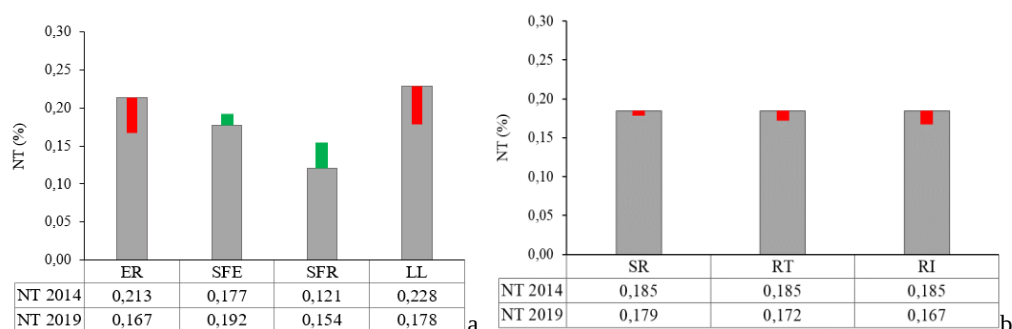


Figura 21. Valores iniciales y finales de Nitrógeno Total 21a según Sitio y 21b según Rotación.

NT: Nitrógeno Total, ER: El Ranchito, SFE: San Felipe, SFR: San Francisco, LL: La Lucila, SR: Sin Rotación, RT: Rotación de Tercios, RI: Rotación intensificada. Las barras grises representan los valores iniciales correspondientes al año 2014. Las barras verdes muestran el aumento absoluto del NT entre 2014 y 2019. Las barras rojas muestran la disminución absoluta de NT entre 2014 y 2019.

Al analizar estadísticamente la variación en el NT del suelo entre el inicio y el final del ensayo no se encontró interacción ($p>0,05$) entre los factores sitio y rotación agrícola. Por ello se analizó el efecto de cada variable por separado. Se encontraron diferencias significativas ($p<0,05$) entre los diferentes sitios (Figura 22a) pero no hubo diferencias significativas ($p>0,05$) entre las rotaciones agrícolas (Figura 22b). Con respecto al factor Sitio, ER y LL mostraron una disminución en el contenido de NT (-0,05 %), mientras que SFE y SFR mostraron un aumento en el porcentaje de NT evaluado.

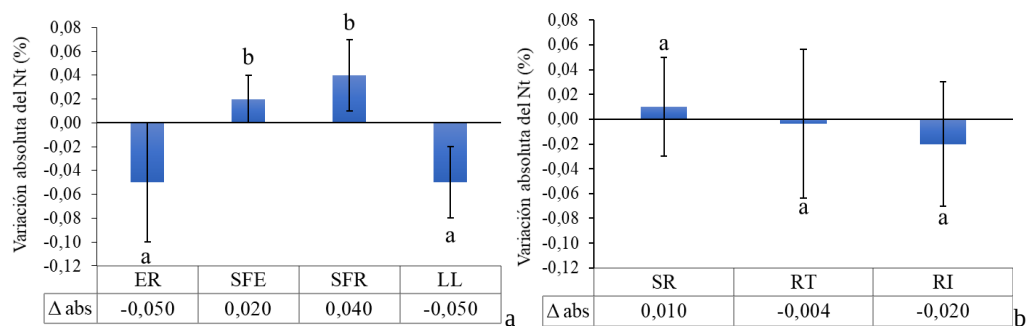


Figura 22. Cambio en el Nitrógeno Total. 22a según Sitio y 22b según rotación.

NT: Nitrógeno Total, ER: El Ranchito, SFE: San Felipe, SFR: San Francisco, LL: La Lucila, SR: Sin Rotación, RT: Rotación de Tercios y RI: Rotación Intensificada, Δ abs: Variación absoluta. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre los tratamientos según Tukey ($p<0,05$). Las barras verticales muestran el Desvío Estándar para cada variable analizada.

El N es un nutriente muy móvil en el suelo, cuya concentración en suelos agrícolas varía con la aplicación de fertilizantes nitrogenados, y su pérdida está fuertemente asociada al contenido de COT y

la relación C/N del suelo. Respecto al factor Sitio, los valores superiores encontrados en SFE y SFR podrían estar justificados, en gran medida, por las mayores cantidades de N y P aplicados con la fertilización (Ver Anexo Tabla 1 y 2) con respecto a LL y ER. Por otro lado, en LL se dio la mayor pérdida de COT, independientemente del factor de rotación analizado, que pudo afectar negativamente a la capacidad de retener nitrógeno.

Respecto al factor Rotación, si bien el tratamiento RI produjo una disminución del 0,02 %, RT una disminución del 0,004 % y SR un aumento del 0,010 % en los valores de NT, las diferencias estadísticas no resultaron significativas. Esto pudo deberse a que con la intensificación de las rotaciones se incrementó la fertilización nitrogenada y la fijación biológica de N (soja y arveja) en forma proporcional a la exportación de este nutriente con los granos, generando un balance final cercano a cero. Resultados similares fueron descriptos por otros autores, por ejemplo, Álvarez *et al.* (1995) encontraron que el 80 % del N fijado por las plantas de Soja es particionado a las semillas, mientras que el 20 % del N retenido se reparte entre las raíces y el rastrojo. De esta forma, la diferencia entre la cosecha y fijación de N por parte de la soja resulta en un balance negativo para el sistema suelo-planta. En el caso de la Arveja, ocurre algo similar. Enrico *et al.* (2020) midieron el balance parcial de N promedio en el cultivo de Arveja y el resultado fue de 0 kg/ha debido a la exportación de N con el grano cosechado. Agosti (2016) no detectó diferencias en el aporte de N al suelo en ensayos de rotación con la introducción de soja y arveja en la secuencia de cultivos. Estudios anteriores afirman que el trigo consume más kg de N cuando es precedido por una leguminosa, en comparación a cuando se realiza en monocultivo (Mellado & Madariaga, 2003), lo que sugiere que si hubiera un excedente de N producto de la FBN por parte de las leguminosas sería aprovechado por las gramíneas sucesoras. La creciente demanda de N a medida que aumenta la cantidad de cultivos en la rotación, sumada a lo expuesto anteriormente, determinan la falta de diferencias significativas en el NT del suelo para las diferentes rotaciones de cultivos, con la inclusión de las leguminosas en la rotación, a pesar de su capacidad para fijar Nitrógeno atmosférico mediante la fijación biológica de nitrógeno.

5.5. RELACIÓN CARBONO-NITRÓGENO: C/N

En la Figura 23 a y b se observan los valores de C/N al inicio y final para cada Sitio y para cada Rotación agrícola. Según el sitio, la relación C/N es elevada, supera el valor de 11, en SFR y es baja (7) en ER; siendo normales los valores en SFE y LL. Al final del período evaluado, ER y LL mostraron valores adecuados de C/N, mientras que para SFE y SFR los valores fueron bajos (menores a 7). En función de la rotación agrícola, la conservación de la relación C/N fue directamente

proporcional a la intensidad de las rotaciones siendo RI (7,88) la que mejor valor mostró, seguida por RT (7,23) y por último SR (6,61).

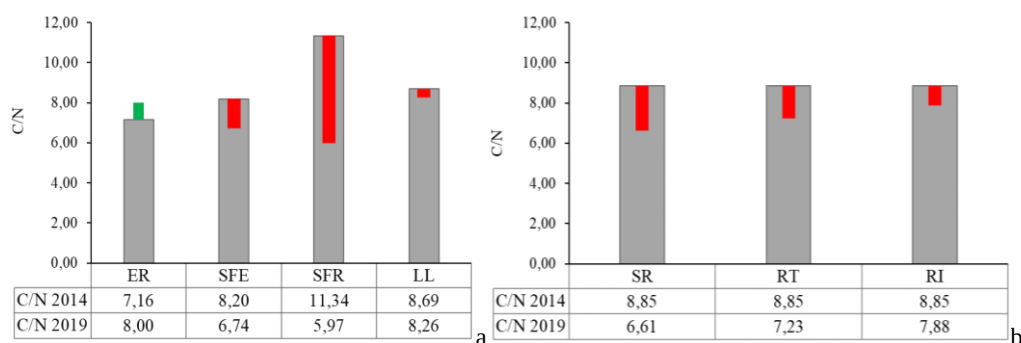


Figura 23. Valores iniciales y finales de C/N 23a según Sitio y 23b según Rotación.

C/N: relación Carbono-Nitrógeno, ER: El Ranchito, SFE: San Felipe, SFR: San Francisco, LL: La Lucila, SR: Sin Rotación, RT: Rotación de Tercios, RI: Rotación intensificada. Las barras grises representan los valores iniciales correspondientes al año 2014. Las barras verdes muestran el aumento absoluto del C/N entre 2014 y 2019. Las barras rojas muestran la disminución absoluta de C/N entre 2014 y 2019.

Al analizar estadísticamente la variación en C/N del suelo, no se encontró interacción ($p > 0,05$) entre factor Sitio y factor Rotación agrícola. Por ello se analizó el efecto de cada variable por separado. Se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre los diferentes sitios (Figura 24a), sin diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) debidas al factor Rotación. ER mostró un aumento en la C/N (11,65 % del valor inicial) aunque no fue significativa la diferencia respecto a los valores de SFE y LL que mostraron una pequeña disminución (-17,83 % y -5,01 %). Por otro lado, SFR mostró una disminución del 47,33 %, siendo el sitio que mayor variación presentó.

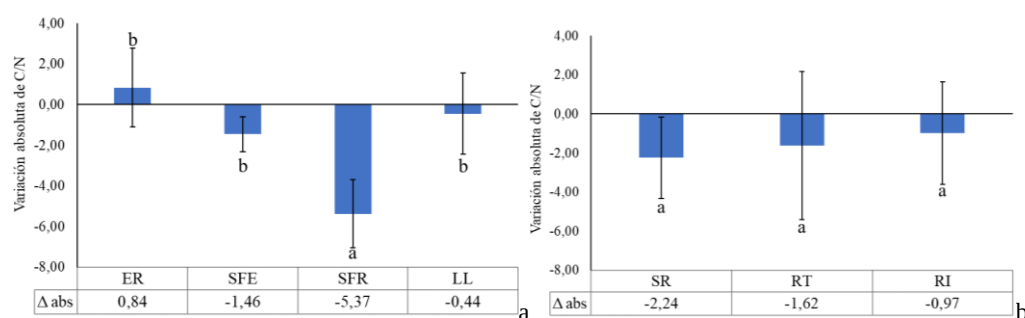


Figura 24. Cambio en la relación C/N 24a según Sitio y 24b según rotación.

C/N: relación Carbono-Nitrógeno, ER: El Ranchito, SFE: San Felipe, SFR: San Francisco, LL: La Lucila, SR: Sin Rotación, RT: Rotación de Tercios y RI: Rotación Intensificada, Δ abs: Variación absoluta. Letras diferentes

muestran diferencias significativas entre los tratamientos según Tukey ($p < 0,05$). Las barras verticales muestran el Desvío Estándar para cada variable analizada.

Con respecto al factor Sitio, ER y LL mostraron elevadas pérdidas de COT que fueron acompañadas por pérdidas de NT. En este sentido, Schmidt & Amiotti (2016) encontraron asociaciones significativas entre el COT y NT del suelo. De esta forma se mantuvo una relación C/N cercana a 8, la cual es una situación de equilibrio. A diferencia de los otros sitios, SFR inició con una relación C/N muy alta. Esto pudo favorecer la ganancia de N a pesar de ser un suelo arenoso (Pramanik *et al.*, 2007). SFE fue el sitio que menor pérdida de COT tuvo, por lo tanto, no sufrió una gran pérdida de NT junto al COT.

Si bien las rotaciones agrícolas no presentaron diferencias significativas, se observó una tendencia que manifiesta que a medida que la rotación se hace más intensificada, la disminución en los valores de C/N (Figura 24b) es menor. Esto sugiere que la RI permitiría mantener una situación estable, con un valor C/N cercano a 8, el cual corresponde a la relación C/N de las bacterias del suelo. En este sentido, la relación C/N determina la velocidad de descomposición de la MO del suelo (Fuentes, 1994), ya que al haber una alta relación C/N la liberación de N es menor debido a que encuentra inmovilizado por los microorganismos del suelo (Pramanik *et al.*, 2007). De esta forma la descomposición de la materia orgánica se hace más lenta. Cuando la relación C/N es menor a 8, el N no es inmovilizado por los microorganismos del suelo, lo que genera una mayor probabilidad de que se produzca la pérdida de N por lixiviación.

El mayor aporte de COT en la RI respecto a SR y RT, da lugar a una mayor relación C/N al final del período evaluado. Comparando las diferentes rotaciones, la MO de RI parece ser más estable que SR y RT. Por lo tanto, SR y RT serían más propensos a perder el N extra observado respecto a RI.

La falta de diferencias significativas entre las rotaciones podría deberse a que se parte de valores iniciales diferentes, y a pesar de que la variable no presenta interacción, los sitios responden de forma diferente a las rotaciones en cuanto a la variación del COT que interviene directamente sobre el cálculo de la relación C/N.

6- CONCLUSIONES

Se acepta la hipótesis general, todos los sitios estudiados mostraron diferencias en los parámetros químicos del suelo en todas las rotaciones luego de cinco años de establecidas dichas rotaciones.

Por otro lado, se acepta parcialmente la primera hipótesis específica ya que luego de cinco años solo el sitio genera cambios en el pH del suelo en región Pampeana, siempre dentro del mismo rango de referencia. El sitio con mayores cambios de pH fue el suelo arcilloso con mayor pérdida de COT.

Además, se acepta la segunda hipótesis específica ya que luego de cinco años el sitio y la rotación modifican la conductividad eléctrica de los suelos estudiados. A mayor intensidad de la rotación menor es la variación con respecto a los valores iniciales. En los sitios arcillosos, con la mayor pérdida de COT, se observan los mayores descensos de conductividad eléctrica.

Asimismo, se acepta la tercera hipótesis específica ya que luego de cinco años tanto el sitio como la rotación, de manera conjunta y en interacción, generan cambios en el carbono orgánico total del suelo. La mejor combinación que conserva los valores de carbono orgánico total más cercanos a los valores iniciales son los sitios arenosos con rotaciones más intensas.

Se acepta parcialmente la cuarta hipótesis específica debido a que luego de cinco años, solo el sitio modifica los valores de N total del suelo. El N total del suelo se incrementa en sitios arenosos y donde se producen las menores pérdidas de carbono orgánico total, y con mayores aporte de N por fertilización.

Por último, también se acepta parcialmente la quinta hipótesis específica debido a que luego de cinco años de instalada una rotación sólo el sitio genera cambios en la relación C/N. En suelos arcillosos se observan los mayores valores de C/N y los menores cambios con respecto al inicial.

Si bien se logró mantener los valores iniciales de COT en algunas situaciones, a pesar de haberse realizado rotaciones de cultivos intensificadas, sin labranzas durante 5 años; no se consiguió mejorar el contenido de Carbono Orgánico del suelo. Asimismo, sólo se logró mantener las propiedades químicas del suelo en determinadas situaciones.

7- BIBLIOGRAFÍA

- Aapresid. 2019. Informe de evolución de Siembra Directa en Argentina Asociación Argentina de Productores de Siembra Directa (Aapresid) Campaña 2018/19. <https://www.aapresid.org.ar/blog/evolucion-de-siembra-directa-en-argentina-campana-2018-19/>. Consultado Agosto 2020.
- Aapresid sistema chacras. 2020a. Informe Final Chacra Bragado – Chivilcoy. Aapresid.
- Aapresid sistema chacras. 2020b. Informe Final Chacra Pergamino (2010–2020). https://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/sites/6/2020/08/Informe-Final_Chacra-Pergamino.pdf. Consultado Abril 2021.
- Agosti, M. B. 2016. El rol de la arveja en la intensificación de las rotaciones agrícolas. 3ª Jornada Nacional de Legumbres, Rosario. <https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-jornada-legumbres.rol-arveja-en-intensificacion-rotaciones-agricolas.belen-agosti.pdf>. Consultado Junio 2020.
- Alapin, H. 2008. Rastrojos y algo más: Historia De La Siembra Directa En Argentina. Buenos Aires. Editorial Teseo-Universidad de Belgrano.
- Álvarez, C.R.; Taboada, M.A.; Perelman, S.B. & Morrás, H.J. 2014. Topsoil structure in no-tilled soils in the Rolling Pampas, Argentina.
- Andrade, F.H. 2016. Los desafíos de la agricultura (1er ed.). Acassuso: IPNI.
- Andrade, F.; Taboada, M.; Lema, D.; Maceira, N.; Echeverría, H.; Posse, G.; Prieto, D.; Sánchez, E.; Ducasse, D.; Bogliani, M.; Gamundi, J.C.; Trumper, E.; Frana, J.; Perotti, E.; Fava, F. & Mastrángelo, M. 2017. Los desafíos de la agricultura argentina. Satisfacer las futuras demandas y reducir el impacto ambiental. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. ISBN 978-987-521-859-8. 120 pp.
- Andrades, M. & Martínez, M.E. 2014. Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. Material didáctico: Agricultura y Alimentación. 3ª edición. Universidad de la Rioja. ISBN 978-84-695-9286-1. 29 pp.
- Arnon, I. 1972. Crop production. y dry regions. Vol I. Leonhard Hill. London. 650pp.
- Bacigaluppo, S.; Bodrero, M.; Balzarini, M.; Gerster, G.; Andriani, J.; Enrico, J. & Dardanelli, J., 2011. Main edaphic and climatic variables explaining soybean yield in Argiudolls under no-tilled systems, European Journal of Agronomy 35 (2011) 247– 254.
- Bacigaluppo, S.; Gerster, G. & Salvagiotti, F. 2017. Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina. INTA Ediciones. ISBN 978-987-521-826-0
- Báez, M.A. & Aguirre, J.F. 2011. Efecto de la labranza de conservación sobre las propiedades del suelo. Terra Latinoamericana, 29(2): 113-121.
- Barrios, M.B. 2011. Efecto del laboreo sobre el desarrollo de raíces y productividad. Editor. Roque A Grande. Editorial Académica Española. 206 pp. ISSN: 978-3-8443-4125-6.

- Barrios, M.B.; Sokolowski, A.C.; Debelis, S.P.; Rodríguez, H.A.; De Grazia, J.; Blasón, A.; Buján, A.; Rodríguez Frers, E. & Mazo, C. 2014. Parámetros del suelo vinculados bajo sistemas de intensificación agrícola. Actas del XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, II Reunión Nacional "Materia Orgánica y Sustancias Húmicas" Bahía Blanca.
- Bringezu, S.; O'Brien, M.; Pengue, W.; Swilling, M. & Kauppi, L. 2010. Assessing global land use and soil management for sustainable resource policies. Scoping Paper. International Panel for Sustainable Resource Management. UNEP.
- Campillo, R. & Sadzawka, A. 2006. La acidificación de los suelos. Origen y mecanismos involucrados. In R. Campillo (ed.) Manejo de los recursos naturales en el sistema de incentivos para la recuperación de suelos degradados de la Araucanía. Serie Actas N° 38. p. 44-60. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Carillanca, Temuco, Chile.
- Campitelli, P.; Aoki, A.; Gudel, O.; Rubenacker, A. & Sereno, R. 2010. Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. Revista Ciencia del suelo, 28(2): 223-231.
- Capurro, J.E. 2018. Efecto de un cultivo de cobertura sobre propiedades edáficas y uso del agua en ambientes con erosión hídrica y monocultivo de soja, en el sur de la provincia de Santa Fe. Tesis para optar al título de Magister en manejo y conservación de recursos naturales, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario.
- Carrasco Jiménez, J. & Aguirre Aguilera, C. 2018. Rastrojos del cultivo del Maíz: elementos a considerar para su manejo. Boletín INIA N°385.
- Carrasco, N. & Zamora, M.S. 2008. Calidad del suelo en el centro sur bonaerense en función del manejo: Calidad química. Chacra Experimental Integrada Barrow. INTA-MAA. Trabajo presentado en el XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Potrero de los Funes. ISBN 978-987-521-624-2.
- Carrasco, N.; Costa, J.L. & Zamora, M.S. 2008. Calidad del suelo en el área sur de la cuenca del Arroyo Claromecó. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Potrero de los Funes. ISBN 978-987-521-624-2.
- Casas, R.R. 2007. Principales efectos de la intensificación y expansión de la agricultura sobre la salud de los suelos.
- Caviglia O.P., Sadras V.O. & Andrade F. 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas. I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheatsoybean.
- D'Acunto L., Andrade J.F., Poggio S.L., & Semmartin M. 2018. Diversifying crop rotation increased metabolic soil diversity and activity of the microbial community. Agric. Ecosyst. Environ. 257: 159–164.

- Di Rienzo, A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.; González, L.; Tablada, M. & Robledo, W. 2020. Infostat Software Estadístico. Grupo Infostat, FCA, UNC, Argentina. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>
- Diez, S.N.; Domínguez, G.F. & Studdert, G.A. 2012. Uso de una leguminosa como alternativa de provisión de nitrógeno para un cultivo de Maíz (*Zea mays L.*).
- Diovisalvi, N.V; Studdert, G.A.; Franco Domínguez, G. & Eiza, M.E. 2008. Fracciones de carbono y nitrógeno orgánicos y nitrógeno anaeróbico bajo agricultura continua con dos sistemas de labranza. *Ciencia del Suelo* 26(1): 1-1.
- Duval, M.; Galantini, J.; Iglesias, J. & Krüger, H. 2013. El cultivo de trigo en la región semiárida bonaerense: impacto sobre algunas propiedades químicas del suelo RIA. *Rev. Investig. Agropecu.* 39 (2): 179 – 184. CABA.
- Enrico, J.M., Piccinetti, C.F., Barraco, M.R., Agosti, M.B., Ecclesia, R.P., & Salvagiotti, F. 2020. Contribucion de la fijación biológica de nitrógeno en vicia y arveja. Para mejorar la producción, 59(1): 205–214.
- Flores, C.C. & Sarandón, S.J. (Eds.). 2014. Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables. Universidad Nacional de La Plata.
- Forján, H.J. & Manso, M.L. 2018. Los rastros de cultivos y sus efectos sobre el suelo. *Revista Agrobarrow* 62: 16-19, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Galantini, J.; Iglesias, J.; Landriscini, M.R.; Suñer, L. & Minoldo, G. 2008. Calidad y dinámica de las fracciones orgánicas en sistemas naturales y cultivados. En Galantini (ed). *Estudios de las fracciones orgánicas en suelos de Argentina*. Edi UNS, Bahía Blanca. pp 71-95.
- García, F.O. 2011. Siembra directa, rotaciones y fertilidad para una agricultura sostenible con énfasis en las condiciones de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. *Informaciones agronómicas* N°1. [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/28CB036D89ABC28C8525799E0055DD10/\\$FILE/Siembra%20directa.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/28CB036D89ABC28C8525799E0055DD10/$FILE/Siembra%20directa.pdf) . Consultado el 24/03/2021
- Gargicevich, A.L. 1995. Sembradoras de siembra directa y su efecto sobre sobre la cobertura. Proyecto Agricultura Conservacionista II: Serie Experiencias, Argentina. 15.4 pp.
- Giuseppucci, J. 2015. Características físicas del Partido de Ayacucho. https://www.ayacucho.gob.ar/sites/default/files/la_geografia.pdf. Consultado Julio 2020.
- Guppy, C.N.; Menzies, N.W., Moody, P.W. & Blamey, F. 2005. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil. *Austr. J. Soil Res.* 43:189-202.
- Hassink, J.; Matus, F.J.; Chenu, C. & Dalenberg, J. 1997. Interaction between soil biota, soil organic matter and soil structure. In: Brussaard, L. and Ferrera-Cerrato, R. (Eds.). *Soil Ecology in Sustainable Agricultural Systems*. New York, USA. Lewis Publishers. Pp 15-35.

- Havlin, J.L., Kissel, D.E., Maddux, L.D., Claassen, M.M., & Long, J.H. 1990. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*, 54(2), 448- 452.
- Ibarguren, L.; Bertona, A. & Reborá, C. 2020. Siembra directa: el rol de los rastrojos. *Revista de Divulgación Científica* N° 11. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. ISSN 2422-6254.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Carta de suelos de la República Argentina-Provincia de Buenos Aires. Consultado Junio 2020. <http://anterior.inta.gov.ar/suelos/cartas/>
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Visor GeoINTA.
- IPNI. Cálculo de Requerimientos Nutricionales - Versión 2016. <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1024>
- Irigoin, J. 2004. Sistemas de evaluación de tierras y elaboración de modelos de aptitud de uso agrícola, para distintos escenarios climáticos, en un sector de la subregión Pampa Arenosa (Provincia de Buenos Aires, Argentina). Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Buenos Aires, Argentina.
- Iturri, L.A. 2015. Evidencias de acidificación de suelos loésicos agrícolas de Argentina. Tesis para optar al grado de Doctor en Agronomía, Universidad Nacional del Sur.
- Jackson, M.L. 1976. Análisis químicos de suelo. Ediciones OMEGA, S.A. Casanova 220 Barcelona.
- Karayel, D. 2009. Performance of a modified precision vacuum seeder for no-till sowing of maize and soybean. *Soil Till. Res.* 104: 121-125.
- Karleen, D.L.; Varvel, G. E.; Bullock, D.G. & Cruse, R.M. 1994. Crop rotations for the 21st century. *Advances in Agronomy*. 53: 2-45.
- Krüger, H.; Venanzi, S. & Galantini, J.A. 2011. Rotación y cambios en propiedades químicas de un hapludol típico del sudoeste bonaerense bajo labranza. *Actas del XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, Paraná, Entre Ríos.
- Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global change & food security. *Science* 304: 1623-1627.
- Lefèvre, C; Rekik, F.; Alcantara, V. & Wiese, L. 2017. Carbono orgánico del suelo: el potencial oculto. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). ISBN 978-92-5-309681-7.
- Manso, M.L. & Forján, H.J. 2013. Materia orgánica en distintas rotaciones luego de 12 años bajo siembra directa. Chacra experimental integrada Barrow, INTA. Trabajo presentado en XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata. ISBN 978-987-521-624-2.
- Martínez, F.F. e INTA EEA Oliveros. 2010. Crónica de la soja en la región pampeana argentina. *Para mejorar la producción*. 45: 1-6.

- Martínez, G; Verlinden, K.; Giráldez, J.V.; Espejo, A.J.; Rodríguez, E.; Ordóñez, R. & Muriel, J.R. 2009. Use of apparent electrical conductivity as secondary information for soil organic carbon spatial characterization. *Estudios en la Zona no Saturada del Suelo Vol IX*. 129-136 pp.
- Mellado, M., Madariaga, R., & INIA Q. 2003. Avena, Arveja y Lenteja en Rotaciones con Trigo. *Tierra Adentro*, 49(1): 21–23.
- Michelena, R.O.; Iruetia, C.B.; Vavruska, F.A.; Mon, R. & Pittaluga, A. 1989. Degradación de suelos en el Norte de la Región Pampeana. *Publ. Tec. 6. INTA. Centros Regionales de Buenos Aires Norte, Córdoba, Entre Ríos y Santa Fe. Proyecto de Agricultura Conservacionista*.
- Micucci, F. & Taboada, M.A. 2006. Soil physical properties and soybean (*Glycine max*, Merrill) root abundance in conventionally and zero-tilled soils in the humid Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 86: 152-162.
- Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios de la Nación. 2006. Plan estratégico territorial. Subsecretaría de Planificación Territorial de la Inversión Pública. http://www.mosp.gba.gov.ar/sitios/urbanoter/planurbana/Contribucion_PET_FaseI.pdf. Consultado Julio 2020.
- Peoples, M. B. & Herridge, D. F. 1990. Nitrogen fixation by legumes in tropical and subtropical agriculture. *Adv. in Agronomy*, 44: 155-223.
- Ramírez-Barrientos, C.; Figueroa-Sandoval, B.; Ordaz-Chaparro, V.M. & Volke Haller, V.H. 2006. Efecto del sistema de labranza cero en un vertisol. *Terralatinoamerica*, 24(1): 108-118.
- Paz González, A., Taboada Castro, M.T., Gómez, Y. & Suárez, M. J. 1997. Relación entre textura, pH, materia orgánica y complejo de cambio en el horizonte superior de un suelo sobre serpentin. *CAD. LAB. XEOL. LAXE* 22.
- Rodríguez S., Videla C., Zamuner E., Picone L., Pose N., & Maceira N. 2015. Cambios en propiedades químicas de un suelo molisol de la región pampeana argentina con diferente historia de manejo. *Chilean J. Agric. Anim. Sci., ex Agro-Ciencia*, 31(2): 137-148.
- Romaniuk R., Beltrán M., Brutti L., Costantini A., Bacigaluppo S., Sainz-Rozas H., & Salvagiotti F. 2018. Soil organic carbon, macro- and micronutrient changes in soil fractions with different lability in response to crop intensification. *Soil Tillage Res.*, 181: 136–143.
- Rueda Garcez, J. & Santos Moreno, S. 2020. Utilización de glifosato y su efecto en las propiedades químicas en suelos cultivados de café (*Coffea arabica*), en el distrito de Chirinos – San Ignacio. Universidad Cesar Vallejo.
- Sainz Rozas, H.R., H.E. Echeverría & H. Angelini. 2011. Niveles de materia orgánica y pH en suelos agrícolas de la Región Pampeana y Extrapampeana Argentina. *Ci. Suelo*, 29: 29- 37

- SAMLA. 2004. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación Argentina. Dirección de Producción Agrícola. Sistema de Apoyo Metodológico a los Laboratorios de Análisis de Suelos Agua, Vegetales y Enmiendas Orgánicas.
- Sasal, M.C. 2012. Factores condicionantes de la evolución estructural de suelos limosos bajo siembra directa. Efecto sobre el balance de agua. Tesis de Doctorado de la Universidad de Buenos Aires.
- Schmidt, E.S. & Amiotti, N.M. 2016. Efecto de la secuencia de cultivos sobre las fracciones de materia orgánica y nitrógeno bajo siembra directa en la región pampeana semiárida sur. *Revista Ciencia del suelo*, 35(1): 95-103.
- Simón, M., Peralta, N., & Costa, J. L. 2013. Relación entre la conductividad eléctrica aparente con propiedades del suelo y nutrientes. *Ciencia del Suelo*, 31(1): 45-55.
- Software Google Earth Pro. Versión 7.3.
- Sokolowski, A.C. 2019. Efecto de dos sistemas de labranza en una rotación típica de Pampa Ondulada, sobre la calidad del suelo y la productividad y calidad industrial del cultivo de maíz “*Zea mays*” y trigo “*Triticum aestivum*”. Tesis Magister, Universidad Nacional de Lomas de Zamora.
- Soriano Soto, M.D. 2018. Conductividad eléctrica del suelo. Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/105110/Soriano%20-%20Conductividad%20el%C3%A9ctrica%20del%20suelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Consultado Abril 2021.
- Studdert, G. & Echeverría, H. 2000. Crop rotation and nitrogen fertilization to manage soil organic. *Soil Science Society of América Journal*. 64: 1496-1503.
- Tavera, G.G. 1985. Criterios para la interpretación y aprovechamiento de los reportes de laboratorio para las áreas de asistencia técnica. Publicación 3. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Delegación de la Laguna, Matamoros, Coahuila. 258 pp.
- Tettamanti, N. 2015. Agricultura Certificada, la evolución de la Siembra Directa.
- Triplett, G.B. & Dick W.A. 2008. No-tillage crop production: A revolution in agriculture! *Agron. J.*, 100: 153-165.
- Urbanek, E. & Horn, R. 2006. Changes in soil organic matter, bulk density and tensile strength of aggregates after percolation in conservation and conventional tilled soils. *Int. Agrophysics*, 20: 245-255.
- USDA. 1987. Soil Mechanics Level I. Module 3 – USDA Textural Soil Classification. Study Guide. USDA, Soil Conservation Service. Stillwater, OK, USA.
- Vázquez, M. & Terminiello, A. 2008. Recuperación de suelos degradados de pequeños productores del cinturón hortícola del Gran La Plata. Valoración del problema y estrategias correctivas. FCAYF, UNLP.

- Velázquez, A. G.; Tisnés, A. & Gómez, N. J. 2010. Región pampeana: geografía y bienestar según subregiones. *Geograficando*, 10 (2). Memoria Académica. UNLP, La Plata.
- Wilson, M.G. & Sasal, M.C. 2017. Aplicación de indicadores de calidad de suelo para el monitoreo agroambiental. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. INTA Ediciones. ISBN 978-987-521-826-0.
- Wyngaard, N. 2010. Efecto a largo plazo de la fertilización y los sistemas de labranza sobre las propiedades de un argiudol y el rendimiento de maíz. Tesis Magister Scientiae. Postgrado en Producción Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias.

8-ANEXO

Tabla 1. Cantidades de N y P aplicadas por fertilizante para cada rotación para el establecimiento La Lucila y El Ranchito.

	Cultivo	Año	Dosis (kg/ha)	Fertilizante	N (kg/ha)	P(kg/ha)
Rotación de tercios	Trigo	Invierno 2013-2014	100	SPS	0	10
	Soja 2da	Verano 2013-2014	70	SPS	0	7
	Maíz	Verano 2014-2015	120	MAP	13,2	27,6
	Soja 1era	Verano 2015-2016	70	SPS	0	7
	Trigo	Invierno 2016-2017	82	MAP	9,02	0
			230	UREA	105,8	0
	Soja 2da	Verano 2016-2017	nada	nada	0	0
	Maíz	Verano 2017-2018	110	MAP	12,1	25,3
			180	UREA	82,8	0
	Soja 1era	Verano 2018-2019	70	SPS	0	7
TOTAL					223	84
Rotación intensificada	Trigo	Invierno 2013-2014	100	MAP	11	23
	Maíz 2da	Verano 2013-2014	110	MAP	12,1	25,3
			150	UREA	69	0
	Arveja	Invierno 2014-2015	90	SPS	0	9
	Soja 2da	Verano 2014-2015	160	SPS	0	16
	Arveja	Invierno 2015-2016	100	MAP	11	23
	Soja 1era	Verano 2015-2016	70	SPS	0	7
	Trigo	Invierno 2016-2017	82	MAP	9,02	18,9
			190	UREA	87,4	0
	Soja 2da	Verano 2016-2017	0		0	0
	Arveja	Invierno 2017-2018	8	MAP	8,8	18,4
	Maíz 2da	Verano 2017-2018	100	MAP	11	23
			180	UREA	82,8	0
	Soja 1era	Verano 2018-2019	70	SPS	0	7
TOTAL					302	171
Sin rotación	Soja 1era	6 AÑOS	70	SPS	0	7
	TOTAL				0	42

Fuente: Elaboración propia en base al Informe Final Chacra Pergamino (2011-2020) de Aapresid.

Tabla 2. Cantidades de N y P aplicadas por fertilizante para cada rotación para el establecimiento San Felipe (Lote San Francisco y Lote San Felipe o Lote 14).

	Cultivo	Año	Rendimiento (kg/ha)	N (kg/ha)	P(kg/ha)
Rotación de tercios	Trigo	Invierno 2013-2014	9000	161	31
	Soja 2da	Verano 2013-2014	4500	0	24
	Maíz	Verano 2014-2015	14000	179	36
	Soja 1era	Verano 2015-2016	7000	0	48
	Trigo	Invierno 2016-2017	9000	161	31
	Soja 2da	Verano 2016-2017	4500	0	24
	Maíz	Verano 2017-2018	14000	179	36
	Soja 1era	Verano 2018-2019	7000	0	48
	TOTAL			680	278
Rotación intensificada	Trigo	Invierno 2013-2014	9000	161	31
	Maíz 2da	Verano 2013-2014	10000	188	34
	Arveja	Invierno 2014-2015	3500	127	15
	Soja 2da	Verano 2014-2015	4500	0	36
	Arveja	Invierno 2015-2016	3500	127	15
	Soja 1era	Verano 2015-2016	7000	0	48
	Trigo	Invierno 2016-2017	9000	161	31
	Soja 2da	Verano 2016-2017	4500	0	24
	Arveja	Invierno 2017-2018	3500	127	15
	Maíz 2da	Verano 2017-2018	10000	188	34
	Soja 1era	Verano 2018-2019	7000	0	48
	TOTAL			1079	331
Sin rotación	Soja 1era		7000	0	46
		6 años	TOTAL	0	276

Fuente: Elaboración propia en base al Informe Final Chacra Bragado – Chivilcoy de Aapresid; y utilizando la tabla de IPNI (2009).

