

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOMAS DE
ZAMORA

FACULTAD DE INGENIERÍA- FACULTAD DE
CIENCIAS AGRARIAS

TRABAJO FINAL

MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN E INDUSTRIALIZACIÓN DE
CEREALES Y OLEAGINOSAS

Título del Trabajo Final: 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*"

Nombre del Maestrando: Ing. Agr. Sokolowski, Ana Clara

Nombre del Director: Dra. Ing. Agr. Barrios, Mónica Beatriz

Nombre del Codirector: Mg. Ing. Agr. De Grazia, Javier

Lugar y Fecha: Lomas de Zamora - Febrero 2019

AGRADECIMIENTOS



A Dios quien siempre estuvo presente, acompañándome en cada parcial y final necesario para acceder al título de Ingeniero.

A mis padres quienes me apoyaron todo el tiempo, me enseñaron la importancia del estudio y del trabajo duro. Acompañando ante decisiones importantes, brindando su apoyo moral, económico y su paciencia para alcanzar el objetivo de ser un orgullo para ellos. A mi papá por el ejemplo del esfuerzo y del estudio. A mi mamá por su cariño y apoyo continuo. A mi hermano por los consejos. A mi tía que nos mira desde el cielo, pero me dejó su amor por el arte. A toda mi familia en general.

A José Wolski cuya ayuda incondicional en las duras tareas de campo facilitaron este trabajo. Su presencia en los momentos más complicados que fueron surgiendo fue un incentivo que me ayudó a continuar, predisposto a acompañarme siempre.

Gracias a mis amigas/os de la vida. Siempre presentes, desde lejos o desde cerca, pero siempre tirando buenas ondas y haciendo el aguante.

A mi casa de estudios, la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Lomas de Zamora quien me dio la oportunidad de estudiar gratuitamente para alcanzar el título de Ingeniero Agrónomo.

A la doctora Mónica Barrios, mi directora y por darme la posibilidad de integrar el grupo de trabajo en el que estoy y abrirme la puerta a la investigación de los suelos. Por compartir sus experiencias y las discusiones enriquecedoras.

A todos los miembros del área de suelos. Al Ingeniero Agrónomo (MSc) Javier De Grazia, mi codirector, por su seriedad, responsabilidad en el trabajo y sus correcciones desde un principio en cada texto que escribí, por su invaluable aporte durante el desarrollo de las distintas etapas de esta tesis y por su permanente apoyo. Al Ingeniero Agr. Hernán Rodríguez por su ayuda en los temas de laboratorio y que al tenerlo en la puerta de al lado era una continua consulta, y a ambos por su colaboración aportando su continuo apoyo para la resolución de problemas. A Silvina Debelis por su afectuosa predisposición. A la Licenciada María Cristina Gagey por escucharme en los temas de

la vida y de la tesis, por su ayuda en el laboratorio y por sus consejos y correcciones. Al Ingeniero Alfonso Buján por su sabiduría del suelo y de la vida.

A Nora Abbiati, Ana Costas y Eduardo Fernández, quienes con sus conocimientos estadísticos, me dieron una mano con las dudas que fueron surgiendo.

Quisiera agradecer a todas y cada una de las personas que han vivido la realización de esta tesis, por todo el apoyo brindado sin ellos no hubiera sido posible la realización de este trabajo.

ÍNDICES



<u>ÍNDICE GENERAL</u>	
ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO	Pág.12
INTRODUCCIÓN GENERAL	Pág.14
<u>1- INTRODUCCIÓN</u>	Pág.15
<u>2- OBJETIVOS</u>	Pág.19
<u>3- HIPÓTESIS</u>	Pág.21
<u>4- PLAN DE TRABAJO</u>	Pág.22
<u>5- CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA</u>	Pág.23
5.1- CUENCA A LA QUE PERTENECE	Pág.24
5.2 RASGOS CLIMÁTICOS Y EDÁFICOS DEL ÁREA DEL ENSAYO	
<u>5.2.a Clima</u>	Pág.26
<u>5.2.b Suelo</u>	Pág.27
<u>6- MATERIALES Y MÉTODOS</u>	
6.1. UBICACIÓN DEL ENSAYO	Pág.29
6.2. DISEÑO DEL ENSAYO	Pág.30
6.3. TRATAMIENTOS	Pág.31
6.4. DISEÑO EXPERIMENTAL	Pág.31
6.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	Pág.31
CUERPO DEL TRABAJO	Pág.32
CAPÍTULO 1- SUELO: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS	Pág.33
<u>1. INTRODUCCIÓN</u>	Pág.34
<u>2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</u>	Pág.39
<u>3. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</u>	Pág.40
<u>4. MATERIALES Y MÉTODOS</u>	
4.1. PROPIEDADES DE CALIDAD DE SUELO ESTUDIADAS	Pág.41
<u>4.1.a. Propiedades físicas de suelo</u>	Pág.41
<u>4.1.b. Propiedades químicas de suelo</u>	Pág.44
4.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS REALIZADOS	Pág.51
<u>5. RESULTADOS</u>	
5.1. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES	Pág.52
<u>5.1.a. Primer nivel de profundidad 0-10 cm</u>	Pág.52
<u>5.1.b. Segundo nivel de profundidad 10-20 cm</u>	Pág.55
5.2. ANÁLISIS DE VARIANZA	Pág.57
<u>5.2. a. Propiedades físicas</u>	Pág.57
<u>5.2.b. Propiedades químicas</u>	Pág.58

<u>6. DISCUSIÓN</u>	
6.1 PRIMER NIVEL DE PROFUNDIDAD 0-10 cm	Pág.60
<i>G.I: Ptot, Paire y Kh</i>	Pág.60
<i>G.II. Dap, Pagua, HG, Imp, Cmasa</i>	Pág.62
<i>pH, CE, Nmasa y Pext</i>	Pág.68
6.2 SEGUNDO NIVEL DE PROFUNDIDAD 10-20 cm	Pág.71
<u>7. CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO</u>	Pág.74
CAPÍTULO 2- CULTIVO: PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD	Pág.77
<u>1. INTRODUCCIÓN</u>	Pág.78
<u>2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</u>	Pág.89
<u>3. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</u>	Pág.90
<u>4. MATERIALES Y MÉTODOS</u>	
4.1. PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO	Pág.91
<i>4.1.a. Maíz</i>	Pág.91
<i>4.1.b. Trigo</i>	Pág.92
4.2. CALIDAD INDUSTRIAL DEL CULTIVO	Pág.94
<i>4.2.a. Maíz</i>	Pág.94
<i>4.2.b. Trigo</i>	Pág.96
<u>5. RESULTADOS</u>	
5.1. PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO	Pág.10 2
<i>5.1.a. Maíz</i>	Pág.10 2
<i>5.1.b. Trigo</i>	Pág.10 4
5.2. CALIDAD INDUSTRIAL DEL CULTIVO	Pág.10 7
<i>5.2.a. Maíz</i>	Pág.10 7
<i>5.2.b. Trigo</i>	Pág.10 7
<u>6. DISCUSIÓN</u>	
6.1. PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO	Pág.10 9
6.2. CALIDAD INDUSTRIAL DEL CULTIVO	Pág.12 0
<u>7. CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO</u>	Pág.12 9
CONCLUSIONES FINALES	Pág.13 0
BIBLIOGRAFÍA	Pág.13 2
ANEXOS	Pág.17 3

<u>NÓMINA DE ABREVIATURAS</u>	Pág.8
<u>ÍNDICE DE TABLAS</u>	Pág.9
<u>ÍNDICE DE FIGURAS</u>	Pág.10
<u>ÍNDICE DE ANEXOS</u>	Pág.11

<u>NÓMINA DE ABREVIATURAS</u>	
A.O.A.C.	Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL
AACS	Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo
AAPRESID	Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa
CABA	Ciudad Autónoma de Buenos Aires
CABC	Cámara Arbitral de la Bolsa de Cereales
CAE	Centro Atómico Ezeiza
CMR	Cuenca Matanza-Riachuelo
CNEA	Comisión Nacional de Energía Atómica
ETP	Evapotranspiración Potencial
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación
FCA	Facultad de Ciencias Agrarias
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
LC	Labranza Convencional
MAIZAR	Asociación Maíz Argentino
MinAgri	Ministerio de Agricultura y Ganadería y Pesca
msnm	metros sobre el nivel del mar
N	Nitrógeno
P	Fósforo
ppm	partes por millón
RMBA	Región Metropolitana de Buenos Aires
SAGyP	Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca
SD	Siembra Directa
UNLZ	Universidad Nacional de Lomas de Zamora

<u>ÍNDICE DE TABLAS</u>	
Tabla 1. Datos del perfil de suelo.	Pág.28
Tabla 2: Valores propios de los componentes principales y la varianza explicada por ellos para el primer nivel de profundidad 0-10cm para los tres años.	Pág.52
Tabla 3: Correlación de Pearson entre las variables originales y las dos primeras cada componentes principales, para el primer nivel de profundidad 0-10 cm y los tres años.	Pág.53
Tabla 4: Valores propios de los componentes principales y la varianza explicada por ellos para el primer nivel de profundidad 10-20 cm y los tres años.	Pág.55
Tabla 5: Correlación de Pearson entre las variables originales y las dos primeras cada componentes principales, para el primer nivel de profundidad 10-20 cm para los tres años.	Pág.56
Tabla 6. Propiedades físicas según el año para el primer nivel de profundidad de 0-10 cm.	Pág.57
Tabla 7. Propiedades físicas según el año para el segundo nivel de profundidad de 10-20 cm.	Pág.58
Tabla 8. Propiedades químicas según el año para el primer nivel de profundidad de 0-10 cm.	Pág.58
Tabla 9. Propiedades químicas según el año para el segundo nivel de profundidad de 10-20 cm.	Pág.59
Tabla 10. Datos del cultivo de maíz en Argentina desde la campaña 2014/2015.	Pág.79
Tabla 11. Datos del cultivo de trigo en Argentina desde la campaña 2014/2015.	Pág.81
Tabla 12. Fases del ciclo fenológico de maíz siguiendo la Escala de Ritchie y Hanway.	Pág.91
Tabla 13. Fases del ciclo fenológico de trigo siguiendo la escala decimal Zadoks (Z0.0 a Z9.9).	Pág.93
Tabla 14. Evolución de la materia seca particionada de maíz por tratamiento y por fecha de muestreo.	Pág.102
Tabla 15. Evolución de la materia seca particionada de trigo por tratamiento y por fecha de muestreo.	Pág.105
Tabla 16. Parámetros de calidad de maíz.	Pág.107
Tabla 17. Parámetros de calidad de trigo.	Pág.108

ÍNDICE DE FIGURAS	
Figura 1. Ecorregiones de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.	Pág.23
Figura 2. Redes de las Cuencas Hídricas del Área Metropolitana de Buenos Aires	Pág.24
Figura 3. Subcuencas hidrográficas de la cuenca del Río Matanza- Riachuelo.	Pág.25
Figura 4 a y 4 b. Arroyo Aguirre.	Pág.26
Figura 5. Registros de precipitaciones y temperatura promedio.	Pág.27
Figura 6. Ubicación de la Comisión Nacional de Energía Atómica y las parcelas del ensayo.	Pág.29
Figura 7. Detalles de la rotación durante este trabajo.	Pág.30
Figura 8. Penetrómetro de impacto.	Pág.44
Figura 9. Infiltrómetro o permeámetro de disco.	Pág.44
Figura 10 a. Conductímetro.	Pág.46
Figura 10 b. pH metro.	Pág.46
Figura 11. Espectrofotómetro.	Pág.50
Figura 12. Resultados de análisis de componentes principales para la profundidad 0-10 cm. A:2013, B: 2014 y C: 2015.	Pág.54
Figura 13. Regiones Argentinas productoras de maíz.	Pág.80
Figura 14. Regiones Argentinas productoras de trigo.	Pág.82
Figura 15. Datos climáticos durante el cultivo de maíz.	Pág.92
Figura 16. Datos climáticos durante el cultivo de trigo.	Pág.93
Figura 17. Infraneo de CHOPIN.	Pág.98
Figura 18. Equipo Perten Glutomatic 2200.	Pág.99
Figura 19. Equipo para determinar el Falling Number: Pertern FN 1500.	Pág.10 0
Figura 20. Evolución de la altura de las plantas de maíz según tratamiento y fecha de muestreo.	Pág.10 3
Figura 21. Evolución del Índice de Área Foliar en maíz a lo largo del ciclo del cultivo según sistema de labranza y fecha de muestreo.	Pág.10 3
Figura 22. Rendimiento en grano de maíz en kg ha ⁻¹ para cada sistema de labranza.	Pág.10 4
Figura 23. Peso de mil granos de maíz para cada sistema de labranza.	Pág.10 4
Figura 24. Evolución de la altura de las plantas de trigo según tratamiento y fecha de muestreo.	Pág.10 5
Figura 25. Evolución del Índice de Área Foliar en trigo a lo largo del ciclo del cultivo según sistema de labranza y fecha de muestreo.	Pág.10 5
Figura 26: Rendimiento en grano para trigo para cada sistema de labranza.	Pág.10

	6
Figura 27: Peso de mil granos de trigo para cada sistema de labranza.	Pág.10 7

ÍNDICE DE ANEXOS	
TABLAS	
Tabla 1. Datos climáticos. Servicio meteorológico nacional. Base de datos de la Estación meteorológica Ezeiza. Serie 1981-2010.	Pág.174
Tabla 2. Características meteorológicas del período de duración del ensayo 2013-2015.	Pág.175
FIGURAS	
Figura 1. Valores promedios de precipitaciones (pp) y Temperatura media (T) por mes según el Servicio Meteorológico Nacional para la estación Ezeiza del período 1981-2010	Pág.174
Figura 2. Matriz de correlación/ probabilidades del año 2013 0-10 cm.	Pág.176
Figura 3. Matriz de correlación/ probabilidades del año 2014 0-10 cm.	Pág.176
Figura 4. Matriz de correlación/ probabilidades del año 2015 10-20 cm.	Pág.176
Figura 5. Matriz de correlación/ probabilidades del año 2013 10-20 cm.	Pág.176
Figura 6. Biplot del año 2013 10-20 cm.	Pág.177
Figura 7. Matriz de correlación/ probabilidades del año 2014 10-20 cm.	Pág.177
Figura 8. Biplot del año 2014 10-20 cm.	Pág.177
Figura 9. Matriz de correlación/ probabilidades del año 2015 10-20 cm.	Pág.178
Figura 10. Biplot del año 2015 10-20 cm.	Pág.178



ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

La primera parte del documento conforma la introducción general. En la misma se realizó una revisión bibliográfica sobre el tema de la tesis que se ha denominado: “Efecto de dos sistemas de labranza en una rotación típica de Pampa Ondulada, sobre la calidad del suelo y la productividad y calidad industrial de un cultivo de maíz “*Zea mays*” y trigo “*Triticum aestivum*”. Se presenta brevemente el problema abordado, el enfoque que se le ha dado al estudio y la relevancia de la investigación. Asimismo, se detallan los objetivos generales y específicos que motivaron el desarrollo de esta investigación, se proponen las hipótesis generales y específicas y el plan de trabajo. Posteriormente se detallan las características generales del área, la cuenca a la que pertenece y los rasgos climáticos y edáficos. Finalmente se describen los materiales y métodos utilizados, los tratamientos evaluados, el diseño experimental y el análisis estadístico.

La segunda parte es el cuerpo del trabajo. El mismo está dividido en dos capítulos. Cada capítulo contiene una introducción sobre el tema, los objetivos específicos que motivaron este estudio, las hipótesis planteadas en respuesta a ese objetivo, los materiales y métodos utilizados, los resultados obtenidos, la discusión de los mismos, y finalmente las conclusiones del capítulo.

El primer capítulo denominado “Suelo: propiedades físicas y químicas” aborda los temas relacionados con la calidad física y química del suelo”, donde se desarrolla un análisis mixto y multivariado de estas propiedades. Los resultados están divididos en dos niveles de profundidad: primer nivel de 0-10 cm y segundo nivel de 10-20 cm de profundidad. El segundo capítulo denominado “Cultivos: variables de productividad y de calidad industrial” aborda todo lo relacionado con los dos cultivos, tratándose primeramente el cultivo de trigo y luego el de maíz.

Posteriormente se desarrollan las Conclusiones Finales, donde se resumen los resultados más significativos del trabajo final y se incluyen algunas sugerencias que podrían derivar en futuras líneas de investigación. Finalmente se agregan en el documento las referencias bibliográficas y los anexos.

INTRODUCCIÓN GENERAL



1. INTRODUCCIÓN

La demanda mundial de alimentos y granos destinados a la alimentación humana, se incrementará en el futuro como consecuencia directa del crecimiento poblacional, lo que implicará que los “agricultores” del mundo deban incrementar la producción. Reto que resultará arduo dado los efectos combinados del cambio climático y la competencia cada vez mayor por el uso de la tierra, el agua y la energía. Esta intensificación agrícola aparece en el mundo junto a la “*Revolución Verde*” que dio lugar a mejoras cuantitativas en la producción de alimentos. Sin embargo, la producción agrícola intensiva a lo largo de los años ha ido agotando los recursos naturales poniendo en peligro la productividad futura, por ello se debe alcanzar un uso *sostenible* de la producción agrícola (FAO, 2011).

El proceso de “agriculturización” ha sido definido como el uso creciente y continuo de las tierras para cultivos agrícolas en reemplazo de bosques nativos, usos ganaderos o mixtos. Este crecimiento, ha llevado a la expansión de la frontera agrícola hacia áreas tradicionalmente consideradas marginales produciendo una disminución de la superficie cubierta con praderas y un crecimiento de las áreas dedicadas a cultivos anuales, donde prima el monocultivo de soja o el doble cultivo trigo-soja 2^{da} (Navarrete *et al.*, 2005). El importante crecimiento demográfico de los últimos siglos y la consecuente búsqueda de nuevas tierras para la producción de alimentos promovió una rápida transformación de la cobertura y el uso del suelo en los ecosistemas terrestres. En la actualidad estos son motores del “cambio global” a diferentes escalas de estudio (Volante *et al.*, 2015). Estos cambios generan efectos importantes a nivel local, con consecuencias a escala regional y global, pues influyen en la biodiversidad, el clima, el ciclo del agua, del carbono y los nutrientes (Austin *et al.*, 2006). La conversión de ecosistemas naturales a tierras agropecuarias trae como consecuencia la pérdida de hábitats y de la biodiversidad, la reducción de la capacidad de provisión de servicios ecosistémicos y la transformación del paisaje (Volante *et al.*, 2012). Como resultado de este proceso, entre 1990 y 2006 la superficie de nuestro país destinada a agricultura experimentó un incremento de 45 % y la diversidad de cultivos sufrió una caída superior a 20 % donde la soja llegó a ocupar la mitad de la superficie cultivada (Aizen *et al.*, 2009).

Los sistemas de producción intensivos han contribuido en la mejora sustancial de la rentabilidad económica. Paralelamente, han potenciado la degradación del medio ambiente al aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero, al reducir los ecosistemas naturales, al incrementar la demanda de insumos y al afectar la conservación del suelo y el agua (Kirschenmann, 2010; Barrios *et al.*, 2016). La degradación de las tierras es una de las principales causas de la baja productividad de los sistemas agropecuarios y de la seguridad alimentaria a nivel global (Lal, 2010; Tiendall *et al.*, 2015). La agricultura continua, el uso de prácticas de manejo tradicionales y el monocultivo de soja han deteriorado las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos e incrementaron la superficie afectada por procesos erosivos y de degradación (Micucci & Taboada, 2006; De Grazia, 2010; Barrios, 2011). Acompañando la intensificación de la producción se han desarrollado tecnologías que modifican las estructuras económicas, sociales y ambientales (De la Fuente & Suárez, 2008).

El empleo de maquinaria pesada y el uso excesivo de las mismas junto al sobrepastoreo inducen a la compactación. Varios autores demostraron que la compactación afecta propiedades físicas como la estructura, la porosidad, la velocidad de infiltración, la capacidad de retención de agua, la densidad aparente y la resistencia mecánica a la penetración (Lampurlanés & Cantero-Martínez, 2003; Barrios, 2011), restringiendo el crecimiento de los cultivos y ocasionando una reducción de las actividades de los microorganismos (Hamza & Anderson, 2005). En este sentido, es necesario aplicar prácticas de manejo conservacionistas para mantener las condiciones físicas del suelo. Actualmente alrededor del mundo hay cerca de 63 millones de has bajo sistema de labranza conservacionista (labranza cero o siembra directa), la mayoría ubicadas en Estados Unidos y Brasil (Nyamangara *et al.*, 2013). Al estudiar la superficie cultivada en América bajo este sistema Paraguay ocupa el primer lugar, le sigue Argentina y en tercer lugar Brasil (Friedrich, 2014). Nuestro país adoptó a gran escala la siembra directa (Soracco *et al.*, 2010), llegando en la actualidad a 80 % de la superficie cultivada (Aapresid, 2012). Los sistemas de labranza mínima, y en especial la siembra directa, con un uso creciente de fertilizantes se introdujeron como prácticas de manejo en la década de 1990 y se adoptaron a un ritmo exponencial (MinAgri, 2011).

Las prácticas de manejo, como la labranza, tienen efectos en el corto y largo plazo, modificando varias propiedades de los suelos. Esto repercute de manera directa sobre la sustentabilidad del sistema y el desarrollo y productividad de los cultivos (De la Fuente & Suárez, 2008; Wyngaard, 2010). En el mundo varios autores han estudiado la relación de los efectos de la labranza sobre las propiedades físicas del suelo y su incidencia en el comportamiento de los cultivos (Meira-Cássaro *et al.*, 2011; Arvidsson & Hakansson, 2014; Barrios *et al.*, 2014b). Las diferentes prácticas utilizadas en los sistemas de producción tienen un impacto, principalmente, sobre el balance de carbono en el suelo (Balesdent *et al.*, 2000). Bajo labranza convencional, los suelos han presentado una pérdida neta de carbono orgánico total (Quiroga *et al.*, 1996) y de nutrientes (Bernardos *et al.*, 2001). Asimismo, la intensidad, el momento y el tipo de labranza afecta la accesibilidad de los microorganismos a los residuos (Balesdent *et al.*, 2000). En cuanto al rendimiento de los cultivos no sólo el ambiente (donde se incluye el tipo de suelo, el clima y el manejo realizado) impacta sobre el mismo sino también el genotipo y la interacción genotipo-ambiente (Galantini *et al.*, 2004).

Del mismo modo, los factores agrotécnicos influyen sobre la calidad de grano (Morris *et al.*, 2010), características que también son fuertemente dependientes de las condiciones agroclimáticas (Gómez-Becerra *et al.*, 2010). El sistema de labranza, afecta la producción de los cultivos, teniendo gran influencia sobre el rendimiento, la productividad y la calidad del grano obtenido (Papucci, 2008; Miravalles *et al.*, 2013). Durante la última década, a nivel local y global, los mercados de granos se han vuelto más especializados y más exigentes en granos uniformes y de características definidas (Izquierdo & Cirilo, 2013), dando mayor relevancia al concepto de calidad. La calidad se puede definir como el grado de aptitud de un producto para un uso determinado, de la forma más natural, sencilla y económica posible. La situación es más compleja cuando se integra la variabilidad de los procesos y la preferencia del consumidor (Robutti, 2004). Esto hace que la calidad sea un proceso dinámico y por ende evoluciona constantemente como consecuencia de las nuevas exigencias, aplicaciones y disponibilidades (Chidichimo *et al.*, s.f.).

En el caso particular del trigo, la disponibilidad de N durante el crecimiento es un factor que determina el rendimiento en grano, las proteínas del gluten y la calidad final (Gianibelli & Sarandon, 1990; Dobermann, 2007; Arzadun *et al.*, 2013; Villanueva-

Flores, 2014). El contenido de proteína del trigo depende en gran medida de factores agronómicos y ambientales como el N y la humedad del suelo, y la temperatura durante las etapas de crecimiento (Villanueva-Flores, 2014).

La pérdida de calidad de los recursos tierra y agua disponibles para la producción agrícola tiene importantes implicancias para el futuro. La misma genera la necesidad de realizar modificaciones en el sistema alimentario mundial, donde el incremento de la producción de alimentos ocurra simultáneamente con el aumento de la eficiencia en el uso de insumos reduciendo al mínimo el impacto ambiental negativo. Una producción ecológicamente sostenible requiere un suelo sano (FAO, 2011), donde las prácticas agrícolas no alteren la salud del mismo. El empleo de labranzas de conservación, cultivos de cobertura, el mantenimiento del agua, la promoción de la actividad biológica, la mejora y conservación de la materia orgánica y los nutrientes y el manejo integrado de plagas y malezas permiten conservar su calidad. Conocer la dinámica de las variables edáficas que son sensibles al manejo contribuye con el diagnóstico y la toma de decisiones respecto a qué prácticas implementar para desarrollar un sistema productivo basado en una agricultura sostenible, conservadora de los recursos, eficiente en energía y socialmente viable (Quiroga & Funaro, 2003; Duval *et al.*, 2013; Cerisola *et al.*, 2014). La adopción de sistemas conservacionistas se ha aconsejado para mitigar el efecto de la agriculturización pero sus efectos sobre las propiedades del suelo han sido poco estudiados a largo plazo o no han incluido, en la mayoría de las veces, la productividad y calidad de los cultivos (Golik, 2009).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN

Los objetivos principales de este trabajo fueron:

- ❖ Determinar el impacto del sistema de labranza sobre la calidad del suelo (propiedades físicas y químicas).
- ❖ Determinar el impacto del sistema de labranza sobre la productividad y calidad industrial de dos cultivos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A partir de lo expuesto anteriormente, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- ♣ Evaluar los efectos de dos sistemas de labranza en un Argiacuol vértico, sobre una rotación agrícola de ocho años, a partir de propiedades:
 - a) físicas: densidad aparente; contenido gravimétrico de humedad; porosidad total; volumen de macroporos o porosidad de aire; volumen de mesoporos y microporos o porosidad de agua; infiltración básica o conductividad hidráulica a flujo saturado y resistencia a la penetración.
 - b) químicas: potencial de hidrógeno; conductividad eléctrica; contenido de carbono orgánico total; contenido de fósforo extractable y el contenido de nitrógeno total.

- ♣ Identificar las propiedades de calidad de suelo más sensibles a los sistemas de labranza empleados (labranza convencional y siembra directa).

♣ Evaluar el efecto de dos sistemas de labranza sobre la productividad de un cultivo de maíz y trigo analizando: rendimiento en grano; peso de mil granos; índice de área foliar; altura de plantas; biomasa total; biomasa aérea y biomasa de raíces.

♣ Establecer el impacto del sistema de labranza bajo rotación de cultivos, sobre la calidad industrial de los granos:

- a) maíz: proteína bruta y materia grasa.
- b) trigo: proteína bruta; cenizas totales; contenido de gluten, actividad amilásica y fuerza de la masa.

3. HIPÓTESIS

Con la concreción de los objetivos señalados, se intentará comprobar la siguiente hipótesis principal:

3.1 HIPÓTESIS GENERAL

- ❖ Varios años de agricultura continua generan un impacto sobre diversas propiedades que definen la calidad del suelo y el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

3.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- ❖ Los sistemas de labranza (labranza convencional y siembra directa) inciden en la calidad, es decir las propiedades físicas y químicas de un suelo Argiudol vértico, ubicado en Partido de Ezeiza, Buenos Aires.

- ❖ Existen propiedades de calidad de suelo, que explican mejor el impacto producido por el sistema de labranza.

- ❖ La productividad de un cultivo de trigo y maíz en una rotación es afectada por el sistema de laboreo.

- ❖ La calidad industrial de un cultivo de trigo y de maíz en una rotación, se ve afectada por el sistema de labranza.

4. PLAN DE TRABAJO

En el desarrollo de la presente investigación se ha seguido el siguiente plan de trabajo:

- 1- Revisión bibliográfica: búsqueda especialmente enfocada en dos direcciones:
 - Sobre las propiedades físicas y químicas de un suelo Argiacuol vértico.
 - Sobre la productividad y calidad de un cultivo de maíz y de trigo en la Pampa Ondulada.
- 2- Procesamiento de la información recopilada y clasificación.
- 3- Experimentación a campo de ambos cultivos.
- 4- Obtención de datos a campo del suelo y el cultivo.
- 5- Obtención de datos en laboratorio.
- 6- Procesamiento de los datos recolectados a campo y generados en el laboratorio.
- 7- Análisis de los resultados obtenidos.
- 8- Comparación de los datos obtenidos con información nacional e internacional.
- 9- Conclusiones.

Es necesario aclarar que algunos resultados que se presentan en este documento han sido presentados previamente en congresos: “Análisis de componentes principales sobre propiedades físicas y químicas del suelo en dos sistemas de labranza” y “Partición de materia seca y calidad del cultivo de trigo en diferentes sistemas de labranza” en las actas del XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Estas publicaciones, sometidas a evaluación externa han permitido enriquecer la investigación. Asimismo, se han derivado algunos trabajos presentados en el XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo 2018. Algunos comentarios y sugerencias recibidas en el proceso de evaluación han sido incorporados a este documento.

5. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA

La provincia de Buenos Aires limita al norte con las provincias de Santa Fe, Entre Ríos y Córdoba, al este con las aguas del Mar Argentino y el Río de La Plata, al sur con la Provincia de Río Negro y el Mar Argentino y al oeste con las provincias de Río Negro, La Pampa y Córdoba. Con una superficie de 307.571 km². Solbrig y Morillo (1997) dividen a la provincia de Buenos Aires en ocho subregiones desde el punto de vista geomorfológico y morfogenético (Figura 1). Según esta subdivisión este ensayo se encuentra ubicado en la Pampa Ondulada. Este sector dentro de la provincia de Buenos Aires, está comprendido entre los cursos de los ríos Paraná, de la Plata y el Salado.

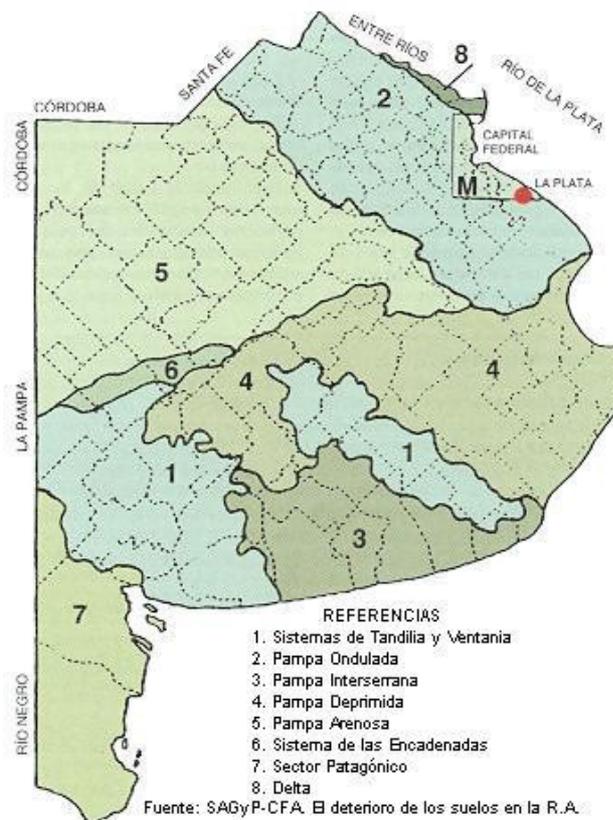


Figura 1. Ecorregiones de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Según Solbrig Morillo, 1997.

La Pampa Ondulada constituye una unidad fisiográfica caracterizada por un relieve suavemente ondulado, resultante del modelaje impreso a la zona por gran cantidad de ríos y arroyos de trazo zigzagueante. La pendiente general del área es de 2 % aunque hay sectores en que llegan hasta 5 %. Estos gradientes y la longitud de las pendientes producen en esta región una susceptibilidad a la erosión hídrica, en algunos casos

severos. El horizonte superior si no está erosionado alcanza unos 25 cm, con textura franco-limosa, estructura granular, bien provisto de materia orgánica. En menor proporción, en algunas cubetas aparecen suelos hidromórficos y sódicos. En la región existen zonas destinadas a uso agrícola (soja 1^{ra}, maíz y trigo o doble cultivo trigo/soja 2^{da}) y las áreas utilizadas para ganadería se encuentran adyacentes a los cursos de agua y en zonas cóncavas anegables (MAA, 2007).

5.1. CUENCA A LA QUE PERTENECE

Dentro de la Región Metropolitana de Buenos Aires se encuentran la Cuenca del Río Luján, la Cuenca del Río Reconquista y la Cuenca Matanza Riachuelo, donde se realizó este trabajo (Figura 2). La red de drenaje se estructura a partir de una cuenca principal, constituida por el río Matanza-Riachuelo y una serie de cuencas menores que desaguan directamente en el Río de la Plata. La Cuenca Matanza-Riachuelo, se encuentra localizada al noreste de la provincia de Buenos Aires, limita al norte con la cuenca del Río Reconquista, al sureste con la cuenca del Samborombóm, al sudoeste con la Cuenca del Río Salado y hacia el este con el Río de la Plata (Timm & Serruya, 2009).

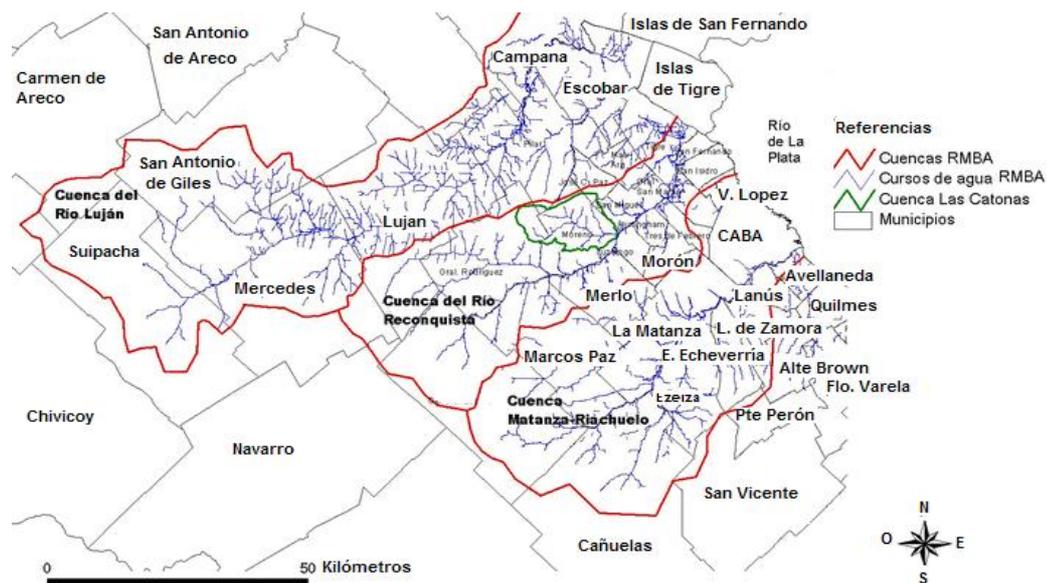


Figura 2. Redes de las Cuencas Hídricas del Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA).

El territorio comprendido por esta cuenca abarca la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y 14 municipios de la provincia: Avellaneda, Lanús, Lomas de Zamora, Almirante Brown, Morón, Merlo, La Matanza, Ezeiza, Esteban Echeverría, Presidente Perón, San

Vicente, Marcos Paz, General Las Heras y Cañuelas (Acumar, 2013). Dentro de la Cuenca Matanza-Riachuelo se pueden distinguir tres sectores: Cuenca Alta, Cuenca Media y Cuenca Baja. La Cuenca Alta, se extiende desde la naciente del Río Matanza hasta la desembocadura del arroyo Chacón y comprende los Partidos de Presidente Perón, San Vicente, Merlo, Marcos Paz, General Las Heras y Cañuelas. La Cuenca Media, se extiende desde la desembocadura del arroyo Chacón hasta Puente La Noria, comprendiendo La Matanza, Ezeiza, Esteban Echeverría y Almirante Brown. Por último, la Cuenca Baja, donde se realizó este trabajo, se extiende desde Puente La Noria hasta la desembocadura, comprendiendo los Partidos de Avellaneda, Lanús y Lomas de Zamora (Timm & Serruya, 2009).

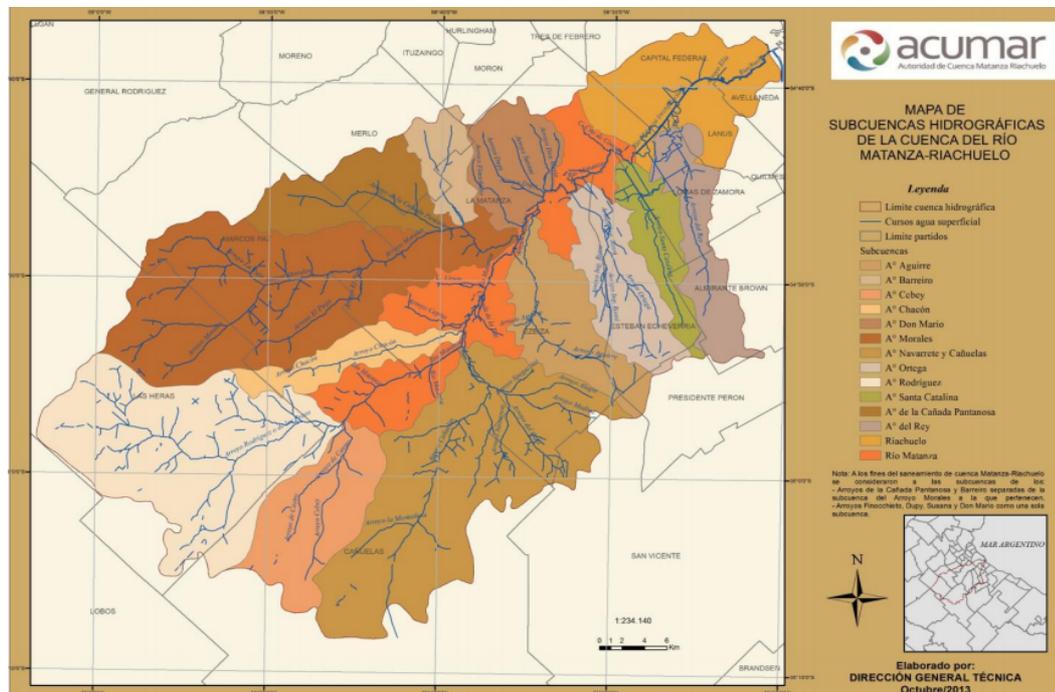


Figura 3. Subcuencas hidrográficas de la cuenca del Río Matanza-Riachuelo. Acumar, 2013.

El Río Matanza-Riachuelo, es un curso de agua con una longitud de 70 km, con hábito meandriforme de alta sinuosidad, dirección general SO-NE y un ancho medio de 35 m, cuya superficie abarca 2240 km². Es llamado Río Matanza desde su nacimiento y en la mayor parte de su desarrollo, y Riachuelo desde Puente La Noria hasta su desembocadura. Nace al oeste de la provincia de Buenos Aires, constituye el límite sur de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y desemboca en el Río de la Plata. La Cuenca se forma con el aporte de 232 cursos mayores y menores, 510 km de cauces en total que descargan sus aguas en el Río Matanza. Recibe en su recorrido numerosos arroyos

tributarios como el Rodríguez, Morales, Cañuelas, Aguirre y Ortega, Chacón y Cildáñez, en los cuales confluyen otros arroyos menores (Figura 3). Muchos escurren hacia el cauce principal de la cuenca que en la actualidad se encuentra entubado. La subcuenca pertenecen la que se ubica el ensayo se encuentra delimitado por el interfluvio entre los arroyos Aguirre y Ortega (Figura 4a y 4b) y tiene una superficie de 100 km. Debido a la poca pendiente existen zonas de inundación, terrenos anegadizos, pajonales y otros cursos de agua temporarias y algunos arroyos permanentes (Quaíni, 2011). La Flora de la Cuenca se caracteriza por una baja presencia arbórea y la predominancia de gramíneas, stipáceas, festúceas y eragrósteas y en menor medida, clorídeas, paníceas y andropogóneas. Los géneros más frecuentes son Stipa, Piptochaetium, Arístida, Melica, Briza, Bromus, Eragrostis y Poa, también existen pajonales y juncuales. En su Fauna se encuentran varias especies de peces, anfibios y reptiles, aves y mamíferos muy diversos (Timm & Serruya, 2009). Predomina la agricultura, siendo la soja y luego el maíz los cultivos más frecuentes. Asimismo, pueden encontrarse establecimientos ganaderos dispersos dedicados a la cría, establecimientos donde se fabrican alimentos balanceados, galpones de pollos parrilleros y plantas de faena e industrialización de pollos.



Figura 4a y 4b. Arroyo Aguirre.

5.2. RASGOS CLIMÁTICOS Y EDÁFICOS DEL ÁREA DEL ENSAYO

5.1.a. Clima

El clima es templado húmedo, las características de este tipo climático inciden en la evolución de los suelos y en la recarga y excesos de agua en el perfil. La temperatura

media anual promedio es de 16,7 °C, variando entre 23,9 °C y 9,6 °C, siendo los meses de diciembre, enero y febrero los más cálidos y los meses de junio, julio y agosto los más fríos. La temperatura máxima anual promedio es de 22,5 °C con un rango de 14,9 a 30,2 °C y la temperatura mínima anual promedio es de 11,2 °C con un rango entre 4,9 a 17,7 °C según el mes. El régimen de precipitaciones es isohigro, siendo la precipitación media anual de 1019,8 mm. La pluviometría mensual está comprendida entre 47,3 mm y 114,4 mm, donde los valores más bajos se registran entre los meses de junio hasta septiembre inclusive y los más altos entre los meses de octubre a marzo. Los vientos surcan la región en dirección sudoeste-noreste con una velocidad promedio de 12,3 km h⁻¹(Servicio Meteorológico Nacional, s.f.). Los valores encontrados durante este ensayo se detallan en anexos. Los valores de precipitaciones y la temperatura promedio registrados durante el ensayo se detallan en la Figura 5.

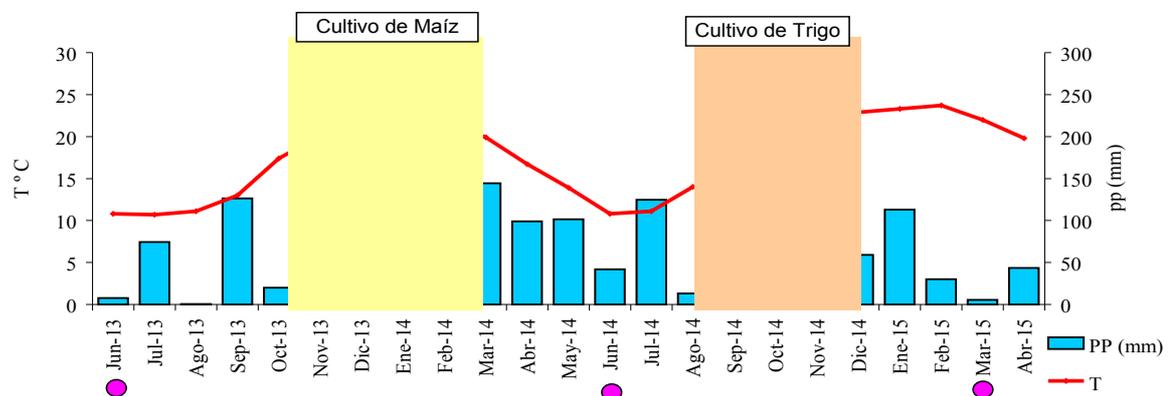


Figura 5. Registros climáticos durante los cultivos. pp: precipitaciones en mm (indicada con barra) y T: temperatura promedio en °C (indicada con línea) durante el desarrollo de cada uno de los cultivos maíz-trigo. Los puntos indican momento de muestreo de suelos.

5.2.b. Suelos

La geomorfología del área corresponde a una amplia planicie con áreas bajas y deprimidas. Pueden distinguirse una zona alta y una zona más baja. Los suelos de la zona alta, en su mayor parte son variaciones dentro de los Argiudoles, presentando buen desarrollo pedogenético, alto contenido de materia orgánica total y sin limitaciones para el laboreo. Los suelos de la zona baja, son el resultado de los diversos ambientes sedimentológicos creados como consecuencia de la acumulación de limos, arenas y arcillas post-pampeanas y se caracterizan por presentar una capa de arcilla que dificulta el drenaje y favorece las condiciones de anegamiento. Las zonas más altas están

ocupadas por asociaciones de Argiudoles, Argialboles y Natracualfes típicos, las zonas intermedias, se presentan asociaciones de Argialbol argiácuico, Natracualf mólico, Argiudol ácuico y Argialbol típico y en las zonas aledañas a los cursos de agua existen suelos no diferenciados y alcalinos (Timm & Serruya, 2009). El suelo del ensayo es un Argiacuol vértico (Soil Survey Staff, 2010). El mismo presenta la siguiente configuración del perfil: Ap de 0-10 cm, A2 de 10-20 cm, BA de 20-30 cm, Bt1 de 30-50 cm, Bt2 de 50-75 cm, BC de 75-90 cm y C de 90 cm en adelante, con texturas que varían de franco-arcillo a arcillo, siendo el contenido de arcilla elevado en todo el perfil, con valores de 39 % en superficie y 68 % en el Bt (Tabla 1). Por otro lado, presenta rasgos de hidromorfismo (moteados de hierro y manganeso) a la partir del horizonte BA, es moderadamente bien drenado, con relieve normal y una pendiente media de 1 %. La reacción en todo el perfil es neutra a ligeramente ácida, el contenido de materia orgánica total es aproximadamente 4,12 % en el horizonte superficial, posee un contenido moderado de P y N.

Tabla 1: Datos del perfil del suelo.

Horizonte	Profundidad (cm)	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Clase textural	Dap g cm⁻³
A1	0-10	39,1	39,1	21,7	Franco arcilloso	1,24
A2	10-20	39,9	39,9	20,3	Franco arcilloso a arcillo limoso	1,30
BA	20-30	51,7	27,2	21,1	Arcilloso	1,30
Bt1	30-50	68,1	23,2	8,7	Arcilloso	1,25
Bt2	50-75	67,6	17,9	14,5	Arcilloso	1,30
BC	75-90	55,0	26,0	19,1	Arcilloso	1,29
C	90-+	31,1	38,3	30,6	Franco arcilloso	1,53

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. UBICACIÓN DEL ENSAYO

El ensayo se encuentra localizado en el Partido de Ezeiza, Campo Experimental de Comisión Nacional de Energía Atómica, en el Centro Atómico Ezeiza 34° 49' 00" Latitud Sur, 58° 34' 17" Longitud Oeste, provincia de Buenos Aires, Argentina (Figura 6). El Centro Atómico Ezeiza, está ubicado en la zona sur del Gran Buenos Aires, a 33 km de Ciudad Autónoma de Buenos Aires y 65 de La Plata, y tiene una superficie de 832 ha.

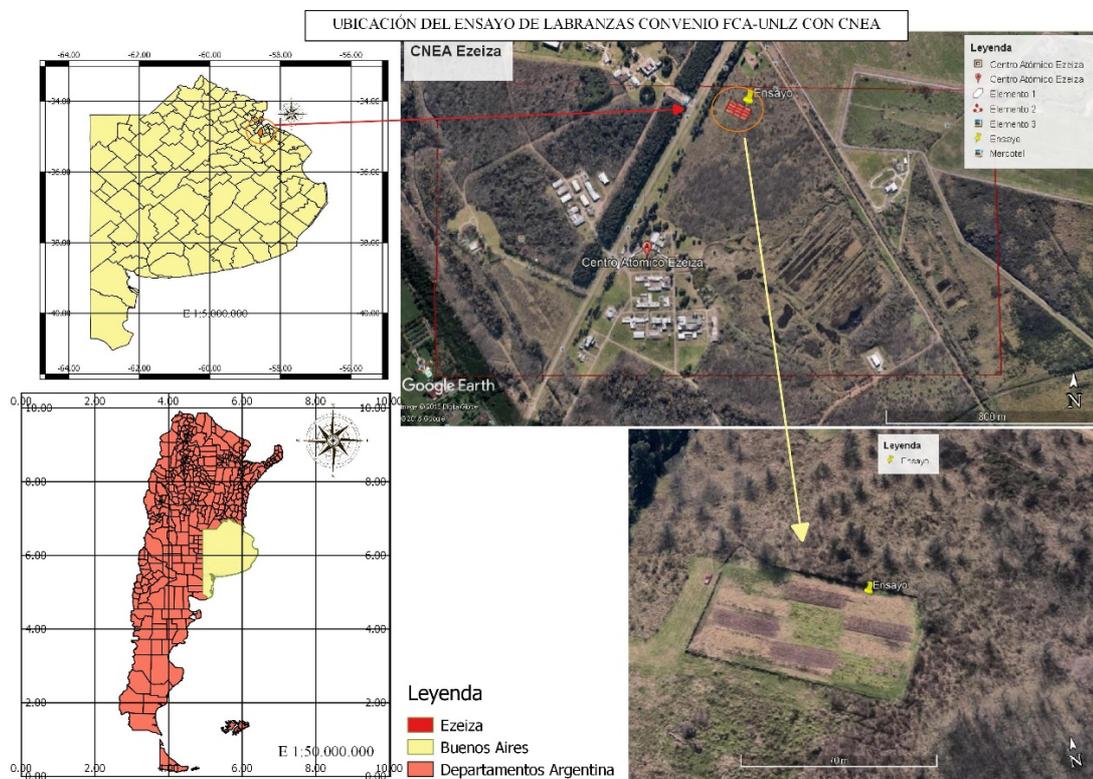


Figura 6. Ubicación de la Comisión Nacional de Energía Atómica y las parcelas del ensayo.

Elaboración personal realizada con el QGIS 2.8.

Esta región se caracteriza geológicamente por relieves planos (normales) con algunas microdepresiones y cubetas. La pampa coincide con una extensa zona de la corteza de una gran estabilidad, donde se acumularon en el pasado geológico sedimentos marinos y continentales formando gruesas series sedimentarias, provenientes de zonas elevadas del oeste del continente. Los depósitos más modernos de origen eólico, están

constituidos por loess pampeanos y sedimentos limo-arenosos de color castaño, intercalados con areniscas muy finas.

6.2. DISEÑO DEL ENSAYO

Este trabajo se realizó en un ensayo de rotación de cultivos y labranzas iniciado en 2006. La secuencia de cultivos previa fue: **la siguiente**: soja 1° (2005/06); trigo/soja 2° (2006/07); maíz (2007/08); soja 1° (2008/09); trigo (2009); maíz (2010/11); soja 1° (2011/12); soja 1° (2012/13); maíz (2013/14); trigo (2014) y a partir de abril de 2015 se instaló una pastura polifítica típica para la zona de trabajo. Este estudio se realizó sobre una rotación maíz (*Zea mays*) - trigo (*Triticum aestivum*) 2013/2014. Dentro del área de estudio, desde sus inicios, se emplean prácticas conservacionistas como son la rotación de cultivos y la siembra directa. En el espacio de tiempo entre los cultivos se dejó en barbecho.

En la Figura 7 se detallan la duración de cada cultivo, la fecha de siembra y de cosecha, el tiempo de barbecho, las fechas de muestreo de suelos y la precipitación acumulada durante los tiempos de barbecho, durante todo el ciclo del cultivo y los dos meses previos al momento de muestreo. El cultivo antecesor del maíz evaluado fue la soja.

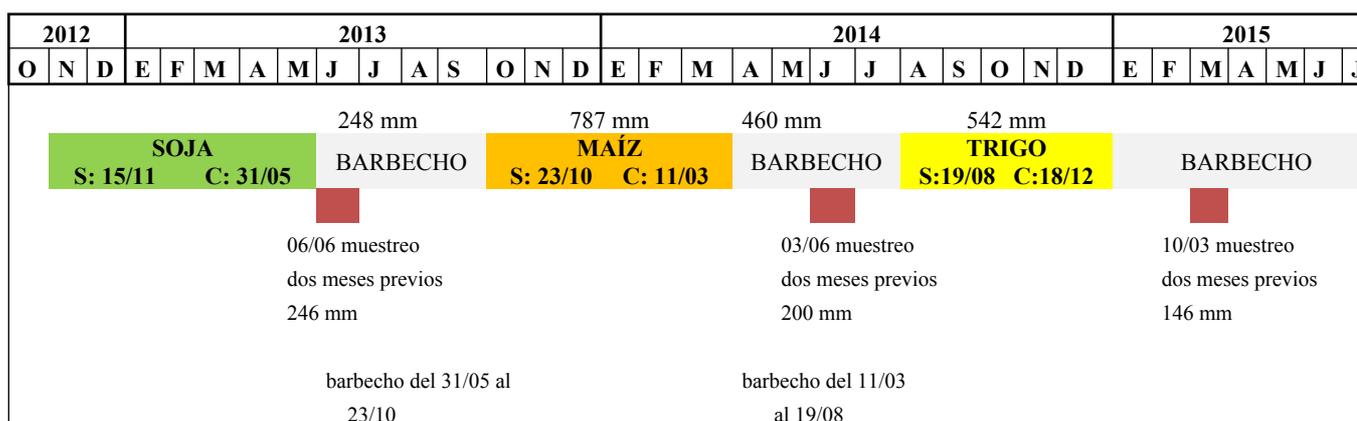


Figura 7. Detalles de la rotación durante este trabajo. Sombreado con rojo señala los puntos de muestreo, en verde aparece señalado la soja; en naranja el cultivo de maíz, en amarillo el trigo y. S: siembra C: cosecha. A partir de los datos climáticos del Servicio Meteorológico Nacional- Estación Agro meteorológica de Ezeiza serie: 1959-2009. Resúmenes en Anexos.

6.3. TRATAMIENTOS

Los tratamientos empleados en este trabajo fueron la labranza convencional y la siembra directa. En las parcelas bajo siembra directa no se realizaron trabajos de labranza, sólo se trató con 3 L ha⁻¹ de glifosato presiembra. Las parcelas cuyo tratamiento fue labranza convencional consistieron primeramente en una pasada de arado de reja y vertedera y posteriormente dos pasadas de rastra de disco. Cada unidad experimental (parcela) tuvo un área de 250 m².

6.4. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental responde a bloques completos al azar con dos tratamientos: labranza convencional y siembra directa y cuatro repeticiones (bloques). Se analizaron variables físicas y químicas del suelo, y variables de productividad y calidad de cultivo. Las variables de suelo se evaluaron en tres momentos: uno previo a la siembra del cultivo de maíz, otro luego de la cosecha del cultivo de maíz o previo a la siembra del cultivo de trigo y la última luego de la cosecha del cultivo de trigo. Las determinaciones de productividad de sobre el cultivo se realizaron durante el ciclo fenológico y a la cosecha y las determinaciones de calidad post cosecha. Más especificaciones respecto a las determinaciones de suelo se desarrollarán en el Capítulo 1 y de cultivo en el Capítulo 2 de este trabajo.

6.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La sensibilidad de los indicadores de suelo con respecto al sistema de labranza se determinó mediante un Análisis de Componentes Principales y el efecto del sistema de labranza, se evaluó estadísticamente mediante un análisis de varianza utilizando paquete estadístico Infostat 2013 (Di Rienzo *et al.*, 2012). Las medias significativamente diferentes se separaron usando test de Tukey ($p < 0,05$). En cada capítulo se hará referencia específica a la metodología estadística utilizada.

CUERPO DE TRABAJO



**CAPÍTULO 1 – SUELO: PROPIEDADES
FÍSICAS Y QUÍMICAS**

1. INTRODUCCIÓN

La intensificación de la producción en nuestro país realizada a partir de la década del 80 y la intensa mecanización producida ha incrementado el área de suelos degradados. El predominio de la labranza convencional derivó en la degradación del recurso suelo con pérdida de la fertilidad, alteración de los procesos biológicos, disminución del contenido de carbono orgánico y de nutrientes, cambio de la estructura del suelo e incremento del escurrimiento superficial (Ferrerías *et al.*, 2007). A partir de esa situación se incorporó la labranza conservacionista, entre ellos la siembra directa (Steinbach & Álvarez, 2007). Esta aparición impulsó el reemplazo del viejo paradigma del laboreo del suelo agrícola, por una agricultura sin remoción del suelo que significó modificar muchos de los aspectos productivos.

En los sistemas de producción existen múltiples factores interactuando simultáneamente, situación que dificulta comprender el funcionamiento de las propiedades edáficas y el comportamiento de los cultivos según el manejo empleado. Las prácticas de manejo, como las rotaciones de cultivo, las labranzas y la fertilización, tienen efectos en el corto plazo sobre el suelo, pero también modifican sus condiciones físicas, químicas y biológicas en el largo plazo, repercutiendo de manera directa sobre la sustentabilidad del sistema y el desarrollo de los cultivos (Wyngaard, 2010). Los cambios en las propiedades de los suelos dependen del sistema de labranza, el tipo de suelo, la secuencia y el rendimiento de los cultivos y, los aportes de residuos (Díaz-Zorita *et al.*, 2004a).

Actualmente tienen gran importancia los sistemas conservacionistas de preparación del suelo, que preserven el suelo y el ambiente (Albiero *et al.*, 2011). Para lograr el desarrollo sostenible resulta de vital importancia seleccionar tecnologías más adecuadas para cada caso y momento. Al momento de plantear una producción sustentable se debe tener en cuenta como primera medida la rotación de cultivos y el uso de labranzas conservacionistas, prácticas desarrolladas a lo largo de este trabajo.

La rotación de cultivo es muy recomendada pues incrementa el rendimiento y mejora la calidad del suelo a partir de un efecto combinado de factores (Aziz *et al.*, 2013). Entre

ellos encontramos reducción de plagas y enfermedades, menor presencia de malezas, uso más eficiente del agua y mayor actividad biológica (Nyamangara *et al.*, 2013).

Por otro lado, las labranzas conservacionistas, en particular la siembra directa se adoptó en el país por los bajos costos de producción, la posibilidad de incorporar áreas menos productivas (Derpsch *et al.*, 2010), el ahorro de tiempo operativo y la nula remoción del suelo que permite reducir la erosión, recuperar la estabilidad de agregados, conservar el agua y aumentar el secuestro de carbono (Viglizzo & Jabbagy, 2010). Este sistema de labranza, produce modificaciones por el efecto de la cobertura vegetal afectando la temperatura, la dinámica, la conservación del agua en el suelo, el desarrollo de plagas, malezas y enfermedades. Estas diferencias, entre otras, generan un nuevo ambiente para el cultivo. Este cambio implica generar nueva información sobre un sistema de producción con características distintas y donde los resultados de largo plazo aún no se conocen (Galantini & Keine, 2015).

En general, la siembra directa presenta mejor respuesta sobre el crecimiento y desarrollo de los cultivo cuando son utilizados en suelos con niveles bajos de materia orgánica y estructura pobre (Kladivko *et al.*, 1986). Pese a tener muchas ventajas, puede impactar negativamente sobre algunas propiedades físicas del suelo superficial reduciendo los macroporos y originando estructuras de tipo laminar y masiva (Strudley *et al.*, 2008; Álvarez *et al.*, 2009; Álvarez *et al.*, 2012). Todo esto es acentuado por el tránsito de las maquinarias pesadas que producen compactación excesiva, sobre todo cuando se utilizan sobre suelo húmedo (Botta *et al.*, 2010). Además, si bien se ha determinado que tiene un considerable potencial para estabilizar el rendimiento en zonas semiáridas, puede tener consecuencias contrastantes sobre el suelo y los cultivos (Khaledian *et al.*, 2012). Algunos autores reportaron efectos positivos de la siembra directa sobre el rendimiento de los cultivos (Osuji, 1984; Lal, 1989; Báez & Aguirre-Medina, 2011) mientras que otros encontraron efectos negativos (Chopart & Kone, 1985; Wilhelm *et al.*, 1987; Barrios, 2011). Los sistemas bajo siembra directa permiten conservar la humedad del suelo y disminuir la evaporación, pero a veces dificulta la correcta ubicación de la semilla y un apropiado cierre del entresurco. La falta de remoción del suelo en siembra directa provoca la estratificación de algunas propiedades químicas edáficas, principalmente del carbono y P (Álvarez & Álvarez, 2000) y en algunas propiedades físicas del suelo (Sasal, 2012). Asimismo, puede demorar la emergencia de

la plántula, retrasar el macollaje y reducir el rendimiento debido a menores temperaturas del suelo (Gupta *et al.*, 1983; Weisz & Bowman, 1999; Blasón *et al.*, 2011). En este sentido, los residuos vegetales afectan al albedo, el principal factor es el color de los residuos, al ser más claros que el suelo desnudo, reflejan una proporción mayor de la radiación de onda corta incidente (Gil & Garay, 2001). Otros factores que presentan diferente importancia son: el grado de descomposición de los residuos, la disposición de los mismos y la humedad, ya que un suelo más húmedo es más oscuro y refleja menos radiación. El agua al tener mayor capacidad calórica que el aire requiere más energía para elevar la temperatura. Asimismo, la presencia de residuos en superficie actúa como aislante. En este sentido, el aire presente entre los residuos y la superficie del suelo posee baja conductividad térmica y en consecuencia se genera una menor amplitud térmica en el suelo calentándose menos durante el día y enfriándose menos durante la noche (Andraski & Bundy, 2008) y una mayor capacidad calórica (Gil & Garay, 2001).

Los sistemas de labranza modifican propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Entre los atributos físicos más sensibles se encuentran: densidad aparente, velocidad de infiltración, la estabilidad de agregados, contenido de materia orgánica y disponibilidad de nutrientes (Carter, 2002; Álvarez *et al.*, 2012; Barrios *et al.*, 2014a). Estas propiedades se consideran como indicadores importantes de la calidad del suelo y determinan la disponibilidad de oxígeno y movimiento de agua en el mismo, condicionando las prácticas agrícolas a utilizarse y la productividad de los cultivos (Hernández, 2000). Los parámetros físicos del suelo se modifican conforme ocurren variaciones en la relación suelo, agua y planta.

La densidad aparente, la porosidad, la infiltración y la resistencia a la penetración son variables físicas del suelo que permiten conocer el grado de compactación del mismo (Hamza & Anderson, 2005; Barrios, 2011). La compactación modifica el flujo de agua relacionándose con la distribución y continuidad del sistema poroso (Strudley *et al.*, 2008) e influyendo sobre el rendimiento de cultivos (Barrios, 2011; Rodríguez-González *et al.*, 2015). Este fenómeno no sólo se origina por el tránsito de maquinaria sino que se incrementa con el uso y mal uso del suelo y del agua (Becerra *et al.*, 2005). En general, la compactación del suelo limita el crecimiento de las raíces, creando una barrera o impedimento mecánico para su penetración, que disminuye su capacidad de exploración y extracción de agua y nutrientes (Bejarano *et al.*, 2010; Barrios, 2011).

Varios autores (Urbanek & Horn, 2006; Wyngaard, 2010; Duval *et al.*, 2013; Barrios *et al.*, 2014a) encontraron que la labranza también modifica los parámetros químicos del suelo. En este sentido, algunos hallaron mayor concentración y disponibilidad superficial de P en el suelo bajo siembra directa (Guppy *et al.*, 2005) y otros afirmaron que el contenido de N se ve alterado por la labranza (Ramírez-Barrientos *et al.*, 2006; Diovisalvi *et al.*, 2008; Wyngaard, 2010; Barrios *et al.*, 2014a). Asimismo, se encontraron reducciones en el contenido de carbono orgánico del mismo bajo labranza convencional (Báez & Aguirre-Medina, 2011). Existen diversos factores que afectan la distribución de carbono dentro del perfil edáfico: las características propias del suelo, el tipo de vegetación, las condiciones climáticas, la topografía y el cambio en el uso y manejo del sistema (Martínez *et al.*, 2008). La materia orgánica tiene un rol primordial en el funcionamiento de los sistemas agropecuarios y en la productividad del suelo (Rotenberg *et al.*, 2007). Variaciones en sus fracciones lábiles denotan el efecto de estas prácticas de manejo (Eiza *et al.*, 2005). Cualquier decisión de manejo que altere la dinámica de sus fracciones incide sobre el ambiente.

La productividad y sustentabilidad agronómica son el resultado de la interacción entre la calidad del suelo, los factores ambientales y el manejo. Poder interpretar e intentar predecir los efectos del manejo sobre la calidad del suelo a través de indicadores confiables y sensibles es una de las principales finalidades de la ciencia del suelo actual. Dada la multiplicidad de variables que controlan los procesos biogeoquímicos y su variación en tiempo y espacio se hace imprescindible usar metodologías que permitan identificar las de mayor relevancia (Quiroga & Funaro, 2003; Jaramillo-Jaramillo, 2011). Evaluar conjuntamente las propiedades del suelo es importante para interpretar correctamente el efecto de distintos sistemas de manejo de la tierra sobre el recurso suelo, desde un punto de vista productivo sin dejar de lado la protección del medio ambiente (Pires-Da Silva *et al.*, 2001). Un método estadístico multivariado donde numerosas variables pueden ser analizadas simultáneamente y de manera global, y sintetizar e interpretar la información es el Análisis de Componentes Principales (Campitelli *et al.*, 2010). Este método es utilizado para clasificar, modelizar y evaluar estudios ambientales, estableciendo la interacción con el entorno de cada propiedad en un área particular (Giuffré *et al.*, 2006; Fidalski *et al.*, 2007; Ramos *et al.*, 2007; Campitelli *et al.*, 2010). El Análisis de Componentes Principales tiene en cuenta las

correlaciones entre numerosas variables permitiendo evaluar los impactos de las labranzas sobre el suelo (Wander & Bollero, 1999) y estudiar la relación de la compactación del suelo con las propiedades físicas y orgánicas (Ball *et al.*, 2000).

Un mejor conocimiento del proceso suelo-ecosistema necesita de la evaluación de varias propiedades y de herramientas analíticas multivariadas (Sena *et al.*, 2002). El monitoreo de los cambios en los indicadores de calidad de suelo podría determinar si un sistema de manejo está en una situación de estabilidad, de mejora o de degradación (Shukla *et al.*, 2006). Se deben seleccionar y cuantificar un número mínimo de características de suelo con el fin de evaluar la calidad (Govaerts *et al.*, 2006). En este sentido, se han propuestos diferentes características de suelo que incluyen propiedades como: materia orgánica del suelo, capacidad de infiltración, estabilidad de los agregados, porosidad, pH, densidad aparente, resistencia mecánica a la penetración, capacidad de almacenamiento de agua, N y P disponible (Aparicio & Costa, 2007). Cuando se quiere estudiar el efecto de los diferentes sistemas de labranza sobre el suelo, se encuentran muchas propiedades del mismo que pueden intervenir y, además, la mayoría de ellas presentan una elevada variabilidad (Jaramillo-Jaramillo *et al.*, 2008; Peña *et al.*, 2009; Souza *et al.*, 2009).

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

◆ Identificar las variables de calidad de suelo más sensibles a los sistemas de labranza empleados (labranza convencional y siembra directa).

◆◆ Evaluar los efectos de dos sistemas de labranza en un Argiacuol vértico, sobre una rotación de cultivos de ocho años, a partir de distintas propiedades del suelo:

a) físicas: densidad aparente; humedad gravimétrica; porosidad total; volumen de mesoporos y microporos o porosidad de agua; volumen de macroporos o porosidad de aire; resistencia a la penetración e infiltración básica o conductividad hidráulica a flujo saturado.

b) químicas: potencial de hidrógeno; conductividad eléctrica; contenido de carbono orgánico total; contenido de fósforo extractable total y contenido de nitrógeno total.

3. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

◆ Existen propiedades de calidad de suelo, que explican mejor el impacto producido por el sistema de labranza.

◆◆ Los distintos sistemas de labranza (labranza convencional y siembra directa) alteran la calidad, es decir las propiedades físicas y químicas de un suelo Argiacuol vértico, ubicado en Partido de Ezeiza, Buenos Aires.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Se desarrollaron los análisis para cada año y en los dos niveles de profundidad evaluados (de 0-10 cm y 10-20 cm).

4.1. PROPIEDADES DE CALIDAD DE SUELO ESTUDIADAS

Tanto las propiedades físicas como las químicas se determinaron sobre cada parcela en tres momentos: previo a la siembra del cultivo de maíz (6 de junio de 2013), luego de la cosecha del maíz o previo a la siembra del cultivo de trigo (3 de junio de 2014) y luego de la cosecha del trigo (10 de marzo de 2015).

4.1.a. Propiedades físicas de suelo

Se determinaron las siguientes variables de suelo a) físicas: Densidad aparente; Humedad Gravimétrica; Porosidad total; volumen de mesoporos y microporos o Porosidad de agua; volumen de macroporos o Porosidad de aire; resistencia a la penetración e infiltración básica o conductividad hidráulica a flujo saturado y b) químicas: potencial de Hidrógeno; Conductividad Eléctrica; Carbono orgánico total expresado en masa; el Nitrógeno total expresado en masa y Fósforo extractable total.

- La Densidad aparente (Dap) se refiere a la relación entre el peso seco de una muestra de suelo y el volumen que ocupa dicha muestra a campo, con su ordenamiento natural. Ésta varía en función de la textura, el estado de agregación, el contenido de Materia Orgánica (MO) y el manejo. La misma se determinó por el método del cilindro (Blake & Hartge, 1986), tomando muestras de suelo sin disturbar. Consiste en introducir un cilindro metálico (de volumen conocido) en el suelo a la profundidad deseada y retirarlo con cuidado para no alterar la estructura. Las profundidades consideradas fueron 0-10 cm y 10-20 cm. El cilindro enterrado se sacó con pala y se enrasó en el extremo para obtener el volumen de suelo justo. La muestra extraída fue secada a 105 °C durante 72 hs aproximadamente, hasta peso constante. Los valores de Dap se obtuvieron de la relación entre el peso del suelo seco (g) y el volumen del cilindro (cm³). La Dap se expresó como g cm⁻³.

- La Humedad Gravimétrica (HG) es la relación entre la masa de la fracción líquida y la masa de la fracción sólida. Es la masa de agua en una unidad de masa de suelo seco de volumen conocido. Se obtiene registrando el peso húmedo de la muestra de suelo, luego la muestra se seca a 105°C hasta peso constante y se pesa nuevamente (Gardner, 1986). Se estima con la siguiente fórmula:

$$HG = 100 \times \frac{\text{Peso del suelo húmedo} - \text{Peso del suelo seco}}{\text{Peso del suelo seco}}$$

- La Porosidad total (Ptot) representa el volumen del suelo que no está ocupado por sólidos, estos espacios o poros pueden contener agua o aire. Los poros de mayor diámetro o macroporos están caracterizados por permitir el libre movimiento de aire y agua. Por otro lado, los poros de menor diámetro, mesoporos y microporos, donde el movimiento del aire está casi enteramente impedido y el del agua muy restringido hasta incluso retardar el movimiento capilar (Buckman & Brady, 1970). A partir de los valores medidos de Dap y una Densidad real (Dr) de 2,56 g cm⁻³ considerada promedio de toda la fase sólida del suelo según Saxton & Rawls (2006), se calculó la Ptot como:

$$P_{tot} (\%) = 100 \times \frac{(2,56 - D_{ap})}{D_{ap}}$$

- La Porosidad de agua (Pagua) representa el espacio poroso de la matriz del suelo que está ocupado por agua cuando se encuentra en capacidad de campo (Duchaufour, 1987). La misma, se calculó afectando el valor de Humedad Equivalente por la Dap de cada unidad experimental. La humedad equivalente es el grado de humedad alcanzado por una muestra de 1000 g de suelo sometida a una fuerza de acción centrífuga y se estimó, para la textura de estos suelos, según Saxton & Rawls (2006).

- La Porosidad de aire (Paire) representa el espacio poroso de la matriz del suelo que está ocupado por aire cuando se encuentra en capacidad de campo y resulta de la diferencia entre la Ptot y la Pagua. Este parámetro se calculó según la siguiente fórmula:

$$P_{aire} (\%) = P_{tot} - P_{agua}$$

- La Resistencia a la penetración (Imp) expresa cómo las fuerzas desarrolladas en el interior del suelo se oponen a una deformación del mismo ante el esfuerzo que ejercen las plantas (tallos, raíces, etc.) en su desarrollo y crecimiento. Si el diámetro de poros es pequeño y la resistencia mecánica alta, el vegetal no siempre estará en condiciones de

vencerlas, por lo que se afectará el desarrollo radical y las raíces crecerán a través de planos de debilidad o de fracturas sin explorar los agregados.

La Imp se midió con un penetrómetro de golpe o de impacto (Figura 8). El mismo está construido con acero y presenta una punta cónica, con un ángulo de 45 °. El procedimiento consiste en introducir en el suelo el vástago con punta cónica por sucesivos impactos de la pesa que se eleva hasta un tope superior y luego se deja caer libremente impactando en un tope inferior. El impacto es producido por una pesa de 1 kg que cae libremente desde 1 m de altura. En la parte inferior hay una escala graduada cada 5 cm. Las puntas fueron hechas de acero reforzado para máxima dureza. El peso promedio del equipo no excede los 3,5 kg y tiene una altura de aproximadamente 2 m para facilitar las labores del operador. Las lecturas pueden ser expresadas en unidades físicas, o simplemente en número de golpes necesarios para que la punta penetre hasta una determinada profundidad dada. La Imp se obtuvo a partir de la ecuación que relaciona el trabajo de la masa que cae con la penetración de la punta en el suelo. Se contó y registró en una planilla el número de golpes necesarios para introducir el vástago de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm de profundidad. Luego se transforman los datos de golpes a valores de presión (Mpa) para expresar la Imp en dicha unidad. Al realizar las mediciones de Imp el terreno debe presentar una apariencia uniforme en cuanto a drenaje y humedad del suelo. A partir del número de golpes se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Imp (kg cm}^{-2}\text{)} = \frac{M^2 \times h \times n}{2 \times (M+m) \times S \times z}$$

Donde:

Imp: Resistencia a la penetración.

M: Peso de la pesa (kg).

m: Peso del penetrómetro (incluyendo al cono) (kg).

h: Altura desde donde se deja caer la pesa (cm).

S: Sección del cono (cm²).

n: número de veces que se deja caer la pesa.

z: profundidad de penetración (cm).

Al reemplazar los datos propios del penetrómetro la fórmula finalmente se reduce a:

$$\text{Imp (kg/cm}^2\text{)} = \frac{8,255 \times \text{n}^\circ \text{ de golpes}}{\text{espesor}}$$

Los valores de Imp se expresaron como Mpa.

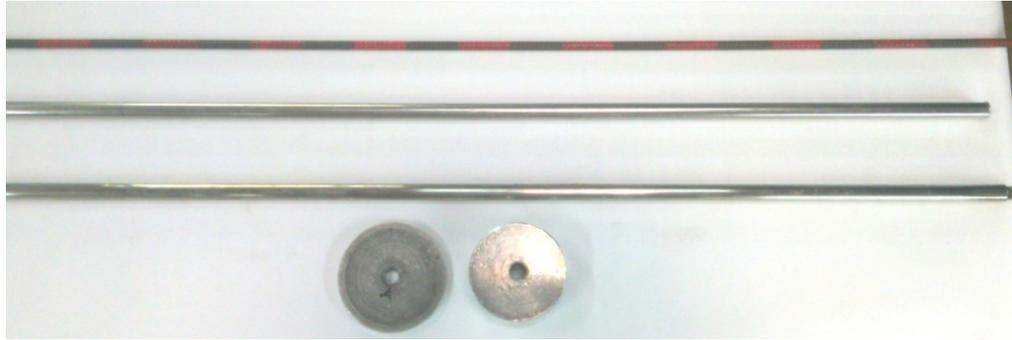


Figura 8. Penetrómetro de impacto.

- La Conductividad hidráulica (K_h) es una medida de la habilidad de un suelo de conducir agua bajo un gradiente de potencial hidráulico, y describe la conductividad hidráulica de un medio poroso. El uso de la K_h como parámetro de medición en sí mismo o complementariamente con la D_{ap} facilita el análisis e interpretación para un mejor diagnóstico del estado funcional del suelo. La determinación de esta variable se realizó con un infiltrómetro o permeámetro de disco (Figura 9). Este equipo está construido en metacrilato y dispone de una base o disco circular cubierto en su parte inferior por una malla permeable de nylon y, un depósito o recipiente de alimentación del agua con una escala graduada que permite leer la cantidad de agua infiltrada en función del tiempo. Se ubicaron los infiltrómetros a las distintas profundidades, eliminando el material vegetal superficial sin remover el suelo y colocando arena para nivelar la superficie y mejorar el contacto del suelo con la base permeable. Se fueron realizando mediciones parciales de lámina infiltrada durante 60 minutos hasta velocidad constante, y se expresó en cm hs^{-1} .



Figura 9. Infiltrómetro o permeámetro de disco.

4.1.b. Propiedades químicas de suelo

Se realizaron las siguientes determinaciones por triplicado: pH y CE por potenciometría en dilución 1:2,5; Cmasa por vía húmeda (micrométodo) siguiendo el procedimiento propuesto por Walkley y Black (Jackson, 1976); el Pext por el método Bray y Kurtz,

según la técnica descrita por la Norma IRAM-SAGyP 29570-1 (2010) y el Nmasa por Kjeldhal según metodología descrita por SAMLA (2004).

- El potencial de Hidrógeno (pH) del suelo es una medida que refleja, en forma aproximada, la actividad de los iones hidrógenos (H^+) de la solución del suelo, los que tienen un efecto marcado sobre la fertilidad química del mismo, modificando la disponibilidad de nutrientes. Es, por lo tanto, considerada como parte de las propiedades químicas del suelo. Su condición (ácido, neutro o básico) depende de la solubilidad de sus componentes, del contenido de MO, de los minerales que lo constituyen, de las condiciones climáticas, ambientales, de manejo del suelo, entre otras. 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. Ambos electrodos están conectados por medio de un circuito potenciométrico que mide la diferencia de potencial en general en una escala de milivoltios. Se utilizó un pH-metro (Microprocessor pH Meter) marca HANNA modelo pH 211, con ajuste y control de temperatura (Figura 10a). Se pesaron 12 g de cada muestra de suelo seco y tamizado por 2 mm (2000 μ) en un recipiente de 50 mL. Luego se añadieron 30 mL del agua destilada para realizar la suspensión, agitando durante 30 s. 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 colocaron los electrodos dentro de la suspensión suelo-agua destilada agitando continuamente durante la lectura. Se lavaron los electrodos con agua destilada entre determinaciones, realizando el procedimiento por triplicado de cada muestra.

- Determinar la salinidad en laboratorio es una metodología simple, pues muchas sales son solubles en agua y solubilizadas por este medio es como afectan las propiedades del suelo y el desarrollo de las plantas. La Conductividad Eléctrica (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 15 min la CE con un conductímetro ORION modelo 20 a 20 °C (Figura 10b). La misma se expresó en mS cm⁻¹.



Figura 10a. pHmetro.



Figura 10b. Conductímetro.

- Carbono orgánico total expresado en masa (C_{masa}) se determinó por vía húmeda (micrométodo). El mismo se determinó a partir del carbono orgánico total (COT) del suelo. El método se basa en el procedimiento propuesto por Walkley y Black (Jackson, 1976), en el que el C es oxidado con una solución de dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇) y ácido sulfúrico concentrado al 98 % (H₂SO₄). La oxidación del CO del suelo por acción del dicromato actuando en medio ácido se representa en la siguiente ecuación redox, considerando al C de MO en estado de oxidación “cero”:



El exceso de dicromato se tituló con un agente reductor: sulfato ferroso.



Este método no oxida completamente a la MO sino a la fracción más lábil. Walkley y Black propusieron un factor de corrección de 1,3, basado en una oxidación promedio del 77 %, aceptado universalmente. Si bien tiene un rango de variabilidad entre los distintos suelos (entre 60 % al 86 %), es ampliamente utilizado por sus ventajas de sencillez, rapidez y economía. El procedimiento fue el siguiente: se pesó y registró exactamente entre 100-120 mg de suelo seco y tamizado por 0,5 mm (500 μ) en tubo de ensayo. Se agregó con micro pipeta 1,5 mL de K₂Cr₂O₇ 1N (49,04 g de K₂Cr₂O₇ disueltos en agua destilada y se llevó a 1000 mL en matraz aforado con agua destilada). Luego se agregaron 3 mL de H₂SO₄ concentrado y se mezcló suavemente con movimiento de rotación. Se dejó en reposo durante 20 min a temperatura ambiente (18-22 °C) 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. Antes de titular se agregaron 3 gotas de indicador Ferroína previamente homogeneizado, se mantiene la agitación con un agitador de pecera hasta viraje del color (punto final rojo). La titulación se realizó con sulfato ferroso o Sal de Mohr 0,3N (se disolvieron 58,83 g de sal de Mohr en 100 mL de agua destilada y 10 mL H₂SO₄ y se llevó a 500 mL con agua destilada, conservando en frasco de vidrio color caramelo para evitar su descomposición). Esta solución se puede reemplazar por sulfato ferroso (FeSO₄·7H₂O) 0,3 M (se disuelven 41,7 g de sulfato ferroso en 100 mL de agua destilada y 10 mL H₂SO₄ y se lleva a 500 mL con agua destilada, conservando en frasco de vidrio color caramelo para evitar su descomposición). Durante la titulación se mantuvo agitación constante mediante las burbujas producidas por el aireador, realizando simultáneamente ensayos en blanco. Para el cálculo de COT en % se utilizó la siguiente fórmula:

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

Siendo:

B: volumen (mL) de sal consumido por el Blanco.

M: volumen (mL) de sal consumido por la Muestra.

P_M: Peso de la Muestra (mg).

0,3: Normalidad de la sal (realizar valoración de la Normalidad en caso de ser necesario).

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%).

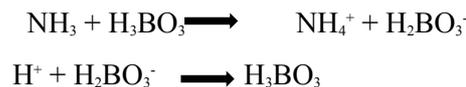
El contenido de carbono se expresó en unidades de masa (kg ha⁻¹). El mismo se obtuvo teniendo en cuenta una profundidad de 10 cm y el valor de la Dap correspondiente a cada unidad experimental.

- El Nitrógeno Total expresado en masa (N_{masa}) se determinó por Kjeldahl según metodología descrita por SAMLA (2004), siguiendo el SemiMicroMétodo Kjeldahl. El N de cada muestra es convertido a amonio (NH₄⁺) por digestión con H₂SO₄ concentrado conteniendo sustancias que facilitan esta conversión; el NH₄⁺ se determina a partir de la cantidad de NH₃ liberado por destilación del digesto con álcali. Este NH₃ es recogido en ácido bórico (H₃BO₃) y titulado con H₂SO₄ valorado. El punto final de la titulación se establece por el viraje del color de 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). Este procedimiento se desarrolló en tres etapas:

1^{era} Etapa: Digestión húmeda de la muestra para convertir las distintas formas de N a NH₄⁺. En el balón de digestión se pesaron 0,25 g de la muestra de suelo seca y tamizada por 500 μ. Se agregó una cucharadita (1 g) de mezcla catalítica de sales a cada balón, 2 mL de agua destilada y 3 mL de H₂SO₄ concentrado y se agitó manualmente. Se llevó a digester hasta que el digesto adquirió color verde pálido.

2^{da} Etapa: Destilación: determinación de NH₄⁺ en el digesto. Se trasvasó el digesto aún tibio 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 recibe en un erlenmeyer de 50 mL conteniendo 5 mL de la mezcla ácido bórico-indicador. A los 3 min de destilar aproximadamente se obtuvieron unos 20 mL de solución, al tiempo que se observa que la solución pasa de color rojo vinoso a verde brillante. Las reacciones químicas son las siguientes:



3^{era} Etapa: Titulación: Por último se tituló el NH₃ destilado con 0,005N de H₂SO₄ hasta obtener color gris rosado. Paralelamente se desarrolló y tituló un blanco. El contenido de Nt se expresó como masa. Para los cálculos del % 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 H₂SO₄ empleados en la titulación de la muestra.

Vb: Volumen (mL) de solución 0,005 N de H₂SO₄ 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.

El N se expresó como masa en kg ha^{-1} . El mismo se obtuvo afectando el N_{tot} en porcentaje por la profundidad y la Dap correspondiente a cada unidad experimental.

- El Fósforo extractable total (Pext) es la fracción del P del suelo que está disponible para la planta. En Molisoles de la región Pampeana se recomienda utilizar el método de extracción propuesto por Bray & Kurtz (García *et al.*, 2007), según técnica descrita por la Norma IRAM-SAGyP 29570-1 (2010). Primeramente se realizó la extracción del Pext presente en la muestra de suelo con una solución de fluoruro de amonio y ácido clorhídrico que remueven del suelo las formas de P fácilmente solubles en ácidos. Se trabajó en ambientes ventilados y a una temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, empleando los equipos y el material de vidrio limpio, seco y libre de P. Se pesaron $1\text{ g} \pm 0,1\text{ g}$ de cada muestra representativa de suelo seco tamizada por $2000\ \mu$ por triplicado, en un tubo de plástico para centrífuga con tapa. Luego se agregaron $7,0\text{ mL} \pm 0,5\text{ mL}$ de solución extractante en una relación suelo: solución extractora de 1:7 (m/v) con un pH sea $2,6 \pm 0,1$. Se taparon los tubos, agitando manualmente para que no queden depósitos sólidos en el fondo, inmediatamente se colocaron en el agitador vaivén ubicados en posición horizontal y en el sentido del vaivén del agitador durante 5 min a $180\text{ golpes min}^{-1}$. Se retiraron los tubos del agitador y se centrifugaron durante 10 min y se tomó una alícuota de $1,00\text{ mL} \pm 0,02\text{ mL}$ del extracto y se colocó en un tubo de ensayo, adicionando $9,0\text{ mL} \pm 0,2\text{ mL}$ de reactivo color a cada tubo, tapando y homogeneizando la mezcla. Se dejó desarrollar el color esperando 30 min antes de leer en el Espectrofotómetro Shimadtsu (Figura 11) a una longitud de onda de 882 nm.

Simultáneamente se preparó la Curva de Calibración o curva analítica a partir de soluciones de P de concentración conocidas. A partir de una solución patrón de P de 100 ppm se realizaron las diluciones necesarias con solución extractante para obtener 5 soluciones dentro de un intervalo de concentraciones de P de 0 a 7 ppm (0 ppm; 0,5 ppm; 1 ppm; 2 ppm; 3 ppm; 5 ppm y 7 ppm) en función del contenido de P esperado por la intensidad del color azul. A cada una de ellas se le agregó $9,0\text{ mL} \pm 0,2\text{ mL}$ de reactivo color. Se homogeneizó y se esperó 30 min para el desarrollo del color. La

preparación del reactivo color se realiza en dos etapas: Solución A: se prepara una mezcla sulfomolibdica-tartrato, agregando a una solución diluida de ácido sulfúrico una solución acuosa de molibdato de amonio y otra solución acuosa de tartrato de antimonio y potasio. La Solución B: solución acuosa de ácido ascórbico se preparó el mismo día. Para preparar el reactivo color se mezclan cantidades establecidas de las soluciones A y B. Este reactivo color debe ser usado en el día por la oxidación del ácido ascórbico. Cuando es utilizado en muestras que contienen P, forman un complejo fosfomolibdico de coloración azul, cuya intensidad es proporcional a la concentración de P.



Figura 11. Espectrofotómetro

El cálculo de la concentración de P en el extracto de la muestra se determinó analíticamente a partir de la curva de regresión. Los resultados de P_{ext} se expresaron en ppm, es decir en μg de P por gramo de suelo (equivalente a mg por kg y partes por millón). Se calculó la concentración de P en la muestra según la siguiente ecuación:

$$P \text{ (ppm)} = \frac{[P] \times V_m \times F}{m \times V_a} \qquad P \text{ (ppm)} = \frac{[P] \times 7\text{mL} \times F}{1\text{g} \times 1\text{mL}}$$

Siendo:

P: la concentración de fósforo en el suelo, en ppm.

[P]: concentración de fósforo en ppm leído (determinado gráficamente con la curva de calibración o con la ecuación de regresión).

V_m : volumen de solución extractora, en mL.

F: el factor de dilución, cuando corresponda.

M: la masa de suelo, en g.

V_a : el volumen de la alícuota del extracto, mL.

4.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS REALIZADOS

Las propiedades físicas y químicas más sensibles a cada sistema de labranza se determinaron descriptivamente por medio de un Análisis de Componentes Principales (ACP) utilizando paquete estadístico Infostat 2013 (Di Rienzo *et al.*, 2012). El ACP incluyó las siguientes propiedades del suelo:

- a) físicas: densidad aparente; humedad gravimétrica; porosidad total; volumen de mesoporos y microporos o porosidad de agua; volumen de macroporos o porosidad de aire; resistencia a la penetración e infiltración básica o conductividad hidráulica a flujo saturado.
- b) químicas: potencial de hidrógeno; conductividad eléctrica; contenido de carbono orgánico total; contenido de nitrógeno total y el contenido de fósforo extractable total.

Con el análisis de componentes principales se construyen ejes artificiales que permiten obtener gráficos de dispersión de observaciones y/o variables con propiedades óptimas para la interpretación de la variabilidad y covariabilidad. Es posible identificar asociaciones entre observaciones, entre variables y entre variables y observaciones. La primera componente contiene más información acerca de la variabilidad que la segunda, ésta a su vez más que la tercera y así sucesivamente hasta no explicar más variabilidad (Di Rienzo *et al.*, 2012).

Asimismo, se evaluaron las diferencias estadísticas entre tratamientos mediante un análisis de varianza utilizando paquete estadístico Infostat 2013 (Di Rienzo *et al.*, 2012). Las medias significativamente diferentes se separaron usando test de Tukey ($p < 0,05$).

5. RESULTADOS

En primer lugar se realizó el agrupamiento descriptivo de las propiedades de suelo a través de un ACP, brindando de esta forma una aproximación de la sensibilidad de cada una de ellas respecto del sistema de labranza. Luego se analizaron las diferencias entre tratamientos a través de un análisis de varianza. Los resultados obtenidos se muestran para el primer nivel profundidad de 0-10 cm y para el segundo nivel de 10-20 cm.

5.1. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

5.1.a. Primer nivel de profundidad 0-10 cm

El ACP permitió visualizar el efecto de los dos sistemas de labranza sobre las variables de suelo. En el primer nivel de profundidad (0-10 cm), para los tres años estudiados (2013, 2014 y 2015), las dos primeras componentes principales (CP1 + CP2) explicaron entre 67 % y 75 % de la variabilidad total. La primer componente (CP1) explicó alrededor de 50 % de la variabilidad del sistema en los tres años analizados, mientras que, el segundo componente (CP2) no explicó más de 20 % de la variabilidad del sistema para los tres años analizados (Tabla 2).

Tabla 2. Valores propios de los componentes principales y la variabilidad explicada por ellos para el primer nivel de profundidad 0-10cm para los tres años.

Lambda	2013			2014			2015		
	Valor	Prop	Prop Acum	Valor	Prop	Prop Acum	Valor	Prop	Prop Acum
1	5,98	0,54	0,54	6,38	0,53	0,53	5,28	0,44	0,44
2	2,26	0,21	0,75	2,23	0,19	0,72	2,74	0,23	0,67
3	1,52	0,14	0,89	1,41	0,12	0,84	1,67	0,14	0,81
4	0,88	0,08	0,97	1,24	0,10	0,94	1,02	0,08	0,89
5	0,28	0,03	0,99	0,58	0,05	0,99	0,89	0,07	0,97
6	0,07	0,01	1,00	0,13	0,01	1,00	0,35	0,03	1,00

Letras en negrita representan la variabilidad total acumulada CP1 + CP2.

Cada variable del suelo se representó en un biplot con un autovector definido por la correlación existente entre el parámetro analizado y el CP considerado. Donde el ángulo existente entre vectores representa el grado de correlación entre las variables medidas.

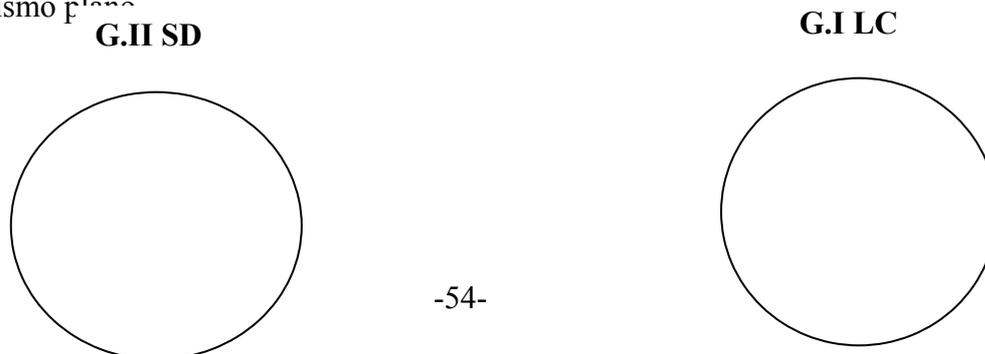
Las diferencias encontradas entre las variables representadas en un CP, se fundamenta en el valor más alto de variabilidad en este componente. El CP1 separó las variables en dos grupos vinculados con el sistema de labranza. Las variables que definieron al CP1 fueron: Dap, Pagua, Cmasa, HG, Ptot, Paire. Por otro lado, el CP2 no se asoció con los tratamientos sino con la variabilidad de las repeticiones. Las variables que definieron a este componente fueron CE, Kh y Nmasa (Tabla 3).

Tabla 3. Correlación de Pearson entre las variables originales y las dos primeras componentes principales, para el primer nivel de profundidad 0-10cm y los tres años.

Variables	2013		2014		2015	
	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2
Dap	-0,98	0,01	0,99	0,04	-0,97	0,23
HG	-0,72	-0,20	0,86	0,25	-0,11	-0,48
Ptot	0,98	0,000 8	-0,99	-0,03	0,97	-0,23
Pagua	-0,98	0,000 6	0,99	0,03	-0,97	0,23
Paire	0,98	0,001	-0,99	-0,03	0,97	-0,23
Imp	Sin dato		0,55	-0,33	-0,41	-0,21
Kh	0,32	0,74	-0,31	0,63	-0,11	0,82
pH	-0,61	-0,4	-0,11	0,74	-0,36	-0,38
CE	-0,41	0,77	-0,31	0,82	0,51	0,68
Cmasa	-0,69	0,21	0,95	0,14	-0,87	-0,28
Nmasa	-0,37	0,89	0,49	0,61	0,01	0,92
Pext	0,61	0,27	0,28	-0,22	0,25	0,25

Las variables que presentaron mayor peso se encuentran señaladas en la tabla con letra negrita, más de un 0,60 de correlación. El signo del autovectores diferencia el cuadrante. CP1: primer componente principal, CP2; segundo componente principal. SD: Siembra Directa; LC: Labranza Convencional; Dap: Densidad aparente (g cm^{-3}); HG: humedad gravimétrica (%); Ptot: Porosidad total (%); Paire: volumen de macroporos o Porosidad de aire (%); Pagua: volumen de mesoporos y microporos o Porosidad de agua (%); Infiltración básica o conductividad hidráulica a flujo saturado (cm h^{-1}); Imp: resistencia a la penetración (Mpa); pH: potencial de Hidrógeno; CE: Conductividad Eléctrica; Cmasa: Carbono orgánico total masa (Mg o tn ha^{-1}); Nmasa: Nitrógeno total masa (Mg o tn ha^{-1}) y Pext: Fósforo extractable (mg kg^{-1}).

La Figura 12 muestra la representación gráfica (biplot) de todas las variables medidas en un mismo plano



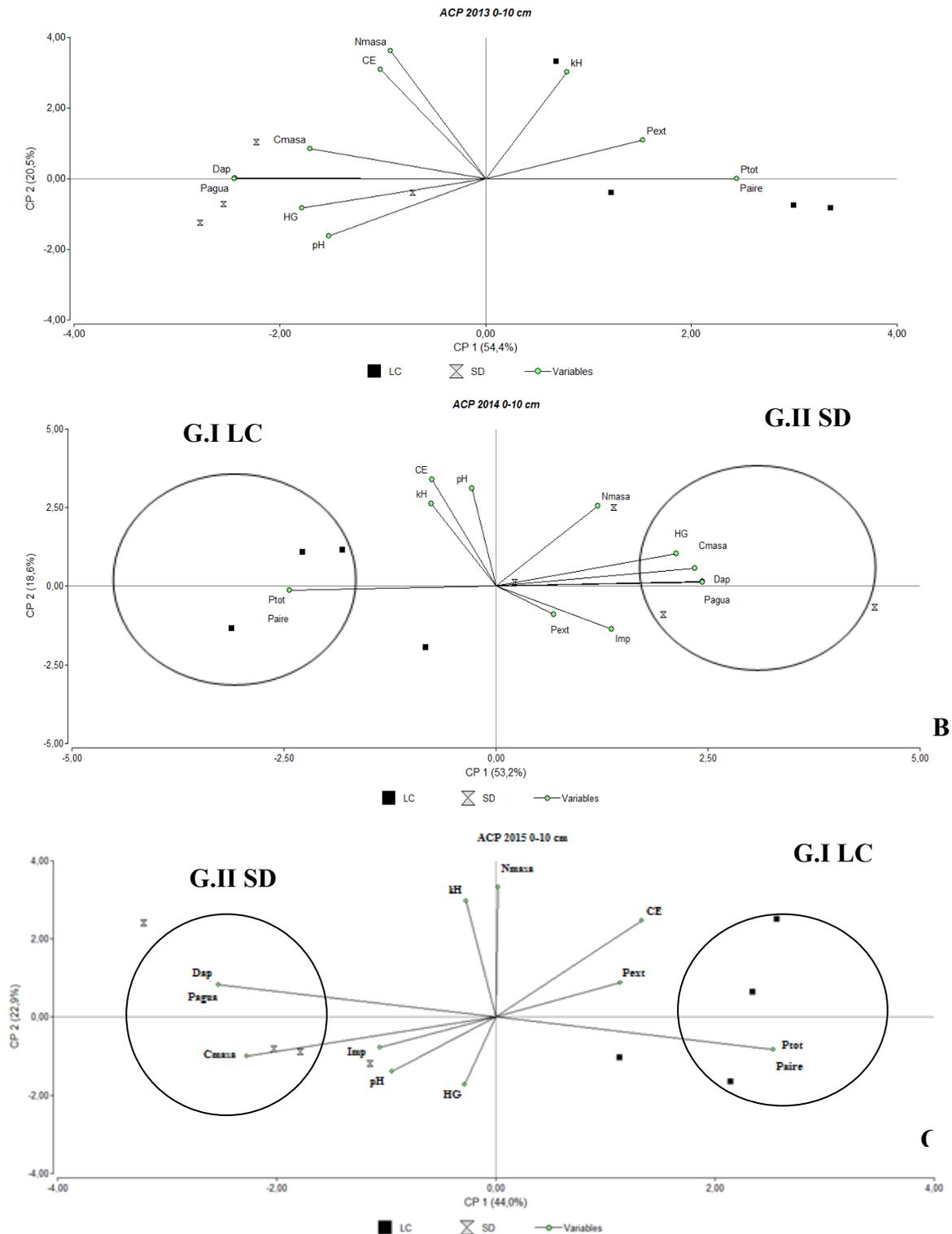


Figura 12. Resultados del análisis de componentes principales 0-10 cm. A: 2013, B: 2014 y C: 2015. Dentro del círculo se ubicaron variables correlacionadas positivamente entre sí. La longitud de vectores representa la magnitud de cada variable para cada componente y los ángulos entre variables indican la correlación entre ellos. SD: Siembra Directa; LC: Labranza Convencional; Dap: Densidad aparente (g cm^{-3}); Ptot: Porosidad total (%); HG: humedad gravimétrica (%); Paire: volumen de macroporos o Porosidad de aire (%); Pagua: volumen de mesoporos y microporos o Porosidad de agua (%); Imp: resistencia a la penetración (Mpa); Kh: Infiltración básica o conductividad hidráulica a flujo saturado (cm h^{-1}); pH: potencial de Hidrógeno; CE: Conductividad Eléctrica; Cmasa: Carbono orgánico total (Mg o tn ha^{-1}); Nmasa: Nitrógeno total (Mg o tn ha^{-1}) y Pext: Fósforo extractable (mg kg^{-1}).

En el plano bidimensional del ACP, se observó que para la profundidad de 0-10 cm el CP1 permitió separar las variables en dos grupos asociados con los tratamientos (SD y LC). En el extremo del eje CP1 donde se asoció la LC o G.I., siempre se ubicaron Ptot y Paire, las cuales estuvieron correlacionadas positivamente entre sí. Asimismo, en este extremo se ubicó la Kh, a pesar de no estar correlacionado positivamente con las otras dos variables. Por otro lado, en el extremo del eje CP1 donde se asoció la SD o G.II siempre se ubicaron Dap, Pagua y Cmasa, las cuales estuvieron correlacionadas positivamente entre sí. Asimismo, la HG estuvo asociada a este grupo en 2013-2014 y se ubicó de este lado para 2015. Por otro lado, la Imp y Nmasa se ubicaron de este extremo, para la mayoría de los años, sin estar correlacionadas con las demás variables. Hay que resaltar que las variables ubicadas en el G.I se correlacionaron negativamente con las variables ubicadas en el G.II (Anexos Figura 2, 3 y 4).

5.1.b. Segundo nivel de profundidad de 10-20 cm

En el segundo nivel de profundidad (10 -20 cm) para los tres años estudiados las dos primera componentes principales explicaron entre 65 % y 72 % de la variabilidad total. El CP1 explicó entre 40 y 50 % de la variabilidad del sistema y el CP2 entre 15 y el 30 % (Tabla 4).

Tabla 4. Valores propios de los componentes principales y la variabilidad explicada por ellos para el segundo nivel de profundidad 10-20 cm para los tres años.

Lambd a	2013			2014			2015		
	Valor	Prop	Prop Acum	Valor	Prop	Prop Acum	Valor	Prop	Prop Acum
1	4,37	0,4	0,40	6,76	0,56	0,56	4,59	0,38	0,38
2	3,57	0,32	0,72	1,83	0,15	0,72	3,17	0,26	0,65
3	1,98	0,18	0,90	1,34	0,11	0,83	1,62	0,13	0,78
4	0,52	0,05	0,95	0,96	0,08	0,91	1,37	0,11	0,90
5	0,4	0,04	0,99	0,61	0,05	0,96	0,91	0,08	0,97
6	0,16	0,01	1,00	0,46	0,04	1,00	0,32	0,03	1,00

Letras en negrita representan la variabilidad total acumulada CP1 + CP2.

Debido a la gran variabilidad de los datos entre años, el CP1 no logró separar las variables en grupos de forma tan clara como se mostró en el primer nivel de profundidad (Tabla 5). Sólo Dap, Ptot, Pagua y Paire mostraron un mayor peso sobre el

CP1 en la mayoría de los años estudiados, el resto de las variables presentaron respuestas muy diferentes. Kh y Pext son las variables que presentaron mayor peso en el CP2 en la mayoría de los años estudiados.

Tabla 5. Correlación de Pearson entre las variables originales y las dos primeras cada componentes principales, para el segundo nivel de profundidad 10-20 cm y los tres años.

Variables	2013		2014		2015	
	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2
Dap	<u>-0,93</u>	-0,31	<u>0,96</u>	-0,06	<u>-0,93</u>	0,05
HG	0,59	-0,16	-0,34	0,53	-0,08	<u>0,90</u>
Ptot	<u>0,94</u>	0,18	<u>-0,97</u>	0,06	<u>0,95</u>	0,21
Pagua	<u>-0,94</u>	-0,18	<u>0,97</u>	-0,06	-0,30	0,56
Paire	<u>0,94</u>	0,18	<u>-0,97</u>	0,06	<u>0,98</u>	0,06
Imp	Sin dato		<u>0,79</u>	-0,49	-0,30	<u>-0,69</u>
Kh	0,06	<u>0,92</u>	<u>-0,84</u>	0,29	-0,10	<u>-0,90</u>
CE	0,20	<u>-0,79</u>	0,60	-0,37	0,34	0,59
pH	-0,17	<u>0,69</u>	0,48	-0,21	<u>-0,91</u>	0,11
Cmasa	0,42	<u>-0,78</u>	0,75	0,50	0,60	-0,04
Nmasa	-0,47	0,04	0,47	0,23	0,15	-0,20
Pext	0,17	<u>0,90</u>	-0,46	<u>0,84</u>	-0,59	0,55

Las variables que presentaron mayor peso se encuentran señaladas en la tabla con letra negrita, más de un 0,60 de correlación. Las variables subrayadas presentaron comportamientos similares en la mayoría de los años. El signo del autovectores diferencia el cuadrante. CP1: primer componente principal, CP2; segundo componente principal. SD: Siembra Directa; LC: Labranza Convencional; Dap: Densidad aparente (g cm^{-3}); HG: humedad gravimétrica (%); Ptot: Porosidad total (%); Paire: volumen de macroporos o Porosidad de aire (%); Pagua: volumen de mesoporos y microporos o Porosidad de agua (%); Infiltración básica o conductividad hidráulica a flujo saturado (cm h^{-1}); Imp: resistencia a la penetración (Mpa); pH: potencial de Hidrógeno; CE: Conductividad Eléctrica; Cmasa: Carbono orgánico total (Mg o tn ha^{-1}); Nmasa: Nitrógeno total (Mg o tn ha^{-1}); Pext: Fósforo extractable (mg kg^{-1}).

La representación gráfica (biplot) de todas las variables medidas en un mismo plano para la profundidad de 10-20 cm mostró resultados diversos entre años dada la variabilidad de los datos (Anexo Figura 6, 8 y 10).

5.2. ANÁLISIS DE VARIANZA

5.2.a. Variables físicas del suelo

Las propiedades físicas del suelo para la profundidad de 0-10 cm mostraron respuestas diferentes de acuerdo a la variable estudiada. Al estudiar la Dap y Pagua se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos obteniéndose mayores valores bajo SD respecto de LC para los tres años evaluados. Por otro lado, al analizar Ptot y Paire se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos presentando mayores valores bajo LC respecto de SD. Por último, la HG tuvo respuestas diferentes según el año, presentando sólo para el año 2014 diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos a favor de SD respecto de LC. No se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos en Kh ni Imp para ninguno de los años estudiados. Sin embargo, en Imp, se observó una tendencia con valores superiores bajo SD respecto de LC. Lo mismo ocurrió con Kh con valores superiores bajo LC respecto de SD (Tabla 6).

Tabla 6. Propiedades físicas según el año para el primer nivel de profundidad de 0-10 cm.

Año	Trat	Dap g cm ⁻³	HG %	Ptot %	Pagua %	Paire %	Imp Mpa	Kh cm h ⁻¹
2013	LC	1,19 b	24,27 a	53,4 a	38,8 b	14,6 a	SIN	1,22 a
	SD	1,25 a	26,98 a	51,1 b	40,7 a	10,5 b	DATO	0,88 a
2014	LC	1,11 b	29,33 b	56,5 a	36,1 b	20,5 a	0,46 a	0,71 a
	SD	1,21 a	32,47 a	52,6 b	39,4 a	13,2 b	0,63 a	0,50 a
2015	LC	1,20 b	16,68 a	53,1 a	39,0 b	14,1 a	1,15 a	3,34 a
	SD	1,25 a	16,74 a	51,4 b	40,5 a	10,9 b	1,88 a	3,37 a

SD: Siembra Directa; LC: Labranza Convencional; Dap: Densidad aparente; HG: Humedad Gravimétrica; Ptot: Porosidad total; Paire: volumen de macroporos o Porosidad de aire; Pagua: volumen de mesoporos y microporos o porosidad de agua; Imp: resistencia a la penetración; Kh: infiltración básica o conductividad hidráulica. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos según Tukey ($p < 0,05$) para cada año.

Al analizar las propiedades físicas del suelo para el segundo nivel de profundidad 10-20 cm se encontraron respuestas diferentes de acuerdo a la variable estudiada, esto se debe a la gran variabilidad en los valores de los datos entre los años, lo que coincide con lo observado en el ACP. La Kh mostró diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos con respuestas diversas dependiendo del año estudiado. Se puede destacar que si bien no hubo diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre

tratamientos en la Ptot y la Paire, las mismas mostraron una tendencia con valores mayores bajo LC respecto de SD e Imp con valores superiores bajo SD respecto a LC, resultados similares a los encontrados de 0-10 cm (Tabla 7).

Tabla 7. Propiedades físicas según el año para el segundo nivel de profundidad de 10-20 cm.

Año	Trat	Dap G cm ⁻³	HG	Ptot %	Pagua %	Paire %	Imp Mpa	Kh cm h ⁻¹
2013	LC	1,24 a	26,24 a	51,5 a	40,4 a	11,2 a	SIN	0,82 b
	SD	1,24 a	29,41 a	50,5 a	40,3 a	11,2 a	DATO	2,05 a
2014	LC	1,19 a	29,26 a	53,7 a	38,6 a	15,1 a	0,92 a	1,54 a
	SD	1,24 a	29,63 a	51,7 a	40,2 a	11,4 a	1,05 a	0,60 b
2015	LC	1,32 a	22,51 a	48,4 a	42,4 a	6,0 a	1,16 a	1,54 b
	SD	1,32 a	15,41 b	47,9 a	42,3 a	5,7 a	2,46 a	2,26 a

SD: Siembra Directa; LC: Labranza Convencional; Dap: Densidad aparente; HG: Humedad Gravimétrica; Ptot: Porosidad total; Paire: volumen de macroporos o Porosidad de aire; Pagua: volumen de mesoporos y microporos o porosidad de agua; Imp: resistencia a la penetración; Kh: infiltración básica o conductividad hidráulica. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos según Tukey (p<0,05) para cada año.

5.2.b. Variables químicas del suelo

Al analizar las variables químicas del suelo para la profundidad de 0-10 cm sólo se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas (p<0,05) entre tratamientos para Cmasa sin diferencias para CE, pH, Nmasa ni Pext. Los valores de Cmasa siempre resultaron superiores bajo SD respecto a la LC (Tabla 8).

Tabla 8. Propiedades químicas según el año para el primer nivel de profundidad de 0-10 cm.

Año	Tratamiento	CE dS m ⁻¹	pH	Cmasa Mg ha ⁻¹	Nmasa Mg ha ⁻¹	Pext mg kg ⁻¹
2013	LC	0,10 a	6,1 a	22,8 b	2,6 a	14,7 a
	SD	0,11 a	6,2 a	26,0 a	2,7 a	10,8 a
2014	LC	0,12 a	5,8 a	18,8 b	2,2 a	11,0 a
	SD	0,12 a	5,9 a	23,5 a	2,7 a	12,0 a
2015	LC	0,09 a	5,9 a	20,4 b	2,6 a	10,3 a
	SD	0,07 a	6,1 a	24,1 a	2,6 a	8,9 a

SD: Siembra Directa; LC: Labranza Convencional. pH: potencial de Hidrógeno; CE: Conductividad Eléctrica; Cmasa: Carbono orgánico total; Nmasa: Nitrógeno total; Pext: Fósforo extractable. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según Tukey (p<0,05).

Por otro lado, al analizar las variables químicas del suelo para la profundidad de 10-20 cm se observaron respuestas diferentes de acuerdo a la variable estudiada. Sólo se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas (p<0,05) entre tratamientos para

Cmasa en el año 2014 a favor de la SD respecto de LC y el Pext en 2013 a favor de LC respecto de SD. Independientemente del sistema de labranza el Pext disminuyó con la profundidad (Tabla 9).

Tabla 9. Propiedades químicas según el año para el segundo nivel de profundidad de 10-20 cm.

Año	Tratamiento	CE dS m ⁻¹	pH	Cmasa Mg ha ⁻¹	Nmasa Mg ha ⁻¹	Pext mg kg ⁻¹
2013	LC	0,08 a	6,2 a	18,4 a	2,2 a	8,8 a
	SD	0,06 a	6,3 a	16,1 a	2,1 a	7,5 b
2014	LC	0,09 a	5,7 a	18,8 b	2,0 a	4,1 a
	SD	0,09 a	5,8 a	22,9 a	2,3 a	4,1 a
2015	LC	0,06 a	6,0 a	18,0 a	1,9 a	2,8 a
	SD	0,06 a	6,0 a	17,8 a	2,0 a	2,5 a

SD: Siembra Directa; LC: Labranza Convencional. pH: potencial de Hidrógeno; CE: Conductividad Eléctrica; Cmasa: Carbono orgánico total; Nmasa: Nitrógeno total y Pext: Fósforo extractable. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos según Tukey ($p < 0,05$).

6. DISCUSIÓN

6.1. PRIMER NIVEL DE PROFUNDIDAD (0-10 cm)

El laboreo del suelo produce, en los primeros centímetros del mismo, cambios en las variables físicas y químicas. Con el ACP se visualizó el efecto que tiene el sistema de labranza sobre las propiedades de suelo, y la sensibilidad que tiene cada una. Esto se observó gracias a que el CP1 separó las variables en dos grupos según el sistema de labranza. En el G.I, asociado a la LC, se ubicó la Ptot y Paire, incluyendo la Kh, a pesar de no estar correlacionada con las otras variables. Por otro lado, en el G.II asociado a la SD se ubicó Dap, Pagua, Cmasa y HG, incluyendo Imp y Nmasa sin estar correlacionadas con las otras variables. A continuación se desarrollará la discusión agrupando las variables según estos resultados y agregando los resultados arrojados por el análisis de varianza.

6.1.a. G.I: Porosidad total, Porosidad de aire y Conductividad hidráulica

- Porosidad total (Ptot) y Porosidad de aire (Paire)

Se observó, que en el extremo del CP1 asociado a la LC se encontraron los mayores valores de la Ptot y la Paire, las cuales estuvieron correlacionadas positivamente entre sí. Asimismo, al realizar el análisis de varianza para estas variables, se encontró el mismo comportamiento a favor de LC respecto de SD para los tres años evaluados.

En este sentido, varias investigaciones estudiando el efecto de distintos sistemas de labranza sobre parámetros físicos de los suelos, han detectado disminuciones de la Ptot bajo SD respecto a sistemas de manejo alternativos (Ferrerías *et al.*, 2000; Elissondo *et al.*, 2001; Díaz-Zorita *et al.*, 2002; Fabrizzi *et al.*, 2005; Costantini *et al.*, 2006; Sasal *et al.*, 2006; Yoo & Wander, 2006; Botta *et al.*, 2010; Parra *et al.*, 2011; Barrios, 2011), coincidiendo con los resultados encontrados en este trabajo. Esto podría deberse a que bajo SD no siempre se encuentran una mayor macroporosidad o infiltración de agua, debido a que se genera mayor compactación del suelo bajo este sistema (Morrás *et al.*, 2004; Bonel *et al.*, 2005, Sasal *et al.*, 2006; Álvarez *et al.*, 2009; Soracco *et al.*, 2010).

La porosidad es fácilmente y frecuentemente alterada por la labranza, el tránsito o el pastoreo, lo que puede conducir a un incremento de la compactación que produce un aumento de la Dap, destruye y debilita su estructura, reduciendo la Ptot. El sistema poroso del suelo impacta directamente sobre las entradas y salidas de agua, en la entrada y difusión de los gases y calor, y en el desarrollo y crecimiento de las raíces. Cuando los suelos se trabajan bajo SD es esperable una pérdida de macroporos debido la compactación inducida por el tránsito de la maquinaria y la ausencia de remoción por la labranza (Kay & VandenBygaart, 2002; Botta et al., 2004). Además, tiende a formarse estructuras de tipo laminar y masiva (Strudley *et al.*, 2008; Álvarez *et al.*, 2009; Álvarez *et al.*, 2012).

- Conductividad hidráulica (Kh)

Otra variable física de suelo que se ubicó en el extremo de la LC fue la Kh. La misma mostró en el análisis de varianza una tendencia a presentar valores mayores bajo LC respecto de SD, sin diferencias estadísticas significativas. Con relación a estos resultados, el efecto que tiene el sistema de labranza sobre esta variable es ampliamente discutido.

Diversos trabajos, han coincidido en reportar incrementos de Kh bajo LC (Ferrerías *et al.*, 2000; Martínez *et al.*, 2008; Agostini *et al.*, 2010). Esto se debe a que la velocidad de infiltración y la Kh están directamente relacionados con la estabilidad estructural del suelo, la Dap y el diámetro, la continuidad y conectividad de los poros (Tisdall & Adem, 1986). En este sentido el aumento de la Dap y la pérdida de porosidad, principalmente macroporos, bajo SD afectan la Kh reduciéndola. El movimiento del agua a fujo saturado (Kh) se produce a través de los macroporos, al obtener un porcentaje mayor de macroporos bajo LC es lógico obtener un mayor Kh bajo este sistema. Este parámetro es esencial para el movimiento del agua en el suelo, sobre la base de que el flujo y los procesos de transporte de agua dependen de las propiedades geométricas que tienen los poros (Moret & Arru'e, 2007; Soracco *et al.*, 2010; Rodríguez-González *et al.*, 2015). Algunos autores agregaron que las diferencias entre sistemas de labranza al estudiar el Kh se dieron en mayor magnitud en la capa superficial (Aparicio *et al.*, 2000; Ramírez-Pisco *et al.*, 2006).

Por otro lado, otros autores han reportado mayor velocidad de infiltración y Kh bajo sistemas conservacionistas (Buczko *et al.*, 2006, Strudley *et al.*, 2008; Huang *et al.*, 2015). De esta misma forma, en investigaciones realizadas en suelos franco limoso y arcilloso cultivados con maíz se encontraron valores más altos de Kh en labranza conservacionista que sobre LC (Camerira *et al.*, 2003). En el largo plazo la SD, al no perturbar el suelo, mantiene mayor porosidad y continuidad lo que incrementa la velocidad de infiltración y el Kh (Azooz & Arshad, 1996). Esto posiblemente se deba a mejores condiciones superficiales del suelo que reducen la velocidad de escurrimiento (Vidal, 1997), al incremento de la materia orgánica y al rápido colapsamiento de agregados bajo LC (Ramírez-Pisco *et al.*, 2006).

Así también, otros estudios sobre el comportamiento de Kh en el corto plazo, detectaron poca variación bajo diferentes sistemas de labranza (Karlen *et al.*, 1994a), debido a que está fuertemente influenciada por la estructura del suelo; la actividad de micro y macro organismos que forman galerías por donde fluye el agua (Buczko *et al.*, 2006); la porosidad (diámetro, continuidad, conectividad) y la Dap (Tisdall & Adem, 1986). Estas reflexiones coinciden con las encontradas en este trabajo.

6.1.b. G.II. Densidad aparente; Porosidad de agua, Humedad Gravimétrica; Resistencia a la penetración y Carbono masa

En el gráfico del ACP, el extremo del CP1 asociado a la SD presentó los valores mayores de Dap, Pagua, Cmasa y HG, las cuales estuvieron correlacionadas positivamente entre sí. Esta relación encontrada entre estas propiedades de suelo coincide con Barrios (2011) y Hossne-García & Cedeño-Campos (2012) quienes además encontraron correlación con la textura, la estructura y la conductividad térmica, variables no medidas en este trabajo. Variaciones en el contenido de materia orgánica son responsables de los cambios en la Dap (Gupta & Allmaras, 1987). Asimismo, los cambios dependen del tiempo y el manejo (Lipiec & Hakansson, 2000). Por otro lado, se debe tener en cuenta que este grupo de variables (Dap, Pagua, HG y Cmasa) se correlacionó negativamente con el otro grupo de variables detallado en el apartado anterior (Ptot y Paire) coincidiendo con Mulqueen *et al.* (1977) y O'Sullivan & Ball (1982). En este sentido, un incremento en Dap implica la disminución del volumen total de los poros (Cardona & Cristancho, 2008).

- *La Densidad aparente (Dap)*

Al realizar el análisis de varianza se encontró el mismo comportamiento, que lo detallado en el ACP, con valores superiores en SD respecto de LC. Coincidiendo con los resultados encontrados en este trabajo, numerosos autores han reportado un incremento de la Dap del suelo bajo SD respecto a sistemas de manejo alternativos (Ferrerías *et al.*, 2000; Elissondo *et al.*, 2001; Colombani *et al.* 2002; Díaz-Zorita *et al.*, 2002; Fabrizzi *et al.*, 2005; Costantini *et al.*, 2006; Sasal *et al.*, 2006; Yoo & Wander, 2006; Álvarez & Steinbach, 2009; Barrios, 2011; Barrios *et al.*, 2014a). En una amplia revisión de literatura acerca del impacto de los sistemas de labranza sobre la Dap del suelo, otros autores agregan que esto ocurre principalmente entre los primeros 10 cm de profundidad (Gutiérrez *et al.*, 2001; Lampurlanés & Cantero-Martínez, 2003; Barrios, 2011). Este incremento bajo SD se debe a la consolidación del suelo ante la ausencia de remoción (Wyngaard, 2010), sumado al efecto compactante derivado del pasaje de maquinarias (Botta *et al.*, 2010).

Este aumento en la Dap bajo SD podría ser uno de los factores que afectaron los rendimientos de los cultivos. Los resultados de Rm y Rt se detallarán en el capítulo correspondiente. Por otro lado, la textura de los suelos donde se desarrolló este trabajo van de franco-arcilloso en horizontes superficiales a arcilloso en los horizontes subsuperficiales, siendo este otro factor de gran impacto que puede favorecer el incremento de la Dap bajo SD (Barrios, 2011).

Sin embargo, el efecto positivo o negativo que tiene la SD sobre la Dap ha sido ampliamente discutido encontrándose en la bibliografía resultados muy dispares, pues en algunas investigaciones no se reportaron diferencias entre sistemas de labranza (Logsdon & Cambardella, 2000; Yang & Kay, 2001; Díaz-Zorita *et al.*, 2004a, Domínguez *et al.*, 2009; Agostini *et al.*, 2010), y en otras se encontró una disminución de Dap bajo SD debido a un incremento progresivo de la materia orgánica en la primera capa de suelo (Crovetto, 1998; Deagustini *et al.*, 2017). Cabe agregar que de 0-20 cm la porosidad en LC es mayor que en SD, pero menos estable dado que los poros en estos sistemas de labranza son generados antrópicamente (Iglesias *et al.*, 2014) en cambio en SD son bioporos.

En este ensayo se han registrado valores máximos de Dap de 1,25 g cm⁻³ para maíz y de 1,21 g cm⁻³ para trigo bajo SD. Estos valores de Dap estarían determinando un cierto grado de endurecimiento del suelo ubicándose próximos a 1,29 g cm⁻³, niveles de densidad críticos para el crecimiento vegetal en suelos Argiudoles típicos de Pergamino (Gupta & Allmaras, 1987).

- *La Porosidad de agua (Pagua)*

Los valores mayores de Dap y Pagua bajo SD coincide con varios autores (Gutiérrez *et al.*, 2001; Draghi *et al.*, 2005; Wyngaard, 2010; Barrios, 2011; Barrios *et al.*, 2014a). El contenido y disponibilidad de agua en el suelo es el factor que rige el desarrollo de los cultivos porque afecta la difusión de oxígeno, la temperatura y la resistencia mecánica del suelo (Martino, 2003). Además, el agua es importante en la producción de biomasa y en la habilidad de las plantas para tolerar suelos compactados (Hossne-García *et al.*, 2012). En este sentido, los cambios en el contenido de humedad han sido ampliamente analizado en sistemas de labranza conservacionistas, por la mayor acumulación de agua en el perfil que evita condiciones de estrés hídrico (Erenstein, 1996; Barrios *et al.*, 2006) lo que puede afectar el crecimiento de las plantas y sus rendimientos (Andrade & Sadras, 2000).

La no remoción del suelo contribuye a la conservación de la bioporosidad del mismo, los canales de lombrices y raíces resultan continuos, más estables y menos tortuosos que los macroporos creados por las labranzas, resultando más efectivos para el ingreso de agua en el perfil (Blasón *et al.*, 2014). Asimismo, los residuos superficiales actuarían como pequeños diques que demoran el escurrimiento de agua y prolongan el tiempo para su entrada en el suelo mejorando el almacenaje al disminuir las pérdidas superficiales (Reicosky, 2005).

- *La Humedad Gravimétrica (HG)*

Asociado al contenido de agua, si bien la HG se ubicó en el extremo de la SD en los tres años, sólo mostró diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos con mayores valores bajo SD respecto de LC para el año 2014 presentando sólo una tendencia a favor de SD para el resto de los años. Esta tendencia, sin diferencias

significativas entre sistemas de labranza coincide con lo reportado por Chang & Lindwall (1989); Dao (1993) y Chagas *et al.* (1994). Por otro lado, varios autores han encontrado valores superiores en sistemas conservacionistas respecto de LC (García-Préchac, 1997; Uribe *et al.*, 2002; Ingaramo & Dugo-Paton, 2003; Barrios, 2011; Stone & Schlegel, 2010; Barrios *et al.*, 2014a) coincidiendo con los resultados para el año 2014. En este sentido, la mayor acumulación de agua bajo SD se debe a la presencia de residuos en superficie que reducen las pérdidas por evaporación y aumentan la infiltración de agua dentro del perfil (Zhai *et al.*, 1990; Barrios, 2011).

- *La resistencia a la penetración (Imp)*

La Imp es otra propiedad física del suelo que evalúa el grado de compactación del mismo influyendo sobre el trabajo que las raíces deben realizar para penetrar los distintos horizontes y abastecerse de agua y nutrientes (Busscher & Lipec, 1993; Henríquez *et al.*, 2011). Si bien no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en Imp para los dos años analizados, en el gráfico del ACP la misma se ubicó en el extremo asociado a la SD y en el análisis de varianza presentó una tendencia con valores superiores bajo SD respecto de LC.

Coincidiendo con la tendencia encontrada en este trabajo, los valores más elevados de Imp en suelos manejados bajo SD fueron reportado por numerosos autores (Gutiérrez *et al.*, 2001; Colombani *et al.*, 2002; Draghi *et al.*, 2005; Álvarez & Steinbach, 2009; Wyngaard, 2010; Barrios, 2011; Álvarez, 2013; Barrios *et al.*, 2014a; Bouza *et al.*, 2018). Estos incrementos son atribuibles al tránsito de la maquinaria y/o la ausencia de remoción bajo SD (Álvarez *et al.*, 2006) y se ven reflejados con el aumento de la Dap y la disminución de la Ptot bajo SD respecto de LC ya señalados con anterioridad. En este sentido, la compactación implica un reordenamiento de las partículas del suelo asociado a una disminución en el espacio poroso (Soil Science Society of America, 2008) resultando en una estructura que impide el crecimiento de las raíces y limita la cantidad de suelo explorado (Rosolem *et al.*, 2002). Además, al reducir el volumen de los macroporos, se reduce la Kh y permeabilidad al aire y agua, alterando así la dinámica del agua y nutrientes (Gupta & Allmaras, 1987; Lal, 1994). Asimismo, esta compactación excesiva también tiene una influencia negativa sobre la emergencia de plántulas, la producción de biomasa y el R de los cultivo (Hamza & Anderson, 2005;

Sadras *et al.*, 2005). Sin embargo, algunos autores afirman que la SD altera el suelo en menor medida que la LC permitiendo conservar su estructura natural, lo que debería conducir a una menor compactación (Varsa *et al.*, 1997).

Numerosos trabajos han establecido rangos de Imp que serían responsables de causar restricciones para el normal desarrollo radicular. Los mismos son muy variables según el ambiente, el suelo y el cultivo y el contenido de humedad del suelo. Glinski & Lipiec (1990) ubica los valores en torno a 2-3 MPa; Bowen *et al.* (1994) citan valores entre 0,9 a 1,5 MPa; Threadgill (1982) lo fija entre 1,5 y 2,5 MPa en el caso de árboles frutales; y Panayiotopoulos *et al.* (1994) encontraron limitaciones en raíces con valores entre 0,65 a 1,0 Mpa en Alfisoles. En este trabajo los valores de Imp de 0-10 cm de profundidad variaron de 0,5 a 1,88 Mpa y de 10-20 cm variaron entre 0,9 y 2,46 Mpa según el año. Estos resultados superan, en algunos casos, los valores umbrales establecidos lo que podría estar afectando el desarrollo radicular y por consiguiente los rendimientos que resultaron menores bajo SD, situación que será discutida en el capítulo correspondiente.

Por otro lado, otros autores en suelos arcillo-arenosos con rotación de cultivo en Vertisoles de Texas después de tres años de manejo no encontraron diferencias en Imp entre LC y SD (Morrison *et al.*, 1990) coincidiendo con los resultados encontrados en este trabajo. El maíz es uno de los cultivos que muestra mayor sensibilidad a sufrir daños en sus raíces y descensos de R debido a la compactación del suelo (Díaz-Zorita, 2000; Álvarez *et al.*, 2006; Taboada & Álvarez, 2007). En Pampa Ondulada, las raíces de maíz responden negativamente a la presencia de capas compactas en el subsuelo (Díaz-Zorita, 2000; Álvarez *et al.*, 2006; Taboada & Álvarez, 2007) y la disponibilidad hídrica es la principal limitante del Rm (Álvarez & Grigera, 2005).

Además de la compactación en el horizonte superficial debido a la compresión vertical, se genera una estructura laminar en superficie que restringe el ingreso de agua al suelo (Sasal *et al.*, 2006; Álvarez *et al.*, 2009; Soracco *et al.*, 2010), aumentando a su vez las pérdidas de agua por escurrimiento (Sasal *et al.*, 2010). En sistemas agrícolas este proceso afecta negativamente el crecimiento de las raíces y la productividad de los cultivos especialmente en años secos, incrementa los requerimientos de energía para las labranzas, disminuye el movimiento de agua y la infiltración e incrementa los procesos de erosión (Passioura, 2002). Por último, se debe destacar que al momento de analizar la

Imp, estos datos deben estar acompañados por los datos de humedad pues el contenido hídrico del suelo modifica la penetrabilidad del mismo (Breune *et al.*, 1996) resultados ya analizados.

- *El Contenido de Carbono en masa (Cmasa)*

El sistema de labranza tiene un efecto sobre la acumulación y distribución del Carbono Orgánico del Suelo (COS). El COS es la propiedad química del suelo que ejerce una influencia más significativa sobre su calidad y productividad (Galantini & Rosell, 2006; Sánchez *et al.*, 2012). Al analizar el Cmasa en el gráfico del ACP éste se asoció a la SD presentando mayores valores bajo este sistema respecto a la LC mostrando un comportamiento similar en el análisis de varianza para todos los años. Estos resultados coinciden con numerosos autores (Elissondo *et al.*, 2001, Báez & Aguirre-Medina, 2011; Barrios *et al.*, 2014a), debido a que existe una mayor pérdida de carbono en los suelos bajo LC con respecto a SD (Espinoza, 2010; López, 2010). También agregan que este aumento es principalmente superficial sin diferencias en profundidad (Eiza *et al.* 2005; Diovisalvi *et al.*, 2008; Gutiérrez-Boem *et al.*, 2008; Wyngaard, 2010; Cisneros *et al.*, 2012; Powlson *et al.*, 2014). En este sentido, la LC rompe los agregados del suelo y expone la materia orgánica inmersa en su interior dejándola a la intemperie donde se oxida a CO₂ y pasa a formar parte de los gases tipo invernadero causantes del calentamiento global del planeta (Reicosky, 2003). Asimismo, el flujo de oxígeno se incrementa y esta exposición de la materia orgánica genera una mineralización más intensa (Six *et al.*, 2004) con la consecuente disminución de su contenido tal como lo encontrado en este trabajo. Esto se incrementa a medida que aumenta la intensidad del laboreo. A su vez, la LC incorpora los residuos al suelo, poniéndolo a disposición de los organismos reduciendo la cobertura y favoreciendo el incremento de la temperatura (Triplett & Dick, 2008). Por otro lado, los mecanismos por los cuales bajo SD se reducen las pérdidas de C podrían ser las menores pérdidas por erosión; la menor tasa de descomposición de residuos; el incremento en la biomasa microbiana y de la población de hongos (Martens, 2000).

También es importante destacar que independientemente del sistema de labranza, las variaciones en el COS dependen de la cantidad y calidad de residuos devueltos al suelo. Por lo tanto, la secuencia de cultivos dentro de la rotación debe ser tenida en cuenta ya

que aquellas que tengan mayores aportes de C compensarán más fácil y rápido las salidas de C que aquellas con menor aporte (Quiroga & Studdert, 2014). Asimismo, la calidad de residuos, es decir su relación C/N, afecta su tasa de humificación y mineralización (Mazzilli *et al.*, 2014) pues con el incremento de esta relación la tasa de descomposición disminuye (Kumar & Goh, 2000). Los cultivos de maíz y trigo, como los analizados en este trabajo, aportan una gran cantidad de residuos con una alta relación C/N (mayor a 60) contrario a la soja con baja relación (menor a 30) (Studdert & Echeverría, 2000). Por tanto, los residuos de estos dos cultivos presentan una menor tasa de descomposición que la soja cuando son devueltos al suelo. Todo esto estaría justificando la rotación empleada en este trabajo. Es muy importante la rotación y la secuencia de cultivos, en especial cuando se combinan cultivos de raíces profundas como alfalfa o maíz que pueden explorar y recuperar N de zonas muy profundas del perfil (Karlen *et al.*, 1994b). La cantidad de residuos puede ser calculada por el índice de cosecha del cultivo, existiendo así cultivos que dejan importante cantidad de residuos sobre el suelo (cereales de invierno y de verano), y otros que dejan residuos muy escasos (soja, girasol, algodón, lino). El tipo de suelo influye sobre la profundidad que alcanzan las raíces como es el caso de los Argiudoles de esta zona (Taboada & Varela, s.f.).

6.1.c. pH, Conductividad Eléctrica, N masa y P extractable

Existen muchos estudios sobre el efecto del sistema de labranza sobre las propiedades químicas del suelo (Diovisalvi *et al.*, 2008; Wyngaard, 2010; Duval *et al.*, 2013; Barrios *et al.*, 2014a).

- La Conductividad Eléctrica (CE) y el pH

La CE y el pH no se asociaron a ninguno de los grupos desarrollados anteriormente con un comportamiento similar encontrado en el análisis de varianza, sin presentar diferencias significativas entre tratamientos para ninguno de los años. El comportamiento encontrado en CE y pH fue descrito por numerosos autores. En general, la CE no es un variable que resulta importante para explicar diferencias existentes entre tratamientos (Campitelli *et al.*, 2010; Barrios *et al.*, 2014a). Por otro lado, el pH tampoco explicó diferencias entre tratamiento debido a que es una de las

propiedades químicas del suelo que menos varía con el uso y el manejo pues es una característica intrínseca de la génesis del suelo (Shi *et al.*, 2002; Cox *et al.*, 2006).

- *El Contenido de N en masa (Nmasa)*

Al estudiar el gráfico del ACP el Nmasa se ubicó, en 2013 y 2014, en el extremo asociado a la SD pero al realizar el análisis de varianza no se detectaron diferencias entre los distintos sistemas de labranzas. En este sentido existen numerosos estudios que afirman que el contenido de N del suelo se ve alterado por la labranza (Diovisalvi *et al.*, 2008; Wyngaard, 2010; Barrios *et al.*, 2014a). Sin embargo, la magnitud del efecto que tiene la labranza dependerá de la textura del suelo, las condiciones climáticas, la agresividad del laboreo y la secuencia de cultivos (Chagas *et al.*, 1994).

El comportamiento del N en el suelo debido al sistema de labranza ha sido ampliamente discutido. Algunos autores han encontrado que bajo SD el contenido de N se incrementa en las capas superficiales del suelo, debido a la concentración de residuos vegetales en la superficie y a la reducción neta de la actividad biológica en los sustratos de origen vegetal (Lal *et al.*, 1994; Bowman & Halvorson, 1998) sumado a una ganancia de C (Palma *et al.*, 1997, Heenan *et al.*, 2004, Abril *et al.*, 2005; Wyngaard, 2010). Justificando estos resultados con el similar comportamiento del COS dado la estrecha relación entre ambas variables (Galantini & Suñer, 2008). Por otro lado, otros autores afirman que al no labrarse el suelo, se producen cambios en la dinámica del N (Domínguez *et al.*, 2001) y como consecuencia hay menor contenido del mismo. Bajo SD el suelo tiende a estar más húmedo, menos aireado y más frío con lo que la MO se descompone más lentamente, disminuyendo la tasa de mineralización de N (Echeverría & Sainz-Rozas, 2001). En este sentido, el laboreo provoca la ruptura de unidades estructurales del suelo por acción física directa y exponen las fracciones protegidas de la materia orgánica estimulando la mineralización N al exponer la MO ocluida a la descomposición microbiana (Franzluebbbers & Arshad, 1997; Mikha & Rice, 2004) y aportando los demás nutrientes a los cultivos (Domínguez *et al.*, 2005). Álvarez & Steinbach (2009) analizando 35 ensayos en la región pampeana, agregaron que cuando el contenido de N en el suelo es bajo, no hay diferencias entre sistemas de labranza. Sin embargo en este trabajo con buen contenido de N tampoco se hallaron diferencias. En este sentido, los suelos bien provistos de N presentan valores en el horizonte

superficial ubicados entre 0,200 a 0,300 % (INTA, 1971; Vázquez & Terminiello, 2008). En este trabajo los valores de Ntot en porcentaje variaron en LC de 0,198 a 0,218 y en SD de 0,208 a 0,225 para la primer profundidad y, en LC de 0,144 a 0,177 y en SD 0,152 a 0,185 para la segunda profundidad. Los valores en % surgen de la metodología de laboratorio.

- *El Fósforo extractable (Pext)*

Al estudiar el Pext en cada sistema de labranza, los resultados fueron muy variables a lo largo de los años, similares a los descriptos para N. En la bibliografía se han citado respuestas diferentes ante los dos sistemas de labranza debido a que este nutriente es altamente dependiente de las condiciones de manejo del suelo, como la incorporación de residuos orgánicos y la fertilización (Ruffo *et al.*, 2005; Acevedo *et al.*, 2008). Algunos autores encontraron mayor concentración y disponibilidad superficial de Pext en el suelo bajo SD (Lal *et al.*, 1994; Guppy *et al.*, 2005). Esto podría deberse a su poca movilidad y la deposición de residuos (Ramírez-Barrientos *et al.*, 2006). El P orgánico forma parte de la materia orgánica del suelo y tiende a seguir el esquema de acumulación o pérdida de la misma (Stevenson, 1986). Además, la ausencia de mezclado del perfil en SD genera mayor acumulación bajo este tratamiento en los primeros cm del suelo (Hussain *et al.*, 1999). Por otro lado, otros autores encontraron que la labranza aumenta significativamente la mineralización de P ocluido e incrementa el P soluble (Galantini *et al.*, 2007), el que está en relación directa con el aumento de la actividad microbiana (Ohno *et al.*, 2005). Sin embargo, coincidiendo con los resultados de este trabajo, otros autores no encontraron diferencias en el contenido de Pext entre sistemas de labranza (Barrios *et al.*, 2014a) y agregan que esto se puntualiza en suelos de Pampa Ondulada con menos de 20 mg kg⁻¹ (Gutiérrez-Boem *et al.*, 2008), situación similar a la encontrada en el presente ensayo donde los valores son muy inferiores.

En general, al hablar de valores críticos de Pext para los cultivos, se piensa en valores de alrededor de 0-10 mg kg⁻¹ como muy bajos y entre 10,1-15 mg kg⁻¹ como bajos (Sainz-Rozas *et al.*, 2012). Puntualmente, en suelos de la Pampa Ondulada para maíz se determinaron umbrales críticos de 13 a 18 mg kg⁻¹ y para trigo se determinaron umbrales críticos de 15 a 20 mg kg⁻¹ (Echeverría & García, 1998; Gutiérrez-Boem *et al.*, 2002; Díaz-Zorita *et al.*, 2004b).

6.2. SEGUNDO NIVEL DE PROFUNDIDAD (10-20 cm)

Debido a la gran variabilidad de los resultados obtenidos entre años, el CP1 no logró separar las variables en dos grupos de forma tan clara como lo mostró en el primer nivel de profundidad (Tabla 4). Sólo Dap, Ptot, Pagua y Paire mostraron un mayor peso sobre el CP1 para los tres años, el resto de las variables presentaron respuestas muy diferentes entre años.

Asimismo, al realizar el análisis de varianza entre sistema de labranza y las propiedades físicas del suelo para el segundo nivel de profundidad (10-20 cm) se encontró gran variabilidad de los resultados entre los años, lo que coincide con lo detallado para el ACP. La Ptot y Paire mostraron una tendencia a favor de LC respecto de SD y Pagua una tendencia a favor de SD respecto a LC, resultados similares a los encontrados para el primer nivel de profundidad, sin diferencias entre sistemas de labranza en Dap.

- *La Densidad aparente (Dap)*

La ausencia de efectos significativos del sistema de labranza sobre la Dap en esta profundidad coincide con otros autores quienes analizaron esta propiedad entre 13-18 cm en un ensayo de larga duración con rotaciones de cultivos en la Estación Experimental Agropecuaria Integrada Barrow (Manso *et al.*, 2012). Confirmando estas afirmaciones, los sistemas de labranza modifican propiedades físicas como la Dap sólo superficialmente (Diovisalvi *et al.*, 2008; Wyngaard, 2010). En este sentido, la inconsistencia del efecto de los sistemas de labranza en el corto plazo sobre la Dap del suelo también ha sido reportada (Báez & Aguirre-Medina, 2011). Asimismo, en este trabajo los valores de Dap se incrementaron en profundidad respecto a la superficie en ambos sistemas de labranza. En este aspecto, en las parcelas bajo LC este aumento podría atribuirse a la ausencia de remoción en profundidad, que facilita la ganancia de cohesión entre las partículas del suelo y bajo SD al menor aporte de MO en profundidad ya que los rastros quedan sólo superficialmente (Pisco *et al.*, 2006). En ambos sistemas de labranza la MO disminuye en profundidad y se incrementa el porcentaje de arcillas lo que conduce a un incremento en la Dap.

- La resistencia a la penetración (Imp)

Si bien no se encontraron diferencias entre sistema de labranza al estudiar la Imp, se observa un incremento a lo largo de los años y en profundidad respecto a la superficie en ambos sistemas de labranza, siendo más notorio en SD respecto de LC. En este sentido, el aumento de Imp en profundidad a través de los años evidenciaría un incremento de la compactación al aumentar el número de años bajo agricultura, asociado con efectos acumulados del tránsito de maquinarias y con las operaciones de laboreo a la misma profundidad (Manso *et al.*, 2012). Tanto en superficie como en profundidad este mayor valor de Imp bajo SD está asociada a la falta de remoción del suelo por un tiempo prolongado en ambas condiciones (Taboada *et al.*, 2008).

- La Humedad Gravimétrica (HG) y la Conductividad Hidráulica (Kh)

La HG y la Kh tuvieron respuestas muy variables entre los años y entre profundidades. Al estudiar el Kh en 2013 y 2015 se encontraron diferencias estadísticamente significativas a favor de SD respecto de LC, sin embargo en 2014 esta relación se invierte resultando a favor en la LC. Esta propiedad física del suelo es muy variable y puede ser mayor, igual o menor en LC comparado con SD (Karlen *et al.*, 1994a) y depende del contenido hídrico del suelo. En ese sentido, la variación en las respuestas observadas para este parámetro en 2014, podrían deberse a que fue un año con precipitaciones muy superiores al promedio histórico (Tabla 2 Anexos).

Al analizar las variables químicas del suelo de 10-20 cm, los valores de Cmasa sólo resultaron superiores en SD en el año 2014 y los valores de Pext resultaron superiores bajo LC en 2013, sin diferencias en el resto de los años evaluados. El Nmasa, pH y CE presentaron el mismo comportamiento que en el primer nivel de profundidad sin diferencias entre los sistemas de labranza para los tres años.

- El contenido de C en masa (Cmasa)

El sistema de labranza afecta la acumulación y distribución de la COT a lo largo del perfil del suelo. En este sentido, el comportamiento de la MO a partir de los 10 cm y hasta la profundidad de 40 cm tiene un comportamiento variable entre los sistemas de

labranza (Báez & Aguirre-Medina, 2011). Existen resultados muy diversos en cuanto al comportamiento del carbono en profundidad. Algunos autores han reportado aumento superficial sin diferencias en profundidad (Fabrizzi *et al.*, 2003; Puget & Lal, 2005; Murage *et al.*, 2007; Blanco-Canqui & Lal, 2008; Diovisalvi *et al.*, 2008; Gutiérrez-Boem *et al.*, 2008; Domínguez *et al.*, 2009; Wyngaard, 2010, Cisneros *et al.*, 2012; García *et al.*, 2016), como lo encontrado en este trabajo. Esto se debe a los residuos vegetales en la superficie, y al incremento en la actividad radical y biótica (Blevins *et al.*, 1993). Por otro lado, otros autores afirmaron que en SD los cambios más importantes de la COT ocurren en las capas más profundas (Varvel & Wilhem, 2011).

- *El contenido de P extractable (Pext)*

Independientemente del sistema de labranza el Pext disminuyó con la profundidad. En general, todas las formas de P presentan una disminución en función de la profundidad (Suñer *et al.*, 2014). En la profundidad de 10 a 20 cm no se encontraron diferencias entre sistemas de labranza resultado que concuerda con el obtenido por Hussain *et al.* (1999) y Wyngaard (2010). En la bibliografía se ha reportado que bajo SD se produce una acumulación de P en los primeros centímetros de suelo, lo que dificultaría su absorción por las raíces (Barbagelata & Papparotti, 2000). La falta de incorporación, en superficie, de fertilizantes y residuos junto con la tasa de absorción de los cultivos desde capas más profundas del suelo produce estratificación de los nutrientes inmóviles en superficie. En este sentido, los cultivos presentan una alta dependencia de estos nutrientes concentrados en los primeros centímetros de suelo debido a la estratificación y los cambios en las relaciones cantidad/intensidad de profundidad (derivados de cambios en pH, MO, etc.). Si la superficie del suelo se seca, las raíces se vuelven inactivas, los nutrientes reducen su disponibilidad y la absorción por los cultivos se verá reducida, especialmente si las capas más profundas del suelo poseen baja disponibilidad de nutrientes (Bordoli, 2001). En este sentido, los suelos bajo SD presentan diferente distribución vertical de nutrientes inmóviles (P y K), materia orgánica, actividad microbiana, y raíces de los cultivos (Acosta-Escobar & Galárraga-Galárraga, 2011).

Al analizar el efecto que tiene el sistema de labranza sobre los nutrientes, se debe tener en cuenta la rotación de cultivos que presenta cada ensayo de larga duración, debido a que modifica la cantidad, el momento y la calidad de los materiales que ingresan al

suelo (Lorenz & Lal, 2005). En este sentido, la mineralización de la MO y los residuos depende de la cantidad y el tipo de residuos tanto en su forma física (tamaño, densidad y diámetro) como en su composición química (relación C/N, contenido de lignina, etc.), y de las condiciones climáticas (Bordoli, 2001).

7. CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

De los resultados obtenidos se acepta la primera hipótesis, concluyendo que existen propiedades de calidad de suelo que explican mejor que otras el impacto producido por el sistema de labranza. Esto se da principalmente para el primer nivel de profundidad (0-10 cm). En este sentido, el ACP es una herramienta que presenta un resumen de los resultados y es una técnica de evaluación integral adecuada para estudiar propiedades del suelo y poder explicar resultados mediante la conformación de grupos y la relación de las variables con los mismos. Las propiedades edáficas más sensibles a los cambios en las funciones del suelo pueden utilizarse como indicadores de calidad, y permiten determinar el estado de degradación o reconversión de los suelos bajo cierta práctica de manejo para asegurar la sostenibilidad de un agroecosistema. El ACP dividió las propiedades de suelo estudiadas en dos grupos, en función del sistema de labranza utilizado y se consideró que las variables más sensibles fueron aquellas que se ubicaron en alguno de estos grupos. En el G.I, asociado a la LC, se ubicó la Ptot y la Paire, incluyendo la Kh. Por otro lado, en el G.II asociado a la SD se ubicó la Dap, la Pagua, la Cmasa y la HG, incluyendo la Imp y el Nmasa. La CE, el pH y el Pext no se asociaron a ninguno de los grupos, siendo propiedades menos sensibles al sistema de labranza. Cabe aclarar que en el segundo nivel de profundidad la gran variabilidad no permite agrupar variables.

Por otro lado, en función de los resultados obtenidos también se acepta la segunda hipótesis, los sistemas de labranza (LC y SD) generan variaciones en las propiedades físicas y químicas de un suelo Argiacuol vértico, ubicado en Partido de Ezeiza, Buenos Aires. Los cambios se producen principalmente en los primeros centímetros del mismo (0-10 cm), pero a mayor profundidad (10-20 cm) la variabilidad entre los años es mayor. Las propiedades que podrían ser tenidas en cuenta, en ambas profundidades, para explicar la variabilidad en la calidad del suelo debido al sistema de labranza son Ptot, Paire, Dap, Pagua y Cmasa. Siendo las primeras dos variables más sensible a la LC y las últimas tres a SD. No es conveniente tener en cuenta la HG por no mantener una tendencia a asociarse siempre con el mismo tratamiento dada su variabilidad entre años y cultivos.

Al estudiar las propiedades físicas en superficie la SD incrementa la Pagua, Dap y HG, con una tendencia a encontrar mayores valores de Imp pero disminuye la Ptot y Paire. Estos resultados se invierten bajo LC. Asimismo, la Dap independientemente del sistema de labranza aumenta con la profundidad sin diferencias entre tratamientos.

En cuanto a las propiedades químicas del suelo, en ambas profundidades, después de 10 años de rotación de cultivos bajo dos sistemas de labranza diferentes, el pH y la CE no se ven alterados debido a su baja variabilidad interanual. El parámetro químico más afectado por el sistema de labranza es la Cmasa, el cual se incrementa bajo SD principalmente en el primer nivel de profundidad. En cambio, el Nmasa y el Pext se modifican, pero el comportamiento de los mismos es muy variable entre años y entre profundidades, dependiendo de las condiciones climáticas y edáficas y el cultivo antecesor al momento del muestreo. Los valores de Pext, independientemente del sistema de labranza y del año, resultaron siempre superiores en la primera profundidad con respecto a la segunda profundidad.

**CAPÍTULO 2 - CULTIVO: VARIABLES DE
PRODUCTIVIDAD Y DE CALIDAD**

1. INTRODUCCIÓN

Los cereales han sido considerados históricamente como el eje de la agricultura y la fuente más productiva de alimentos. La mayor parte de la energía que consume el hombre proviene de los cereales, como el trigo el arroz y el maíz, de estos el trigo es el más abundante y productivo. La importancia de los cereales también radica en que los frutos maduros no son perecederos y pueden ser almacenados para consumo gradualmente o mantenido como semillas para futuras plantaciones (Serna-Saldivar, 2009).

El maíz, al igual que el trigo y el arroz es uno de los cereales más importantes del mundo, suministrando elementos nutritivos a seres humanos y animales. Es un producto agrícola valioso, que sirve de materia prima básica de la industria. Posee gran versatilidad pues puede consumirse como alimento humano en forma directa y en muy diversas formas, utilizarse también en alimentos para ganado o puede transformarse industrialmente. Participa como materia prima en una gran diversidad de procesos para obtener un gran número de productos industriales utilizados en diferentes actividades económicas tales como la minería, textil, electrónica, farmacéutica, alimentaria, energética, etc. A partir de él se obtienen entre otras cosas almidón, glucosa, dextrosa, aceites, etanol, polímeros biodegradables, proteínas, bebidas alcohólicas, edulcorantes, colorantes y, desde hace poco, combustibles. La planta fresca, empleada como forraje, se ha utilizado con gran éxito en las industrias lácteas y cárnicas y, tras la recolección del grano, las hojas secas y la parte superior, incluidas las flores, es forraje de buena calidad para alimentar a los rumiantes de pequeños agricultores de los países desarrollados y en desarrollo. Además, los tallos erectos, pueden utilizarse para construir cercas y muros duraderos (Nápoles-Hernández, 2007). El maíz tiene numerosos usos nutricionales e industriales, utilizándolo para la producción de alimentos balanceados; en la molienda húmeda (almidones, fructuosa y aceite) y molienda seca.

Los principales productores mundiales de maíz desde el año 2014 fueron Estados Unidos, Argentina, Brasil y China. Al hablar de la exportación, Estados Unidos ocupa el primer lugar y Argentina el segundo (Buryaile *et al.*, 2016). La producción de maíz en

Argentina para la campaña 2016/2017 fue de 49.475.895 tn, con un rendimiento promedio de 7576 kg ha⁻¹, en una superficie sembrada de 8.481.854 ha y una superficie final cosechada de 6.530.673 ha (Ministerio de Agroindustria, 2018). En la Tabla 10 se detalla el destino de la producción de maíz desde la campaña 2014/15. Entre los productos industrializados se encuentra las harinas para alimentación humana, la producción de edulcorantes, etanol, aceites y producción de semilla.

Tabla 10. Datos de maíz en Argentina desde la campaña 2014/15.

Campaña	Stock inicial	Producción	Industrialización y otros usos (*)	Consumo animal (**)	Exportación	Stock final
2014/15	4,30	33,80	3,20	12,20	19,10	3,60
2015/16	3,60	39,80	3,30	13,00	21,45	5,65
2016/17	5,65	49,50	3,45	14,37	27,50	9,83

En millones de toneladas. Ministerio de agroindustria 2017.

* Comprende la molienda seca (harinas para alimentación humana), la molienda húmeda (producción de edulcorantes, etanol y otros productos), aceites y producción de semilla.

** Grano para uso ganadera directo y para elaboración de alimentos balanceados.

La producción mundial de aceite de maíz en la campaña 2015/2016 alcanzó las 3.480 mil toneladas, siendo EE.UU. el principal productor, le siguen en orden de importancia Turquía, China, Brasil, UE-28 y Argentina. En Argentina la preferencia de consumo de aceites recae en el de girasol, y en menor medida en el de maíz, cuya producción en la campaña 2015/2016 fue de 43,1 miles de toneladas. Actualmente, en el ranking nacional de producción de aceites el maíz ocupa el cuarto lugar muy lejos de la soja y el girasol, y apenas por debajo de la producción de aceite de maní. No obstante, en el ranking de países productores de aceites y grasas, Argentina se ubica en el séptimo lugar a nivel mundial (De Bernardi, s.f).

La región núcleo o principal es el norte de la provincia de Bs. As., con centro en la localidad de Pergamino. Las regiones prioritarias de producción son: Centro y Norte de Bs. As, Centro y Sur de Córdoba, Sur de Santa Fe y Centro de Entre Ríos. Las regiones secundarias de producción se ubican en La Pampa, San Luis, Norte de Santa Fe, Misiones, Chaco, Formosa, Santiago del Estero, Tucumán y Salta. En la provincia de Tucumán las zonas productivas más importantes se sitúan en los departamentos de Burruyacu, Leales, Cruz Alta, Graner y La Cocha (Martín, s.f).

Al hablar de las zonas productoras de maíz en la Argentina habitualmente se enumeran quince (Figura 13): (I) NOA; NEA Este (IIe) y NEA Oeste (IIo); Centro Norte de

Córdoba (III); Sur de Córdoba (IV); S Núcleos Norte que incluye el sur de San Buenos Aires (VII), Centro Este de Ent Bs. As. (IX); Centro de Bs. As. (X); S Sudeste de Bs. As. (XII); San Luis (C Corrientes (XV) (Bolsa de Cereales, 2018

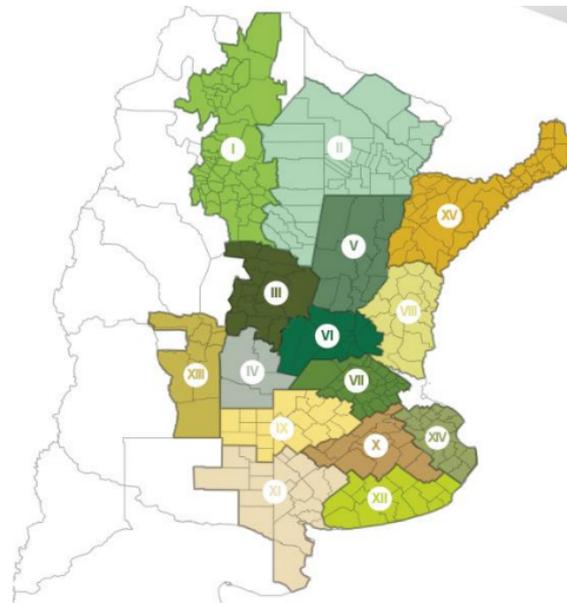


Figura 13. Regiones Argentinas productoras de maíz. Bolsa de Cereales, 2018.

El cultivo de trigo se ha extendido por todo el mundo, y es quizás el cereal más cultivado y consumido en el mundo, formando parte del desarrollo económico cultural del hombre. El trigo junto con el maíz y el arroz completa la trilogía de cereales mayores o principales y son los más cultivados en el mundo (Manangón-Monteros, 2014). La difusión de su utilización se debe a su gran versatilidad y adaptabilidad. Como cultivo se adapta a ambientes muy extremos: se siembra tanto a nivel del mar como a más de 3000 m, desde regiones secas a lluviosas, en regiones cálidas como en templadas, y en distintos tipos de suelos (Bushuk, 1986). Todos los granos podrían consumirse como grano entero pero en general se lo consume molido como harina. Como fuente alimenticia se puede adaptar a una gran diversidad de productos: panes de distintos tipos, galletitas saladas y dulces, tortas, bizcochuelos, pastas, pizzas, cereales de desayuno, bebidas alcoholicas como el whisky (Vázquez, 2009). La propiedad más importante de estas harinas es la capacidad de formar pan voluminoso debido a la elasticidad del gluten que contiene (Manangón-Monteros, 2014).

A diferencia de lo que ocurre en los otros mercados, como maíz y soja, en trigo el grupo de exportadores incluye una lista más extensa de países que juegan un rol de significación en el mercado mundial. Entre los países exportadores más tradicionales se incluye Estados Unidos, Argentina, Australia, Canadá y entre los no tradicionales Rusia, Ucrania, Kazakstán, y dentro de la UE, Francia, Alemania e Inglaterra como los principales. En total diez países, a los que se suman algunos menores dentro de la UE pero que también juegan un rol importante, como Rumania, Hungría y Polonia. La Argentina, es desde 2014, el segundo país en volumen de producción y exportación de

trigo en el mundo. En cuanto a los importadores y siguiendo la metodología de las estadísticas del USDA, son cuatro las regiones de mayor significación: Sudamérica, Medio Este Asiático, Norte de África y Sudeste Asiático. Sudamérica incluye como país de significación a Brasil (Buryaile *et al.*, 2016). Sin embargo, en la última década se observó una disminución en el área cultivada, debido a que las condicionantes de los mercados internos y externos favorecieron la producción de oleaginosas, en particular la soja, en desmedro del trigo y otros productos agropecuarios (El sur del sur, 2015).

La producción de trigo total en Argentina (trigo pan y trigo candeal) para la campaña 2016/2017 fue de 18.557.532 tn, con un rendimiento promedio de trigo pan de 3305 kg ha⁻¹ y trigo candeal 2494 kg ha⁻¹, una superficie sembrada de 6.428.553 ha y una superficie final cosechada de 5.629.213 ha (Ministerio de Agroindustria, 2018). En la Tabla 11 se detalla el destino de la producción de trigo desde la campaña 2014 a la 2017.

Tabla 11. Datos del cultivo de trigo en Argentina desde la campaña 2014/2015.

Campaña	Stock inicial	Producción	Molienda (*)	Semillas y otro usos (**)	Exportación	Stock final
2014/2015	3,13	13,93	5,72	1,20	4,51	5,63
2015/2016	5,63	11,30	5,59	0,80	8,54	2,00
2016/2017	2,00	18,40	5,70	0,90	12,50	1,30

En millones de toneladas. Ministerio de agroindustria 2017. * Industria de harinas y sémolas. ** Destino forrajero.

La zona productora de trigo en Argentina se encuentra dividida en 5 subregiones (Figura 14). La división de la región triguera se basa, principalmente, en características de suelo y clima. Por ende, cada una de las subregiones comprende áreas con características semejantes. Es de destacar que la distribución del cultivo no es uniforme en toda la región triguera. La siembra se concentra en las subregiones V-sur, II-norte, IV y II-sur.

La Subregión I incluye el norte de la provincia de Santa Fe y el noreste de Córdoba; la Subregión II N incluye el sur de Santa Fe, sudeste de Córdoba y II S el norte de Buenos Aires; la Subregión III incluye la provincia de Entre Ríos; la Subregión IV incluye el sur de Buenos Aires y la Subregión V N incluye el sur de la provincia de Santiago del Estero, noroeste de Córdoba y noreste de San Luis y V S incluye el sur de San Luis, poco del sur de Córdoba, La Pampa y el sudoeste de Buenos Aires (Oropesa, 2012). No debemos olvidar que fuera de la región triguera también se puede producir trigo, en menor cantidad, en NEA (Chaco y Formosa) y NOA (Santiago del Estero, Tucumán, Salta y Jujuy).

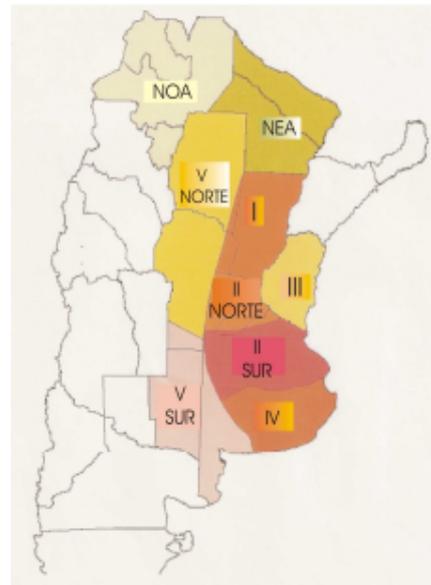


Figura 14. Regiones Argentina productoras de trigo (Seghezzo & Molfese, 2006).

La mayor parte de la producción de cereales está en la provincia de Buenos Aires, seguida por Santa Fe y Córdoba. En el sudeste de la provincia de Buenos Aires, el trigo que se siembra tiene rendimientos que pueden superar los 6000 kg ha⁻¹. Las tierras cultivadas con trigo se alternan con girasol, papas y pastoreo de ganado. En el noreste de la provincia de Buenos Aires de clima templado cálido, en los cultivos de primavera-verano se rota el trigo con maíz, mijo y sorgo. En el este Córdoba, sur de Santa Fe y oeste de Entre Ríos el trigo rota con el maíz, la soja y el pastoreo de animales. En el noreste de Entre Ríos, donde se combinan los inviernos cortos con la gran disponibilidad de agua, se siembra arroz. La zona templada concentra gran parte de la actividad ganadera, por lo que también produce el mayor porcentaje de cultivos forrajeros entre los que se destacan la alfalfa, avena, sorgo, cebada y centeno (Sur del sur, 2015).

Las prácticas de manejo afectan al suelo y por ende a los cultivos (Ferreras *et al.*, 2007), por lo que una producción sostenible se alcanza siguiendo acciones que permitan mantener o mejorar la condición del suelo y, con ello, el desarrollo del cultivo (Janzen, 2006). La productividad depende de la interacción entre calidad del suelo, ambiente y manejo, los suelos con máxima calidad son capaces de mantener alta productividad con

el mínimo disturbio ambiental (Gil-Sotres *et al.*, 2005). La rotación de cultivos y la labranza son prácticas que presentan gran influencia sobre el funcionamiento del suelo y el comportamiento de los cultivos, condicionando las relaciones suelo-planta (Domínguez *et al.*, 2005; Barrios, 2011). El rendimiento es un índice integrador de un conjunto de componentes, donde intervienen aspectos de diversa naturaleza (clima, suelo, fitosanitario, etc.), por lo tanto, es necesario evaluar muchas variables que permitan explicar diferencias en los valores debido al sistemas de labranza, a través de los años (Báez & Aguirre-Medina, 2011). En este sentido, el agua es vital para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, existiendo una estrecha relación entre su contenido en el suelo y el consumo por la planta (Soracco *et al.*, 2009). En trigo el rendimiento depende de las condiciones climáticas y las propiedades edáficas, requiriendo un uso eficiente del agua y del N (Martínez *et al.*, 2012). El manejo, como puede ser la fertilización o el sistema de labranza, afecta la producción de proteínas del grano y en consecuencia su calidad. Todo tipo de estrés a la planta puede llegar a afectar la calidad. Cuando los nutrientes son limitantes y las condiciones climáticas son favorables, el R en grano aumenta debido a una mayor biosíntesis de almidón en el grano en detrimento de su calidad (Vázquez, 2009).

El desarrollo de la agroindustria y la evolución en las recomendaciones nutricionales en la alimentación humana está originando mercados diferenciados de productos por calidad (Gaggioli *et al.*, 2015). En los últimos años se ha despertado el interés por mejorar parámetros químicos de calidad del grano de maíz pues es necesario disponer de materiales genéticos que satisfagan los requerimientos nutricionales y tecnológicos de un mercado cada vez más exigente (Corcuera *et al.*, 2016).

La calidad del maíz está determinada por la estructura y composición del grano, asociados a su constitución física (textura y dureza) y a su composición química (valor nutricional y propiedades tecnológicas). La composición química del grano está determinada genéticamente (Eyhéabide *et al.*, 1996), pero el ambiente puede influir sobre la definición final de esa composición (Eyhéabide *et al.*, 2004, Tanaka *et al.*, 2005; Cirilo *et al.*, 2011). La dureza endospérmica, surge de la interacción entre el endosperma, el almidón, el aceite y los carotenoides, y le otorga resistencia mecánica, permitiendo mantener la integridad del grano durante la cosecha y poscosecha. La composición y proporción de ácidos grasos determina la calidad y el uso más adecuado

del aceite. La palabra calidad aplicada al maíz es una propiedad multifacética y varía según el tipo de alimento y el uso que se le dará. La calidad del grano de maíz es un “atributo integrador” que refleja su constitución química, dependiente del contenido y/o calidad de proteínas, almidón, aceite, textura, el valor nutricional y las propiedades tecnológicas. En este sentido, granos con mayor cantidad de proteína resultan con mayor peso (Corcuera *et al.*, 2016).

Actualmente, se observa una tendencia hacia la producción de materiales con calidad diferenciada para satisfacer la demanda, asociadas con el uso final del producto en contraposición a la mayoría de la producción o “*commodity*”. En este sentido, es necesario investigar más sobre las interrelaciones entre propiedades físicas, químicas y biológicas del grano con el genotipo, el ambiente y el manejo para avanzar en nuevos usos del maíz (Robutti, 2004). Los mercados son cada vez más exigentes y se interesan por el contenido de proteínas, aminoácidos, almidón, aceites y una menor tolerancia a sustancias contaminantes. Primeramente, se requieren granos sanos, limpios, uniformes de tamaño, textura y color. En este sentido, las demás exigencias dependerán del destino final de la producción, y en el caso de la calidad tecnológica de la técnica de transformación y fabricación industrial por la que debe pasar el grano. Se habla de “*calidad para molienda seca*” para obtener fracciones de endosperma destinadas a la fabricación de copos de desayuno donde se necesitan granos de maíces duros donde importa la dureza del endosperma y la relación de tamaños de partícula; para “*molienda húmeda*” para obtener el almidón del endosperma que al requerir menor tiempo de maceración en la extracción se inclina por un maíz de alto almidón, aceite o proteína y buena pureza; “*calidad nutritiva*” que es función de la cantidad de sus proteínas o “*calidad aceitera*” que es función de la cantidad de aceite que puede extraerse del mismo (INTA Balcarce, 2006; Izquierdo & Cirilo, 2013). Los híbridos “*alto aceite*” son muy deseables en nutrición humana porque aportan energía, ácidos grasos esenciales y vitamina E y, poseen gran estabilidad por el alto contenido de ácidos grasos insaturados que los hace ideales para la producción de aperitivos. Últimamente, al prestar mayor atención a la protección del medio ambiente y la reducción de reservas fósiles para obtener combustible, se les ha asignado un nuevo uso el de “*biocombustibles*” (Zduni *et al.*, 2012).

Las diferencias en estructura y composición, que definen la calidad, dependen del cultivar de las prácticas de manejo, el clima, el suelo y los métodos de cosecha y poscosecha (Eyherávide, 2015). Entre las prácticas de manejo, el rendimiento y la calidad de grano de maíz está determinada, entre otros factores, por el sistema de labranza y la fertilización (Calderone *et al.*, 2008). En maíz, el N es importante en la determinación del R (Pagani *et al.*, 2009) y el óptimo desarrollo de los cultivos y es clave en la síntesis proteica y la calidad de los granos (Echeverría & Sainz-Rozas, 2005). La proteína es una cualidad importante que depende de las prácticas de manejo (Zamir *et al.*, 2013).

Tradicionalmente, el trigo se ha comercializado como un “producto agropecuario”, sin mayores especificaciones. En los últimos años, se convirtió en un “insumo industrial”, con requisitos específicos. Las industrias reciben exigencias de parte del consumidor extendiéndose a los industriales y por consiguiente, el agricultor debe incluir estos requerimientos al producir trigo. En el sentido más amplio del concepto, se tiene un trigo de buena calidad cuando satisface los requisitos del comprador. El concepto de calidad está instalado en cada uno de los eslabones que conforman la cadena del trigo y para satisfacer las necesidades de los consumidores, es imprescindible que los molineros conozcan dónde adquirir la materia prima que reúne los requisitos necesarios para elaborarlos con una calidad sostenida durante todo el año (Salomón *et al.*, 2013).

Existen conceptos diferenciales de calidad: “*calidad física*”, “*calidad comercial*”, “*calidad molinera*”, “*calidad panadera*” o “*calidad industrial*”. Así, el trigo es de buena calidad molinera cuando cumple con los requisitos del molinero, o de buena calidad panadera cuando cumple con los requisitos del panadero. Básicamente, la calidad comercial, refleja las condiciones de manejo del cultivo, la cosecha, el almacenamiento, la zona de producción y del año climático; la calidad molinera, se asocia con el rendimiento de harinas y/o sémolas en el molino, y las características visuales de las mismas y la calidad industrial, está relacionada estrechamente con el destino de uso final de un lote de trigo y es evaluada a través de las características plásticas de las harinas resultantes (Molfese, 2016). Un trigo que es de buena calidad para un producto, puede no serlo para otro. Dado que la mayor parte del trigo que se comercializa en la Argentina tiene como destino la producción de harina para elaborar pan, cuando se dice que un trigo es de buena calidad se sobreentiende que tiene buena calidad molinera y

panadera (Vázquez, 2009). En el concepto de “*calidad molinera*” interesa producir un alto porcentaje de harina sin necesidad de un uso excesivo de aditivos y como “*calidad panadera*” se tienen en cuenta propiedades de extensibilidad y tenacidad que le permiten producir el pan acorde a lo que quiere el panadero y/o el consumidor. Por último, un menor porcentaje se destina a la producción de pastas, galletitas, tortas y otros productos farináceos. En la Argentina se consumen un promedio de 9,6 kg de bizcochos y galletitas (Lezcano, 2010) y 72,5 kg de pan por habitante por año, lo que la posiciona dentro de América como uno de los principales países consumidores de productos panificados elaborados con harina de trigo (Lezcano, 2007). Al mismo tiempo, la innovación en las panificadoras industriales se vincula con harinas diferenciadas de acuerdo a su destino industrial, denominadas especiales y premezclas, que permiten obtener determinadas características reológicas y propiedades viscoelásticas de las masas (Cuniberti & Menella, 2004). Cada uno de estos productos requiere un tipo de harina especial, y existen variedades de trigo seleccionadas para cada producto específico (Cuniberti & Otamendi, 2005; Vázquez, 2009).

Los análisis de calidad física son los más utilizados en comercialización de trigo. Es necesario que un grano tenga buena calidad física para un correcto almacenamiento donde no se pierdan estas cualidades y que permita la obtención de productos industriales homogéneos (Hugo & Godiño, 2000). Las panificadoras son muy exigentes porque emplean procesos altamente automatizados, debiendo partir de una materia prima con características homogéneas para elaborar distintos productos que llegan a las góndolas de los supermercados (Cuniberti, 2005). Es importante el contenido de proteína bruta en grano, su composición y calidad industrial. Para conocer la aptitud de una partida de trigo para un determinado uso industrial, se realizan análisis de laboratorio relacionados a calidad comercial, molinera e industrial (Salomón *et al.*, 2013). Entre los análisis más comunes encontramos materias extrañas e impurezas, granos dañados o enfermos, peso hectolítrito, peso de mil granos, proteína bruta, dureza, humedad. Sobre la harina puede analizarse el porcentaje de extracción de harina, humedad, falling number, proteína bruta, cenizas totales, color, gluten y análisis reológicos. En los estándares modificados por el Instituto Argentino de la Sanidad y Calidad Vegetal se incluyó, a partir de la campaña 1995/96, un sistema de bonificaciones y rebajas por contenido proteico en trigo que actualmente reconoce una base neutra del 11 % de proteína (Chidichimo *et al.*, s.f.). El gluten es un parámetro

importante al momento que tiene en cuenta un molino al comprar cierta partida de trigo y aparece en un gran porcentaje de los pedidos de calidad especial.

Los ambientes y la genética afectan la composición de los granos de los cereales como el almidón (Beckles & Thitisaksakul, 2014), la proteína (Malik *et al.*, 2011) y la actividad de α -amilasa (Dencic *et al.*, 2013). La calidad de trigo depende del genotipo del cultivar, del sistema de labranza, la disponibilidad de N, la cantidad de fertilizante o el modo y momento de aplicación (Galantini *et al.*, 2004; Gómez-Becerra *et al.*, 2010; Woźniak & Makarski, 2013; Rachoń *et al.*, 2015). Sin embargo, existen resultados dispares en cuanto al impacto de las labranzas sobre la calidad del trigo. Por su parte, Di Fonzo *et al.* (2000) en Italia agregaron que el efecto del sistema de labranza sobre la calidad depende de las características climáticas del año. Estos autores destacaron que la siembra directa supera a la labranza convencional, en años en los que la disponibilidad de agua hacia el final del ciclo es limitante permitiendo obtener granos más pesados, con mayor proteína bruta y contenido de gluten. Por otro lado, la disponibilidad de N en el suelo tiene gran influencia en la calidad comercial e industrial de trigo (Abbate *et al.*, 2010). La calidad panadera se asocia al nivel de proteína bruta en grano y la cantidad y calidad de gluten, y estos valores dependen del N y S (Calvo *et al.*, 2006). La rotación de cultivos (Aillapan-Aravena, 2012), el sistema de labranza y la fertilización con N afectan el rendimiento y la calidad de los cultivos (Falotico *et al.*, 1999). El N tiene un rol importante en la calidad del trigo y su contenido en el suelo y la tasa de absorción depende del sistema de labranza (Golik, 2009; Aillapan-Aravena, 2012). La labranza también afecta la calidad de los cultivos. Algunos autores encontraron menor calidad de harina bajo SD (Sempé & Chidichimo, 2004) con mayor PB y GH bajo labranza convencional (Woźniak *et al.*, 2014).

Existe una relación inversa entre rendimiento y el contenido de proteína en los granos de trigo (Villarroel *et al.*, 2016). Esta relación depende fuertemente de la disponibilidad de N, para que el genotipo pueda expresarse. Si el N es limitante, la cantidad de proteínas no aumenta en la misma proporción, fenómeno conocido como “dilución de proteínas” y puede solucionarse con una fertilización adecuada (García-Lamothe, 2006). Una adecuada relación N/rendimiento será favorable para alcanzar el rendimiento esperado y sostener niveles de proteína (Guarino & Alonso, 2017).

La proteína bruta en grano es parcialmente determinante de la calidad industrial y está asociada fuertemente con el contenido de gluten (Alzueta *et al.*, 2008; Pinilla-Quezada & Herrera Fllody, 2008). Se han reportado efectos sobre la cantidad de proteínas del grano y otros parámetros de calidad en relación con el N disponible (Lerner *et al.*, 1998) principalmente durante el llenado de grano (Vázquez, 2009). Se han encontrado diversos efectos del N sobre los parámetros reológicos de la masa como la fuerza panadera, tenacidad y extensibilidad (García-Lamothe, 2004; Alzueta *et al.*, 2008; Fuertes-Mendizábal *et al.*, 2010; 2012). Otros nutrientes del suelo como el S también es un componente determinante en la calidad de las proteínas, ya que compone las distintas proteínas formadoras de gluten (Wooding *et al.*, 2000).

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

◆ Evaluar el efecto de dos sistemas de labranza sobre la productividad y desarrollo de un cultivo de maíz y trigo analizando el rendimiento en grano, el peso de mil granos, el índice de área foliar, la altura de plantas a cosecha, la biomasa total, la biomasa aérea y la biomasa de raíces.

◆◆ Establecer el impacto del sistema de labranza bajo rotación de cultivos, sobre la calidad industrial de los granos de maíz a través de la proteína bruta y materia grasa y de los granos de trigo a través de proteína bruta, cenizas totales, contenido de gluten, actividad amilásica y la fuerza panadera.

3. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

◆ La productividad y desarrollo de un cultivo de trigo y maíz, en una rotación se ve afectada por el sistema de laboreo.

◆◆ La calidad industrial del grano de trigo y maíz, en una rotación de cultivos, se ve afectada por el sistema de labranza.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO

4.1.a. Maíz

La siembra del cultivo de maíz se realizó el 23 de octubre de 2013 con una sembradora experimental y a una distancia entre surcos de 0,5 m y se cosechó el 11 de marzo de 2014. Se utilizó un híbrido simple modificado Agrisure TD/TG de la empresa Singenta (WK 907 TD/TG). La descripción del híbrido según la empresa era: tipo de grano colorado duro, tiempo desde emergencia a madurez 150 días; con una altura promedio de planta de 2,25 m y la inserción de la espiga a 1,1 m; con alta tolerancia al quebrado debajo de la espiga y media tolerancia al vuelco, mal de Río IV, roya, tizón, enfermedad de la espiga y podredumbre de tallo y raíz.

Se utilizó la escala Ritchie y Hanway, (1982) (Tabla 12) para determinar el Estadio Fenológico (EF) en que se encontraba el cultivo según los Días desde la Siembra (DDS). Se registraron las fechas de VE: Emergencia; V3: Estadio de tres hojas; V5: Estadio de cinco hojas; GL: Grano Lechoso y MF: Madurez Fisiológica.

Tabla 12: Fases de ciclo fenológico del maíz según la Escala de Ritchie y Hanway.

	Etapa Principal	Descripción
Estados vegetativos	VE	Emergencia
	V1	Primer hoja desarrollada
	V2	Segunda hoja desarrollada
	V3	Tercera hoja desarrollada
	V4	Cuarta hoja desarrollada
	V5	Quinta hoja desarrollada
	Vn	Hoja n desarrollada según cultivar
	VT	Panojamiento
Estados reproductivos	R1	Emergencia de espiga
	R2	Cuaje
	R3	Grano lechoso
	R4	Grano pastoso
	R5	Grano dentado
	R6	Madurez Fisiológica

Ritchie y Hanway (1982).

En la Figura 15 se presentan los datos de precipitaciones y temperaturas promedio registrados durante el período del cultivo de maíz.

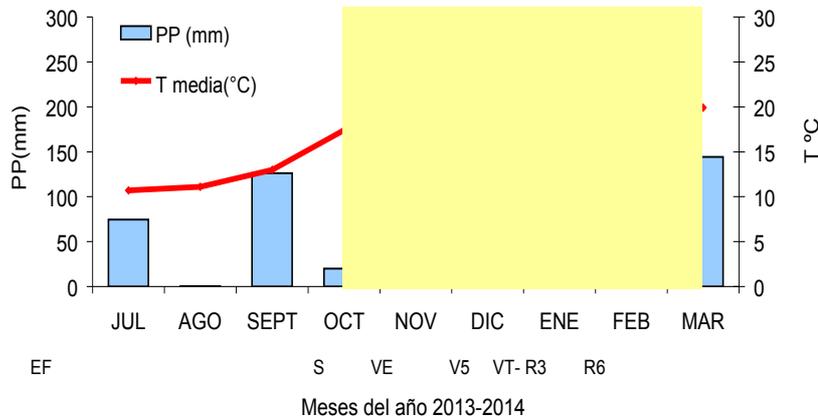


Figura 15. Datos climáticos durante cultivo de maíz. PP: Precipitaciones (mm); T: Temperatura promedio (°C), EF: Estadios Fenológicos, IM: Implantación; VE: Emergencia; V3: Estadio de Tres hojas, V5: Estadio de Cinco hojas; VT: Panojamiento, R3: Grano Lechoso y R6: Madurez Fisiológica.

A partir de tres plantas tomadas al azar de cada parcela se determinó: Biomasa Total máxima que incluyó lámina, tallo, espigas completas y raíces (BTm), Biomasa Aérea (BAm); Biomasa de Raíces de 0-20 cm (BRm), Altura de plantas (Hm) e Índice de Área Foliar (IAFm). Los muestreos se realizaron periódicamente cada 15-30 días. Las plantas se separaron y cada fracción se secó independientemente hasta peso constante en estufa a 70 °C. El Área Foliar (AFm) se determinó con el programa Iproplus.

El Rendimiento en grano (Rm) y el Peso de Mil Granos (PMGm) se determinaron a partir de la cosecha de una subparcela de 4 m² (2 m x 2 m) de superficie de cada parcela elemental. Al peso de los granos se le aplicó el factor 1,145 para expresar el rendimiento en base a la humedad comercial. Los datos se expresaron en kg ha⁻¹, Las espigas cosechadas de estas subparcelas, fueron trilladas manualmente.

4.1.b. Trigo

La siembra del trigo pan se realizó el 19 de agosto de 2014 con una sembradora experimental y a una distancia entre surco de 0,5 m y se cosechó el 18 de diciembre de 2014. Se utilizó semilla proveniente de la empresa Klein, de la una variedad Tauro de ciclo corto. La descripción de la empresa era: plantas de porte semierecto con una altura

promedio de 105 cm, un peso de mil granos promedio de 42 g; resistente al vuelco y que no presentaba desgrane; con una semilla de criadero y de primera multiplicación.

Se utilizó la escala Zadoks (Tabla 13) para determinar el Estadio Fenológico (EF) en que se encontraba el cultivo de trigo según los Días desde la Siembra (DDS). Se registraron las fechas de Inicio de macollaje Z2 (IM), Vaina Engrosada Z4 (VE); Grano Lechoso Z8 (GL) y Madurez Fisiológica Z9 (MF).

Tabla 13. Fases de desarrollo siguiendo la escala decimal Zadoks (Z0.0 a Z9.9).

Etapa Principal	Descripción	Subfase
0	Germinación	0,0-0,9
1	Producción de hojas TP	1,0-1,9
2	Producción de macollos	2,0-2,9
3	Producción de nudos TP (encañado)	3,0-3,9
4	Vaina engrosada (espiga encerrada en vaina de hoja bandera)	4,0-4,9
5	Espigado	5,0-5,9
6	Antesis	6,0-6,9
7	Estados lechoso del grano	7,0-7,9
8	Estado pastoso del grano	8,0-8,9
9	Madurez	9,0-9,9

TP = tallo principal. Escala según Zadocks (Zadoks *et al.*, 1974).

En la Figura 16 se presentan los datos de precipitaciones y temperaturas promedios registrados durante el período del cultivo de trigo.

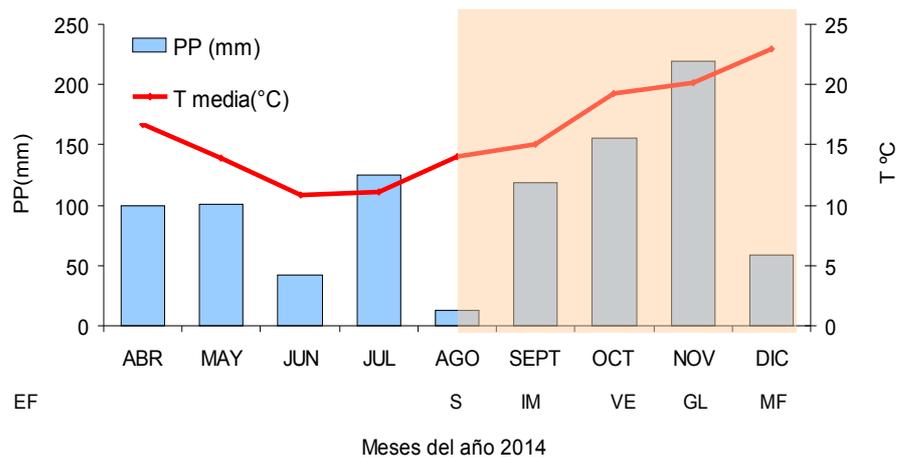


Figura 16. Datos climáticos durante el cultivo de trigo. PP: Precipitaciones (mm); T: Temperatura promedio (°C), EF: Estadio Fenológico; DDS: Días después de la Siembra; IM: Inicio de Macollaje; VE: Vaina Engrosada; GL: Grano Lechoso y MF: Madurez Fisiológica.

A partir de tres plantas tomadas al azar de cada parcela se determinó: Biomasa Total máxima que incluyó lámina, tallo, espigas completas y raíces (BTt), Biomasa de Raíces de 0-20 cm (BRt), Altura de plantas (Ht) e Índice de Área Foliar (IAFt). Los muestreos se realizaron periódicamente cada 15-30 días. Las plantas se separaron y cada fracción se secó independientemente hasta peso constante en estufa a 70 °C. El Área Foliar (AF) se determinó con el programa Iproplus.

El Rendimiento en grano de trigo (Rt) y el Peso de Mil Granos de trigo (PMGt), se determinaron a partir de la cosecha de una subparcela de 4 m² (2 m x 2 m) de superficie de cada parcela elemental. Al peso de los granos se le aplicó el factor 1,140 para expresar el R en base a la humedad comercial. Los datos se expresaron en kg ha⁻¹. Las espigas cosechadas de estas subparcelas, fueron trilladas manualmente.

4.2. CALIDAD INDUSTRIAL

4.2.a. Maíz

En cuanto a la calidad del grano de maíz se determinó Materia Grasa o contenido de aceite en grano y el porcentaje de Proteína Bruta. Las mismas se llevaron a cabo en la Cámara Arbitral de la Bolsa de Cereales (CABC).

-La determinación de la Materia Grasa (MG) se realizó por el Método BUTT según especificaciones en AOCS (1996). Este método determina la MG por extracción con solvente a partir de muestra limpia. Se utilizó un Equipo extractor Butt (según especificación AOCS Aa4-38), con calentamiento eléctrico asegurando goteo constante de 150 gotas min⁻¹ de solvente a usar. El procedimiento consistió en homogeneizar y pesar aproximadamente 30 g de muestra libre de cuerpos extraños obtenida por cuarteo, molido con el molinillo de cuchilla horizontal, de manera tal que no menos de 99 % pase a través de una zaranda que posea orificios circulares 2 mm de diámetro. Posteriormente se homogeneizó la muestra y se pesaron 5 g +/- 0,01 g del material molido, incluido el máximo de 1 % sobre zaranda. Se pasó a una hoja de papel de filtro, se determinó la humedad de la muestra y se colocó el cartucho en el extractor Butt, con un matraz previamente tarado. Luego se agregaron aproximadamente 50 mL de hexano normal y se extrajo durante el tiempo indicado, según el grano. Finalizada la extracción,

se evaporó hasta que la mayor parte del solvente sea eliminado y se llevó a estufa con circulación forzada, a 130 °C durante 1 h. Se dejó enfriar a temperatura ambiente, se pesó y se realizó el cálculo según:

$$MG \% = \frac{P - T}{M} * 100 = (P - T) * 20$$

Siendo:

M G %: Porcentaje de materia grasa sobre sustancia húmeda y limpia.

P: Peso del matraz más materia grasa.

T: Tara del matraz.

M: Peso de la muestra molida 5 g.

Para obtener el porcentaje de materia grasa sobre sustancia seca y limpia se aplica la siguiente fórmula:

$$M.G. \% \text{ s.s.s.} = \frac{100 * MG \%}{100 - H \%}$$

Siendo:

MG % s.s.s.: Porcentaje de materia grasa sobre sustancia seca y limpia.

M G %: Porcentaje de materia grasa sobre sustancia húmeda y limpia.

H %: Porcentaje de humedad de referencia sobre sustancia limpia y molida.

El MG se expresó al décimo, las determinaciones se efectuaron por duplicado y el promedio no debe diferir en más de 1 % de los valores parciales obtenidos. Para determinar la humedad de referencia se homogeneizó y se pesó 10 g +/- 0,01 g de muestra molida, en cápsulas de aluminio previamente taradas; inmediatamente después de efectuar la pesada para la extracción de la materia grasa, se llevó a estufa a 105 °C +/- 2 °C durante el tiempo indicado según el grano, se retiró de la estufa, se tapó inmediatamente, se dejó enfriar en un desecador hasta temperatura ambiente y finalmente se pesó. El porcentaje de humedad se expresó al décimo, las determinaciones deben efectuarse por duplicado y el promedio no debe diferir en más de 2 % con respecto a los valores parciales obtenidos.

-La Proteína Bruta de maíz (PBm) se midió por el método de Kjeldahl que determina la materia nitrogenada total, incluyendo no proteínas y proteínas verdaderas (Aurand *et al.*, 1987). El método se basa en la determinación de la cantidad de N orgánico

contenido en productos alimentarios. Se incluye la descomposición de la MO bajo calentamiento en presencia de ácido sulfúrico concentrado y el posterior registro de la cantidad de amoníaco obtenida. Durante el proceso de descomposición ocurre la deshidratación y carbonización de la MO combinada con la oxidación de C a CO₂. El N orgánico es transformado a amoníaco que se retiene en la disolución como sulfato de amonio. La recuperación del N y velocidad del proceso pueden incrementarse agregando sales (sulfato de potasio) u oxidantes (peróxido de hidrógeno, tetracloruro, persulfatos o ácido crómico) y por la adición de un catalizador (Nollet, 1996), Kjeldahl consta de las siguientes etapas:



b) Destilación



c) Titulación



En la mezcla de digestión se incluye sulfato sódico para aumentar el punto de ebullición y un catalizador para acelerar la reacción, tal como sulfato de cobre. El amoníaco en el destilado se retiene o bien por un ácido normalizado y se valora por retroceso, o en ácido bórico y valora directamente. El método Kjeldahl no determina, todas las formas de N a menos que se modifiquen adecuadamente; esto incluye nitratos y nitritos (Pearson, 1993). Para convertir N a proteína se empleó el factor de 6,25 el cual proviene de la consideración de que la mayoría de las proteínas tienen una cantidad aproximada de 16 % de N.

$$\text{Factor} = \frac{100 \text{ g proteína}}{100 \text{ g de N}} = 6,25$$

En cada alimento se emplea un factor distinto para la conversión de N a proteína, Según Nielsen (1998) en trigo el factor empleado es 5,33 mientras que para maíz es de 5,65.

4.2.b. Trigo

En cuanto a la calidad del grano entero de trigo se midió el porcentaje de Proteína Bruta en base seca, el contenido de Humedad y la fuerza. Sobre el grano molido de trigo se

determinó el contenido de gluten como Gluten Húmedo, la actividad amilásica o falling number y el contenido de Cenizas Totales.

-Con el equipo INFRANEO de la empresa CHOPIN Technologies (Figura 17) se estimó Humedad (Ht), fuerza (W) y contenido de Proteína Bruta (PBt). Es un analizador de infrarrojos de granos enteros, harinas, salvado y otros productos pulverulentos, que permite la memorización de los análisis y puede determinar múltiples parámetros (gluten, proteína, humedad, aceite, cenizas). Es un equipo preciso, que permite el análisis en transmitancia y presenta buena repetibilidad (sin influencia del operador en el resultado), garantizando resultados homogéneos gracias a la excelente transferibilidad de las calibraciones. Además, es de simple manipulación ya que no requiere preparación previa de la muestra y tiene selección automática de la célula de medición de acuerdo con el producto que se va a analizar. El analizador Infraneo está equipado con un monocromador de red, acoplado a la tecnología SAM para el autoajuste. Tiene una amplia variedad de calibraciones incluidas, es de simple utilización, permite análisis rápidos, de interfaz multilingüe, célula de medida autoadaptable según el producto a analizar (trigo, maíz, colza, harina, etc.), y protección contra el polvo y humedad. Posee un sistema integrado de limpieza, sin efecto de la temperatura sobre los resultados. Tiene conexión remota que permite el diagnóstico, la actualización, la lectura y recogida de los resultados, adición de calibraciones, control de parámetros de regulación. Puede integrarse en una red de analizadores NIR (normalización). En cada puesta en funcionamiento, el aparato realiza un diagnóstico y, si es necesario, un ajuste automático del monocromador y del detector.

-La H^t es importante para determinar la calidad de un lote de trigo, ya que es clave tanto para la conservación como para la comercialización. Un alto contenido de humedad siempre atenta contra la calidad, e incluso puede ser un factor de rechazo.

-La W expresa la fuerza de la harina o su valor panadero, tiene importancia en la compra de mercadería y aparece en los precios ofrecidos con menor frecuencia. Los trigos de gran fuerza (valores de W superiores a 280 mJ) son aptos para producir harinas especiales utilizados para panificados que soportan una gran carga de ingredientes. Los valores más corrientes de W oscilan entre 130 – 450. La unidad de medición es el mJ (unidades de Fuerza J.10⁴).

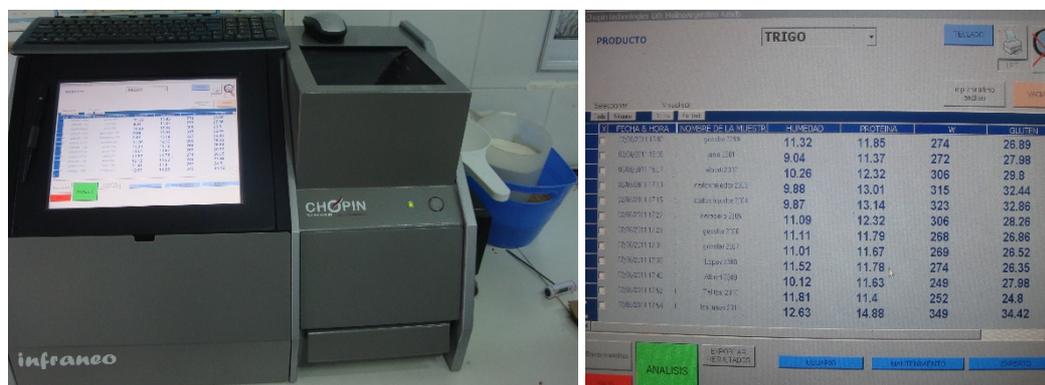


Figura 17. Infranco de CHOPIN.

-El gluten es una sustancia gomosa de color blanco amarillento que se obtiene lavando la masa mediante una corriente de agua, quedando sólo las proteínas insolubles (gliadinas y gluteninas) para formar el gluten. En la panificación, el gluten es el que retiene a los gases que se desprenden durante la fermentación que produce la levadura, da coherencia y aglutina las células de almidón. El porcentual de gluten se determinó mediante el equipo Glutomatic. El gluten se midió como gluten húmedo (GH) y el resultado se expresó en porcentaje (%). Se determinó a partir del análisis de harina de trigo, con un equipo Perten Instruments Sistema Glutomatic 2200 (Figura 18). Para la molienda se utilizó un molino CHOPIN presente en el molino Argentino (Open Door). El procedimiento consistió en pesar 10 g de harina, luego se agregaron 4,9 mL de agua destilada y se dejó amasando en el equipo durante 30 s y luego lavando durante 8 min. Posteriormente, el material obtenido se colocó en una centrífuga para eliminar el resto de agua y se pesó para calcular el porcentaje de gluten. El equipo posee un analizador de gluten método oficial: sistema de doble cámara y una centrífuga 2015 con control de velocidad de alta precisión y cierre de seguridad. Se incluyen dos tamices de ensayo para la determinación del gluten Index. En el procedimiento analítico, primero se forma una masa con harina y una cantidad preestablecida de agua. Esta masa se lava con una corriente de agua o una solución salina diluida. Durante este lavado se separa de la masa el almidón y otros componentes solubles en agua (polisacáridos, minerales, y proteínas no formadoras de gluten, principalmente). Al finalizar el lavado, queda una masa muy elástica formada por las proteínas formadoras de gluten más el agua que dichas proteínas retienen, que es casi el doble del peso de la proteína. A esta masa se le llama GH. El valor está relacionado con el contenido de proteínas y, para que el gluten se forme, la proteína debe mantener sus propiedades funcionales.



Figura 18. Equipo Perten Glutomatic 2200.

-La actividad de la enzima alfa amilasa se determina en forma indirecta a través del índice de caída utilizando el almidón de la muestra como sustrato. El método se basa en la rápida gelatinización de una suspensión del producto molido, colocado a baño maría a ebullición y la medición del tiempo en segundos de la licuefacción del almidón contenido en la muestra por la acción de la alfa-amilasa (Seguezzo & Molfese, 2006). La FN se determinó por el falling number. El “índice de caída” o “número de caída” o Falling Number es una estimación del contenido de alfa-amilasa, basándose en una viscosimetría de un gel formado por el almidón del trigo (Hagberg, 1960). Básicamente, se pesaron alrededor de 7 g de harina y se suspendió en agua en forma estandarizada en un tubo de ensayo específico. De inmediato, se introdujo un émbolo que cumple la función de agitador y se sumergió en el baño del equipo a 100 °C. Automáticamente, se activó un agitador que sube y baja el émbolo, formando primero una suspensión homogénea y luego un gel. A los 60 s, el agitador se detuvo de tal forma que el émbolo queda en la parte superior del gel, y lo dejó caer. El equipo determina el tiempo que transcurre desde que se inicia la agitación hasta que el émbolo cae determinada distancia. Cuando existe un alto contenido de actividad alfa-amilásica, la misma actúa sobre el almidón y el gel es débil dando un FN bajo, ya que el émbolo cae rápidamente. Para la determinación de FN en esta tesis, se utilizó el equipo Perten, el modelo FN 1500 (Figura 19).



Figura 19. Equipo para determinar el Falling Number: Pertern FN 1500.

-El trigo posee un CT que se determina por la incineración de la MO está constituido por fosfatos de potasio, calcio y magnesio. No se distribuye uniformemente en el grano el endosperma puede contener 0,3 %, el salvado hasta 6 %. Su contenido está influenciado por el ambiente (Seguezzo & Molfese, 2006). Las CT se determinaron con el método gravimétrico siguiendo el A.O.A.C. (2005). La determinación en seco es el método más común para cuantificar la totalidad de minerales en alimentos y se basa en la descomposición de la MO, quedando solamente materia inorgánica en la muestra, determinada por cenizas solubles en agua, insolubles y solubles en medio ácido. En este método, toda la MO se oxida en ausencia de flama a una temperatura que fluctúa entre los 550-600 °C; el material inorgánico que no se volatiliza a esta temperatura se conoce como ceniza (Nollet, 1996). Las cenizas de un alimento son un término analítico equivalente al residuo inorgánico que queda después de calcinar la materia orgánica. Las cenizas, normalmente no son las mismas sustancias inorgánicas presentes en el alimento original, debido a las pérdidas por volatilización o a las interacciones químicas entre los constituyentes. La determinación de cenizas es un método sencillo para conocer la calidad de ciertos alimentos. Las cenizas de los alimentos deberán estar comprendidas entre ciertos valores, lo cual facilitará en parte su identificación. El procedimiento fue el siguiente: se colocó el crisol limpio y seco por una hora en una mufla a 550 +/- 25 °C. Se llevó a un desecador hasta enfriar y posteriormente se pesó en balanza analítica hasta peso constante registrando como C1. Se pesaron entre 2-5 g de la muestra de trigo previamente tamizada por 1000 μ y homogeneizada, se registró como C2. La muestra se precalcinó en mechero o plancha, evitando que se inflame y luego se colocó en la mufla a 550 +/- 25 °C hasta obtener cenizas blancas o grisáceas. Se

preenfrió con la mufla apagada y luego se colocó en el crisol y en la desecadora hasta enfriar. Por último, se pesó y registró como C3 (A.O.A.C. 2005). La CT del producto expresada en porcentaje es igual a:

$$\% \text{ CT} = \frac{\text{C3-C1}}{\text{C2-C1}} \cdot 100$$

Donde:

C1: masa del crisol vacío en g.

C2: masa del crisol con la muestra en g.

C3: masa del crisol con las cenizas en g.

5. RESULTADOS

5.1. PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO

5.1.a. Maíz

El efecto del sistema de labranza generó diferentes respuestas en la BTm, BAm y BRm a lo largo del ciclo del cultivo. Al estudiar el comportamiento de la BTm, esta se incrementó hasta R6, independientemente del sistema de labranza. Sólo se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos en VE, V3 y V5, donde los valores bajo LC resultaron superiores respecto a SD. Si bien no hubo diferencias en VT y R3 se observó una tendencia a favor de LC, la cual desapareció hacia la madurez. Cuando se analizó el comportamiento de la BAm se encontraron diferencias entre tratamientos en V3, V5 y R3, mostrando una tendencia a favor de LC respecto SD en el resto de los estadios. Al estudiar la BRm sólo se detectaron diferencias estadísticamente significativas en VE y V5. El valor máximo bajo LC se observó en R3, y bajo SD se observó en etapas más avanzadas del ciclo fenológico (Tabla 14).

Tabla 14. Evolución de la materia seca particionada de maíz según tratamiento y fecha de muestreo en tn ha^{-1} .

	0DDS	13DDS	22DDS	43DDS	73DDS	93 DDS	121DDS
	23/10/13	05/11/13	14/11/13	05/12/13	03/01/14	23/01/14	20/02/14
EF	SIEMBRA	VE	V3	V5	VT	R3	R6
BTm							
LC		0,04a	0,06a	0,69a	4,40a	14,69a	16,51a
SD		0,00b	0,02b	0,14b	2,89a	9,42a	15,99a
BAm							
LC		0,02a	0,03a	0,53a	3,14a	12,24a	14,63a
SD		0,00a	0,01b	0,10b	1,55a	7,37b	13,53a
BRm							
LC		0,02a	0,03a	0,16a	1,26a	2,44a	1,89a
SD		0,00b	0,01a	0,03b	1,33a	2,06a	2,46a

LC: Labranza Convencional; SD: Siembra Directa; EF: Estadio Fenológico según la escala Ritchie y Hanway (1982), DDS: Días Después de la Siembra; BTm: Biomasa Total de maíz, BAm: Biomasa Aérea de maíz y BRm: Biomasa Raíz en maíz, VE: Emergencia; V3: Estadio de tres hojas; V5: Estadio de cinco hojas; VT: Panojamiento; R3: Grano Lechoso y R6: Madurez Fisiológica, Letras diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos según Tukey ($p < 0,05$).

Al estudiar el comportamiento de Hm, la misma creció hasta R6 independientemente del sistema de labranza. Las diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre

sistemas de labranza se observaron en VE, V3, VT y R3 a favor de LC respecto de SD, a partir de R6, las diferencias desaparecen (Figura 20).

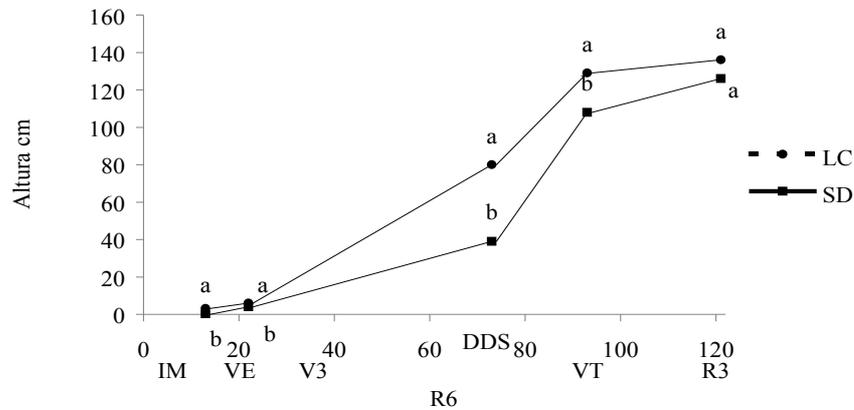


Figura 20. Evolución de la altura de plantas de maíz según tratamiento y fecha de muestreo. LC: Labranza Convencional; SD: Siembra Directa; EF: Estadio Fenológico; DDS: Días Después de la Siembra; VE: Emergencia; V3: Estadio de tres hojas; VT: Panojamiento; R3: Grano Lechoso y R6: Madurez Fisiológica. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según Tukey ($p < 0,05$).

Por otro lado, los dos sistemas de labranza analizados, presentaron el mismo patrón de evolución del IAFm con un máximo de 3,07 para LC y 2,44 para SD en R3. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre sistemas de labranza desde VE hasta R3 a favor de LC respecto de SD, pero a partir de R6 la diferencia desapareció (Figura 21).

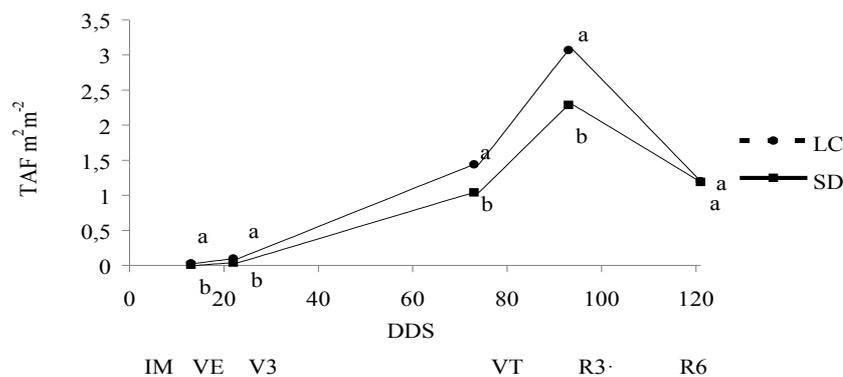


Figura 21. Evolución del Índice de Área Foliar en maíz (IAFm) a lo largo del ciclo del cultivo según sistema de labranza y fecha de muestreo. LC: Labranza Convencional; SD: Siembra Directa; EF: Estadios fenológicos; DDS: Días Después de la Siembra; IM: Implantación; VE: Emergencia; V3: Estadio de tres hojas; V5: Estadio de cinco hojas; VT: Panojamiento; R3: Grano Lechoso y R6: Madurez Fisiológica. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según Tukey ($p < 0,05$).

Al estudiar el Rm se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre sistemas de labranza con mayores valores bajo LC respecto de SD (Figura 22). Sin

embargo, al analizar el PMGt no se encontraron diferencias significativas entre labranzas, pero sí se observó una tendencia positiva a favor de LC (Figura 23).

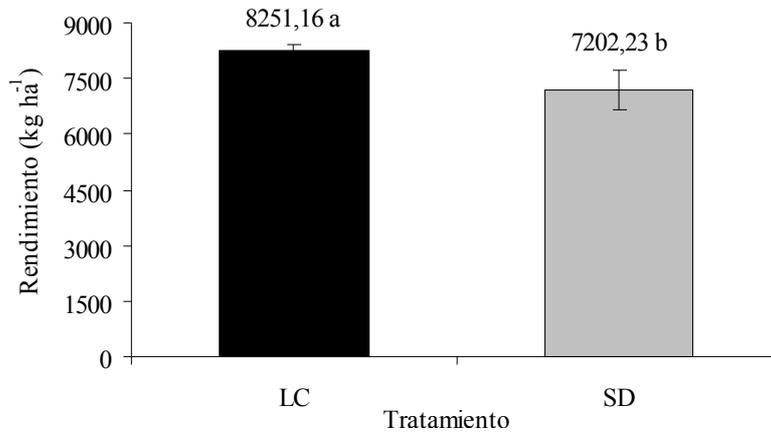


Figura 22. Rendimiento en grano de maíz (Rm) para cada sistema de labranza. LC: Labranza Convencional; SD: Siembra Directa. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos según Tukey ($p < 0,05$), Desvío estándar: LC: 162,76; SD: 985,07. Las líneas verticales por encima y por debajo de cada barra representan el desvío estándar de la media.

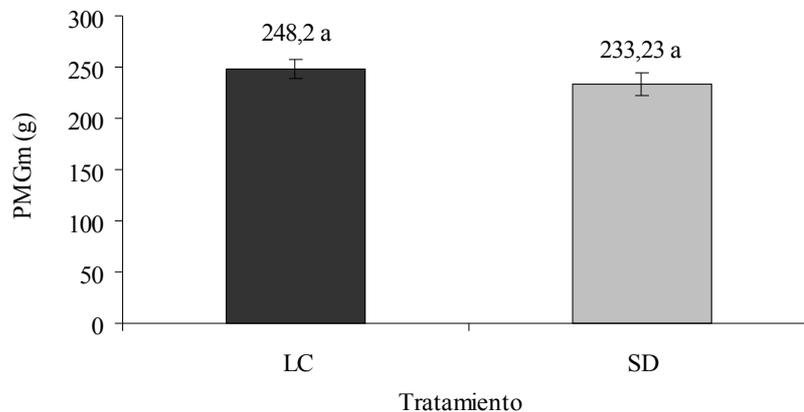


Figura 23. Peso de Mil Granos de maíz (PMGm) para cada sistema de labranza. LC: Labranza Convencional; SD: Siembra Directa. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según Tukey ($p < 0,05$). Desvío estándar: LC: 9,70; SD: 10,51. Las líneas verticales por encima y por debajo de cada barra representan el desvío estándar de la media.

5.1.b. Trigo

Al estudiar el comportamiento de la BTt, esta se incrementó hasta los GL y decayó hacia MF, independientemente del sistema de labranza. Sólo se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre sistemas de labranza en GL y MF a favor de LC, pero sí se observó una tendencia a favor de LC para IM y VE. Al estudiar el BAt sólo se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre sistemas de labranza en VE y GL a favor de LC, pero sí se observó una tendencia a favor de LC para IM y MF. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre sistemas de labranza en

BRT pero sí se observó una tendencia a favor de LC respecto de SD durante todo el ciclo del cultivo (Tabla 15).

Tabla 15. Evolución de la materia seca particionada de trigo según tratamiento y fecha de muestreo.

	0DDS	24DDS	69DDS	96DDS	120DDS
EF	19/08/14 SIEMBRA	12/09/14 IM	28/10/14 VE	25/11/14 GL	18/12/14 MF
BTt tn ha⁻¹					
LC		0,10 a	2,18 a	5,59 a	5,07 a
SD		0,09 a	1,79 a	4,58 b	3,82 b
BAt tn ha⁻¹					
LC		0,08 a	1,49 a	5,07 a	4,35 a
SD		0,06 a	1,08 b	4,26 b	3,60 a
BRT tn ha⁻¹					
LC		0,02 a	0,51 a	0,53 a	0,44 a
SD		0,03 a	0,38 a	0,43 a	0,37 a

BTt: Biomasa Total de trigo; BA: Biomasa Aérea de trigo; BRt: Biomasa de Raíces de trigo; LC: Labranza Convencional; SD: Siembra Directa; EF: Estadio Fenológico; DDS: Días después de la Siembra; IM: Inicio de Macollaje; VE: Vaina Engrosada; GL: Grano Lechoso y MF: Madurez Fisiológica. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos según Tukey ($p < 0,05$).

Al estudiar la Ht, esta crece hasta GL y luego se mantiene constante. La Ht presentó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre sistemas de labranza sólo en VE a favor de LC respecto de SD, sin embargo puede observarse una tendencia a favor de LC respecto de SD, cuyos valores se igualan hacia MF (Figura 24).

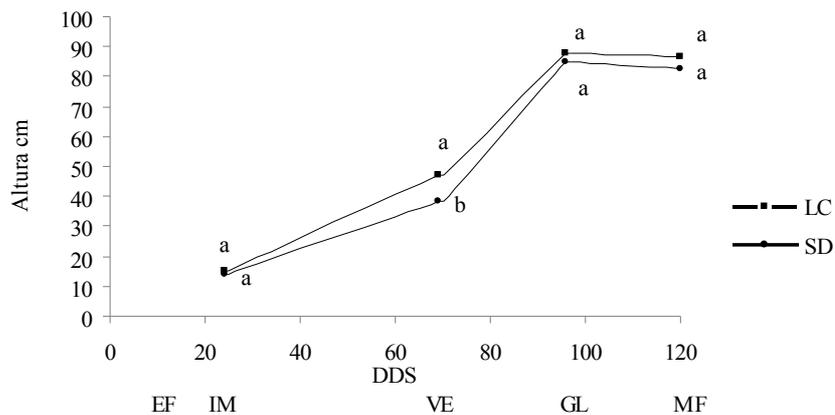


Figura 24. Evolución de la altura de plantas de trigo según tratamiento y fecha de muestreo. LC: Labranza Convencional; SD: Siembra Directa; EF: Estadio Fenológico, DDS: Días Después de la Siembra; IM: Inicio de Macollaje; VE: Vaina Engrosada; GL: Grano Lechoso y MF: Madurez Fisiológica. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según Tukey ($p < 0,05$). Las líneas verticales por encima y por debajo de cada punto representan el desvío estándar de la media.

Al estudiar el IAFt bajo los dos sistemas de labranza analizados, las plantas presentaron el mismo patrón de evolución del IAF, descrito por una función cuadrática negativa con máximo alrededor de los 69 DDS, entre el estadio de VE y llenado de grano (Figura 25). Sólo se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre sistemas de labranza en IM y VE donde LC resultó superior respecto de SD. El IAF máximo en LC fue de 5,17 y en SD de 3,72.

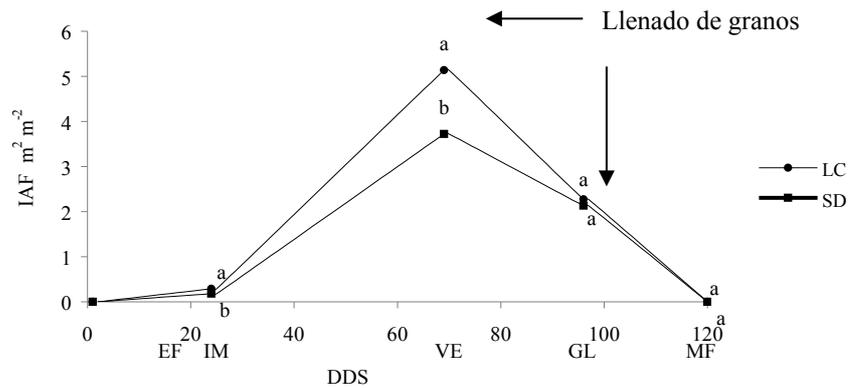


Figura 25. Evolución del Índice de Área Foliar de trigo (IAFt) durante el ciclo del cultivo según sistema de labranza y fecha de muestreo. LC: Labranza Convencional; SD: Siembra Directa; EF: Estadios fenológicos, DDS: Días Después de la Siembra; IM: Inicio de Macollaje; VE: Vaina Engrosada; GL: Grano Lechoso y MF: Madurez Fisiológica. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según Tukey ($p < 0,05$). Las líneas verticales por encima y por debajo de cada punto representan el desvío estándar de la media.

Al estudiar el Rt se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre sistemas de labranza, resultando 30 % superior bajo LC respecto de SD (Figura 26).

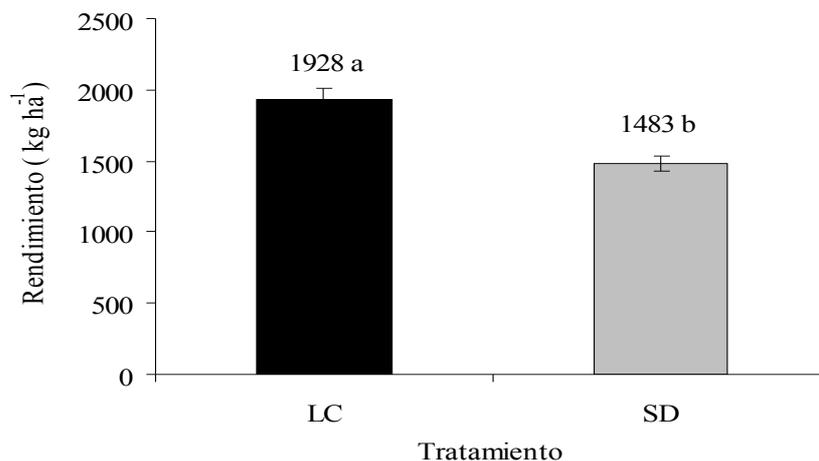


Figura 26. Rendimiento en grano de trigo (Rt) para cada sistema de labranza. LC: Labranza Convencional; SD: Siembra Directa. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según Tukey ($p < 0,05$), Desvío estándar: LC: 87,69 y SD: 55,15. Las líneas verticales por encima y por debajo de cada barra representan el desvío estándar de la media.

Asimismo, al analizar el PMGt se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre sistemas de labranza a favor de LC respecto de la LC (Figura 27).

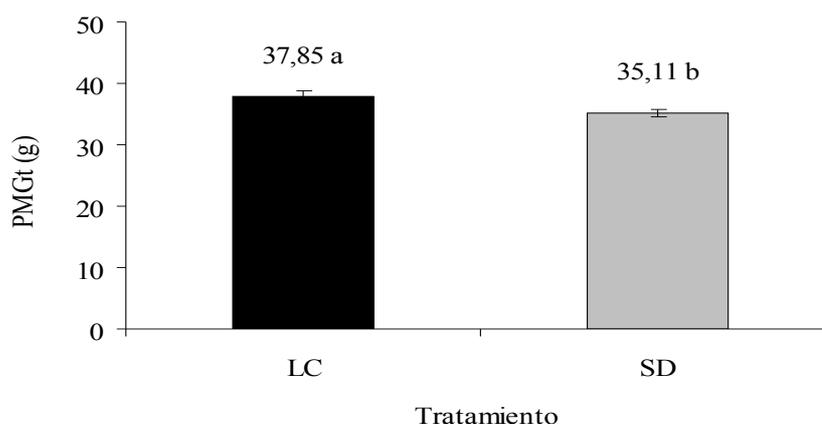


Figura 27. Peso de Mil Granos de trigo (PMGt) para cada sistema de labranza. LC: Labranza Convencional y SD: Siembra Directa. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos según Tukey ($p < 0,05$), Desvío estándar: LC: 1,01 y SD: 0,54. Las líneas verticales por encima y por debajo de cada barra representan el desvío estándar de la media.

5.2. CALIDAD INDUSTRIAL DEL CULTIVO

5.2.a. Maíz

Al analizar las variables de calidad de grano en maíz no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre sistemas de labranzas para ninguna de la variables analizadas (Tabla 16).

Tabla 16. Parámetros de calidad de maíz.

Tratamiento	PBt (%)	MG (%)
LC	9,75a	6,87a
Desvío estándar	0,73	0,14
SD	9,14a	6,88a
Desvío estándar	1,05	0,10

LC: Labranza Convencional; SD: Siembra Directa; PBt: Proteína Bruta; MG: Materia Grasa, Ambos parámetros expresados en porcentual en base seca. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según Tukey ($p < 0,05$). Valores expresados en base seca.

5.2.b. Trigo

Al estudiar la variables de calidad en trigo sólo se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en GH (Tabla 17) a favor de LC respecto de.

Tabla 17. Parámetros de calidad de trigo.

Tratamiento	PBt (%)	FN (s)	GH (%)	W (mJ)	CT (%)
LC	11,21a	562a	21,37a	231a	1,83a
Desvío Estándar	0,15	14,34	0,47	11,27	0,08
SD	11,63a	558a	19,77a	245a	1,77a
Desvío Estándar	0,50	11,79	0,21	22,02	0,03

LC: Labranza Convencional; SD: Siembra Directa; PBt: Proteína Bruta en base seca; FN: Falling Number; GH: Gluten Húmedo; W: Trabajo de deformación; CT: Cenizas Totales. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según Tukey ($p < 0,05$). Valores expresado en base seca.

6. DISCUSIÓN

5.1. PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO

El sistema de labranza generó diferentes respuestas en la BT, BA y BR a lo largo del ciclo del cultivo en ambos cultivos. Esto se debe al efecto que tiene el sistema de labranza sobre la partición de los fotoasimilados a los distintos órganos de la planta (Gregory *et al.*, 2004). En este sentido, la productividad de un cultivo comienza a definirse desde el inicio del ciclo de producción comercial, y es afectada por factores propios del genotipo, dependientes del ambiente, y de las condiciones de manejo (Poorter *et al.*, 2014; Körner, 2015). Estos factores ejercen sus efectos a través de cambios en la diferenciación y expansión de órganos, en la captación de recursos por parte de ellos y en la distribución de esos recursos entre los distintos órganos de la planta, generando cambios en la acumulación de biomasa entre las distintas partes de esta (Di Benedetto & Tognetti, 2016).

Materia seca y altura de plantas

Al estudiar la materia seca como BT, BA y BR, en ambos cultivos, los mismos resultaron superiores o presentaron una tendencia a favor de LC respecto de SD según el momento de muestreo. Al analizar el comportamiento de la BT, esta se incrementó hasta un punto cercano a la floración o llenado de grano y decayó hacia MF, independientemente del sistema de labranza y del cultivo. Se encontró mayor valor de BTm y BAm en R6 (Tabla 14) y de BTt y BAAt en GL (Tabla 15). La biomasa seca acumulada de una planta (u órgano) se incrementa inicialmente a una tasa exponencial, más tarde lo hace linealmente y finalmente crece a una tasa decreciente hasta alcanzar un nivel máximo, lo que se asemeja a una curva sigmoidea (Poorter, 2002). Durante los primeros estadios, el crecimiento suele tener una dinámica de acumulación de biomasa exponencial y suele reflejar diferencias significativas entre especies y dentro de estas frente a variaciones en la oferta agroclimática o cultural del establecimiento productor (Di Benedetto & Tognetti, 2016). Estos resultados se deben a que al llegar a la madurez fisiológica los granos alcanzan su máximo tamaño y el cultivo generalmente no tiene más tejidos verdes, pues se observa que las hojas senescieron y los tallos y espigas

amarillearon. De allí en adelante lo único que ocurre es la pérdida de agua de los granos hasta cosecha (Slafer *et al.*, 2003). Además, un incremento del área foliar aumenta la intercepción de luz y esto, a su vez, resulta en un aumento de materia seca pero sólo hasta el punto donde se encuentre el índice de área foliar óptimo (Soto *et al.*, 2009).

Los valores superiores de BTm bajo LC respecto a SD en VE, V3 y V5 y de BAm en V3, V5 y R3 (Tabla 14) coinciden con los informados por varios autores (Tawainga *et al.*, 2002; Jeffrey & Randall, 2004; López *et al.*, 2010), quienes informaron que los mayores rendimientos de forraje verde los encontraron en LC respecto a la labranza reducida y SD. Esta diferencia entre sistemas de labranza desaparece hacia la madurez. En este sentido, bajo LC el maíz tiene mayor velocidad de crecimiento inicial que bajo SD. El período de madurez de los cultivos tiende a atrasarse en SD, posiblemente por la mayor disponibilidad de humedad (Galantini & Keine, 2013). Asimismo, bajo SD se retrasa la acumulación de materia seca respecto de la LC, probablemente debido a menores temperaturas al inicio del cultivo (Barrios, 2011). Se debe tener en cuenta que la tasa de desarrollo de los cultivos está relacionada con la temperatura (Miller & Brandt, 2001). Las menores temperaturas del suelo bajo SD tienden a retrasar la germinación, emergencia, y crecimiento temprano de los cultivos. Además, el laboreo y la cobertura del suelo por residuos afecta la tasa y el patrón de desarrollo, la morfología y el tamaño de los sistemas radiculares (Barber, 1971).

El estudiar BTt la tendencia encontrada a favor de LC para el resto de los estadios tiene su justificación en lo reportado para maíz. Asimismo, estos resultados coinciden con algunos autores quienes encontraron en tratamientos con escasa remoción del suelo una disminución en la producción de BTt (González-Montaner & Di Nápoli, 1998). Golik (2009) en su tesis y Bouza *et al.* (2018) también encontraron que la BAt resultó superior en LC respecto de la SD. Una mayor cantidad de biomasa acumulada cercana a floración determina un mayor peso de espigas y un mayor número de granos (Slafer *et al.*, 2003). El aumento de la biomasa vegetal se realiza a partir del área foliar expandida como fuente de producción de fotoasimilados (Cookson *et al.*, 2005) dado que el IAF es menor bajo SD a esto podría atribuírsele en parte los valores de BT en ambos cultivos.

La BR, la profundidad hasta la que pueden llegar las raíces en su exploración del suelo, son importantes en la dinámica de los ecosistemas, en el ciclo hidrológico, del carbono y

el de los nutrientes (Ibáñez, 2006). La BR crece hasta un punto máximo y luego decrece hacia la madurez independientemente del sistema de labranza. Al estudiar la distribución de biomasa aérea y de raíces en gramíneas forrajeras hasta los 60 DDS se observa los asimilados se derivan hacia la raíz para asegurar el establecimiento de la planta, sobre todo ante limitaciones edáficas y de competencia por nutrientes y agua, y al final del establecimiento del cultivo la mayor cantidad de recursos fotosintéticos se destina a la producción de hojas que al crecimiento de tallos y raíces (Guevara & Guenni, 2004). En maíz, cuyos valores resultaron superiores bajo LC en VE y V5, este punto se alcanzó en R3, sin embargo, bajo SD el valor máximo se observó en etapas más avanzadas del ciclo fenológico (Tabla 14). La SD, muchas veces, dificulta la correcta ubicación de la semilla, un apropiado cierre del entresurco, demora la emergencia de la plántula, retrasa el macollaje y reduce el R debido a las menores temperaturas del suelo (Weisz & Bowman, 1999). Por otro lado, en trigo no hubo diferencias entre sistemas de labranza pero sí una tendencia a favor de LC respecto de SD, alcanzando el máximo en GL (Tabla 15). Esto confirma que la materia seca radical de los cereales, raramente se incrementa después de floración y hasta puede decrecer, pues los asimilados son requeridos principalmente para llenar los granos en crecimiento, dejando poca cantidad para las raíces dependiendo de las condiciones del suelo (Gregory *et al.*, 2004). Por otro lado, el efecto que tuvo la SD incrementando la Dap, incrementando la Imp, disminuyendo la capacidad de aireación total y el Kh del suelo (Sasal *et al.*, 2006; Álvarez & Steinbach, 2009) afectaron la densidad radical y en consecuencia el R. Es ampliamente reconocido que la compactación afecta la disponibilidad de aire y agua para las plantas y el crecimiento y desarrollo radicular como (Baver *et al.*, 1973) comprometiendo al sistema poroso y generando una densificación (Lattanzi *et al.*, 2004). Cuando la Dap aumenta, se incrementa la compactación, afectando la retención de agua y limitando a su vez el crecimiento de las raíces (Salamanca & Sadeguián, 2004), con efectos negativos sobre los nutrientes (Kirkegaard *et al.*, 1994). En general, la compactación del suelo limita el crecimiento de las raíces (Bejarano *et al.*, 2010), la misma origina una barrera o impedimento mecánico para su penetración, disminuyendo con ello su capacidad de exploración y extracción de agua y nutrientes (Alameda & Villar, 2012). El crecimiento y desarrollo de los cultivos y el R final están estrechamente relacionados con la distribución de raíces, la cual determina la absorción y el uso del agua y los nutrimentos del suelo (Callejas-Rodríguez *et al.*, 2011).

Al estudiar la Hm esta creció hasta R6 independientemente del sistema de labranza y luego se mantuvo estable. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas a favor de LC respecto de SD desde la emergencia hasta R3, sin embargo estas diferencias desaparecen hacia la madurez del cultivo (Figura 20). Asimismo, al analizar la Ht, esta crece hasta GL independientemente del sistema de labranza y luego se mantiene constante hasta la madurez, mostrando diferencias entre sistemas de labranza sólo en VE a favor de LC respecto de SD, a pesar de observarse una tendencia a favor de LC respecto de SD (Figura 24). Los valores superiores de H observados en ambos cultivos a favor de LC señalan una mayor velocidad de crecimiento inicial bajo este sistema, ventaja que desaparece hacia MF, coincidiendo con lo descrito por Barrios (2011). Este menor crecimiento inicial bajo SD se debe a que la presencia de una importante cubierta vegetal disminuye la cantidad de radiación absorbida, porque la cobertura impide recibir la radiación directa. Los residuos más claros reducen la temperatura del suelo en los primeros centímetros del perfil, lo cual puede impedir la emergencia y crecimiento (Morandini *et al.*, 2009; Digonzelli *et al.*, 2011). Si el agua y los nutrientes no son limitantes en el crecimiento de un cultivo la radiación solar es el recurso principal que determina su productividad, en este sentido la producción de biomasa tiene relación con la cantidad de radiación interceptada y con el área foliar (Albino-Garduño *et al.*, 2015). Este menor crecimiento inicial y fallas de nacimiento bajo SD en trigo ha sido reportado por varios autores (Chidichimo & Asborn, 2000), lo que podría estar asociado al endurecimiento superficial del suelo (Taboada, 1998) o al efecto del sistema de labranza sobre la temperatura edáfica. Al modificar la cubierta vegetal, varía el coeficiente de reflexión que influye en la entrada y salida de energía calórica de la superficie del suelo. Asimismo, al modificar propiedades físicas del suelo, como el contenido de humedad también se modifica la temperatura edáfica (Peltzer, 1999). La radiación recibida por el suelo bajo SD en las primeras etapas del cultivo es menor que la recibida en LC debido a la cubierta de residuos, fundamentalmente al principio del ciclo. Cuando el cultivo incrementa suficientemente su área foliar, ya no tiene tanto efecto el rastrojo en superficie (Ferrerías *et al.*, 1999). A mayor radiación recibida corresponde mayor diferencia de temperatura entre los tratamientos, siendo LC el tratamiento que presentó los valores superiores. En este sentido, la cubierta del suelo por el rastrojo al momento de la siembra modifica el balance de radiación del mismo, limitando el aumento de su temperatura (Gupta *et al.*, 1983; Schneider & Gupta, 1985). Esto retarda el crecimiento y desarrollo inicial principalmente de los cultivos de verano,

reduciendo el número de plantas logradas, que se verá reflejado en la reducción del R. Al avanzar la estación de crecimiento, las temperaturas se incrementan y las diferencias entre tratamientos decrecen pues las condiciones de temperatura no son tan extremas (Ferrerías *et al.*, 1999). Los rastrojos impiden que los rayos del sol caigan directamente sobre la superficie, lo cual reduce la evaporación, pues el suelo permanece un poco más frío que el suelo descubierto (Schneider & Gupta, 1985). Menor amplitud térmica en el suelo bajo SD fue documentada por Kirkegaard *et al.* (1994), quienes atribuyen la regulación de la temperatura del suelo a la presencia de residuos vegetales y al mayor contenido de humedad. Esto pudo deberse a menor evaporación del agua dada por la cobertura vegetal y a una menor transpiración del cultivo como consecuencia de la diferencia en el crecimiento vegetativo del mismo (Bergh *et al.*, 1995). Por otro lado, algunos autores como Miravalles *et al.* (2013) no encontraron diferencias en la materia seca ni en Ht entre sistemas de labranza.

La producción de materia seca de un cultivo está estrechamente vinculada con el aprovechamiento de la radiación solar incidente, de la capacidad del canopeo para interceptarla y la eficiencia del cultivo para transformarla (Andrade *et al.*, 1996). En este sentido, la intercepción de la radiación solar incidente que asegura las máximas tasas de crecimiento del cultivo y se encuentra cuando el IAF aumenta hasta alcanzar el nivel crítico o máximo, que permite captar el 95 % de la radiación incidente (Gardner *et al.*, 1985), esto se da como consecuencia de que las hojas inferiores comienzan a ser sombreadas y su contribución fotosintética es menor que su respiración (Fieze *et al.*, 1991; Andrade, 1995). Bajo los dos sistemas de labranza, las plantas presentaron el mismo patrón de evolución del IAF, descrito por una función cuadrática negativa con un máximo que luego decae hacia la madurez. Sin embargo, los valores resultaron superiores en LC respecto de SD, igualándose hacia la madurez.

Estas diferencias podrían ser consecuencia del estrés al que está sometido el sistema radical por la compactación del suelo, dado que algunos autores observaron en soja que la elongación foliar disminuye cuando se restringe el crecimiento de las raíces (Krizek *et al.*, 1985). Asimismo, dada la estrecha relación entre la producción de materia seca y la radiación interceptada, este menor IAF encontrado bajo SD podría deberse a que los valores de BT, BA y BR resultaron superiores bajo LC. En maíz, la temperatura modula

la germinación de la semilla y la diferenciación foliar en el ápice de crecimiento, y de lo visto con anterioridad surge los menores valores de temperatura bajo SD.

El IAF máximo en maíz fue de 3,07 para LC y 2,44 para SD en R3 (Figura 21). Coincidiendo con Andrade (1995) el IAF máximo en maíz se produce antes y durante la floración. Los valores encontrados en este trabajo, son levemente menores a los detallados por la bibliografía, quienes afirman que un cultivo con un IAF igual o mayor a cuatro asegura una máxima captura de radiación y en conjunto con una adecuada provisión de agua y nutrientes, una eficiente transformación de esa radiación en materia seca (Valentinuz, 2014; Eyhérbide, 2015). Asimismo, algunos autores obtuvieron un máximo Rm con un IAF de 3,5 y de 4,5 cuando la disponibilidad de N es adecuada (Núñez & Kamprath, 1969). En contraposición, otros autores encontraron valores óptimos de IAF en maíz en valores cercanos a 5 (Yoshida, 1972) o mayores (Camacho *et al.*, 1995). En este sentido, el Rm depende de factores medioambientales, de la propia planta y de su interrelación. La distribución del área foliar y la radiación dentro del dosel de la planta están relacionados con el proceso fotosintético. Un dosel de plantas que reciben la mayor proporción de energía radiante incidente tendrá mayor eficiencia fotosintética (Wall & Kanemasu, 1990), donde el IAF es un importante parámetro biofísico para analizar la cantidad de radiación fotosintéticamente absorbida. Un aumento en el IAF proporciona aumento de producción de biomasa y mayores R, lo que podría estar justificando las diferencias en biomasa y R encontradas bajo dos sistemas de labranza contrastantes.

El comportamiento del IAF en trigo bajo los dos sistemas de labranza fue similar el encontrado para maíz con un máximo entre el estadio de VE y llenado de grano (Figura 25). En trigo el IAF crítico se alcanza antes y durante la floración (Andrade, 1995), cercano al estado de bota o VE (Millares *et al.*, 2014) al igual que lo encontrado en este trabajo. Asimismo, coincidiendo con Barrios, (2011) el IAF máximo se registró previo a que se produjera el máximo valor de BA_t y para luego disminuir drásticamente. El IAF máximo en LC fue de 5,17 y en SD de 3,72. En la bibliografía se encuentran valores diversos de IAF_t dependiendo del cultivar utilizado y del manejo (Inzunza-Ibarra *et al.*, 2010; Carretero, 2011). Estos valores resultaron similares a lo reportado para trigo pan por Barrios, (2011) en un ensayo de labranza bajo suelos y climas de características similares, para SD (3,3) pero menores a los encontrados en LC (7,0). Por otro lado, al

comparar con valores de IAF máximo en trigo candeal, los valores encontrados en este trabajo se ubicaron entre 3,5 y 5,4 valor reportado en España (Royo *et al.*, 2004), superiores a 3,0 valor reportado en Italia (Albrizio & Steduto, 2005) y menores 9,0 en un experimento en la Estación Experimental Antumapu, Chile (Garrido-Salinas, 2012). Por otro lado, Kara & Mujdeci (2010) trabajando con trigo harinero en Turquía informaron IAF máximos medios de 9. Independiente del hecho que el trigo pan tenga un rendimiento potencial mayor que el del candeal (Koppel & Ingver, 2008), es claro que la generación de IAF está fuertemente ligada al medio ambiente que define el largo de ciclo del cultivo, y por ende el potencial de generación de IAF.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que valores inferiores al IAF crítico determinan una disminución de la radiación interceptada, reduciendo la tasa de crecimiento del cultivo y el R en grano (Bodrero *et al.*, 1997).

Rendimiento

Las variaciones en los R pueden explicarse a partir de efectos del ambiente, el genotipo y su interacción. Las propiedades físicas y químicas del suelo en interacción con las variables climáticas como la radiación, la temperatura y el contenido hídrico determinan diferentes ambientes de cultivo (Bacigaluppo *et al.*, 2009). Muchas propiedades edáficas son responsables de los R obtenidos por el cultivo. Estas propiedades se encuentran altamente correlacionadas, por ello es necesario evaluarlas estadísticamente de forma simultánea para establecer aquellas que mejoran el R (Landriscini *et al.*, 2015). El R_t depende del clima y las propiedades edáficas (Galantini *et al.*, 2004).

La sequía o los patógenos pueden disminuir el área fotosintética y así reducir el R. El llenado de los granos se produce cuando las temperaturas y la evapotranspiración comienzan a aumentar, reduciendo el agua disponible en el suelo. La actividad fotosintética disminuye marcadamente en respuesta al estrés hídrico (Muller & Whitsitt, 1996). El R_t depende del número de granos (NG) y el peso individual de granos (PGi), que se van generando a lo largo del ciclo del cultivo de forma secuencial. Para mejorar el R se requiere aumentar alguno de estos componentes sin que ningún otro disminuya y en general, depende de NG y no de PGi. El NG comienza establecerse desde las primeras etapas del desarrollo y depende del número de plantas establecidas por m^2 ,

macollos por planta, espigas por planta, espiguillas por espiga y granos por espiguilla, elementos que pueden ser modificados por el sistema de labranza dada los menores IAF encontrados bajo SD como así también, menores temperaturas y cantidad de plantas establecidas en este sistema. En la determinación del NG también interviene la tasa de crecimiento de la espiga, la partición a espiga o el coeficiente de fertilidad de espiga. La relación entre el PGi y las condiciones de crecimiento preantesis afectan el desarrollo de los carpelos florales y postantesis comienza la etapa de llenado de los granos, en donde se determina el PGi de los mismos. A diferencia del NG, el PGi es definido en una etapa más acotada en el tiempo, que comprende desde floración hasta madurez fisiológica, recibiendo fotoasimilados principalmente desde hoja bandera pero actualmente contribuyen los tallos en preantesis y la fotosíntesis de la espiga (Maydup, 2013).

Al estudiar el Rm, este resultó superior bajo LC en 15 % respecto de SD (Figura 22). Existen opiniones encontradas acerca del efecto que tiene el sistema de labranza sobre el R de los cultivos. Algunos autores, coincidiendo con estos resultados, encontraron que el Rm se reduce bajo SD al compararlo con LC (Echeverría & Sainz-Rozas, 2001; Silva & Acevedo, 2005). Los mayores Rm bajo LC también fueron reportados por Pagani *et al.* (2009) en ensayos realizados en Balcarce en un Argiudol típico con valores entre 8.000 y 12.000 kg ha⁻¹. En otros casos, algunos autores encontraron un Rm mayor en condiciones de labranza de conservación sobre LC (Cabrera, 1990; Santacruz-Cáceres *et al.*, 2006; Báez & Aguirre-Medina, 2011) y otros observaron que el sistema de labranza no alteró el desarrollo del cultivo de maíz (Wyngaard, 2010). A su vez, los resultado pueden ser variables entre años, por ejemplo, Bravo & Andreu (1995) encontraron mayor Rm en LC en el primer año y, en los dos años siguientes, aun cuando las diferencias no fueron significativas, la SD registró los valores más altos de Rm.

Por otro lado, al estudiar el Rt, este resultó 30 % superior en LC respecto de SD (Figura 26), similar comportamiento a lo encontrado en Rm. En la mayoría de los casos, los autores coinciden en encontrar valores superiores de Rt bajo LC respecto a SD (Golik, 2009; Morris *et al.*, 2010; Barrios, 2011; Barrios *et al.*, 2014b; Bouza *et al.*, 2018) y justifican este comportamiento en la mayor compactación detallada anteriormente para el caso de maíz. Resultados diferentes presentó Rohlmann (2007), quien observó mayores Rt en tratamientos exclusivamente bajo SD frente a otros con algún tipo de remoción. Otros encontraron que Rt bajo LC y SD no difirieron entre sí en un suelo

Haplustol éntico (Miravalles *et al.*, 2013) y, en el SE bonaerense, al comparar los Rt entre sistemas de labranza, se encontró que estos son iguales o menores bajo SD (Lázaro *et al.*, 2004).

En general, las variables físicas como la Dap y la Imp son propiedades que podrían estar justificando las diferencias encontradas en los R en función del sistema de labranza. Los sistemas con escasa remoción del suelo no alcanzan el R de la LC debido a una restricción del crecimiento de raíces y tallo como consecuencia de una mayor compactación o endurecimiento superficial (Balbuena *et al.*, 1996). A estos reportes, Álvarez & Steinbach (2009), analizando los resultados de 35 ensayos en la región pampeana, agregaron que el R de soja no es modificado por el sistema de labranza mientras que el Rt y Rm son superiores bajo LC. La reducción del volumen del espacio poroso debido a la compactación se asocia a cambios en la estructura del suelo, al incremento de las tensiones, a la reducción de la Kh (Rodríguez-González *et al.*, 2015), afectando la disponibilidad de aire y agua para las plantas (Baver *et al.*, 1973) ya que compromete al sistema poroso. La compactación del suelo influye en el R de los cultivos.

En relación con el manejo de los residuos de cosecha, algunos estudios indican que la adición o remoción de los mismos tiene un efecto variable sobre el Rm (Blanco-Canqui & Lal, 2008). En regiones templadas, como las de este trabajo, se determinó que grandes cantidades de residuos genera menores temperaturas del suelo, que resultan bajas para la germinación y mayor incidencia de malezas y plagas que se mantienen permanentemente debajo de esta cobertura.

En maíz se encontró una asociación positiva entre R y MO del suelo (Domínguez *et al.*, 2006). En este trabajo, si bien Cmasa fue superior bajo SD respecto de LC, el efecto de la compactación que impacta sobre las raíces en este sistema resultó ser más importante para definir las variables de productividad del cultivo. Cuando la Dap aumenta, se incrementa la compactación, afectando la retención de agua y limitando a su vez el crecimiento de las raíces (Salamanca & Sadeguián, 2004), con efectos negativos sobre los nutrientes (Kirkegaard *et al.*, 1994). Además, la SD, muchas veces, dificulta la correcta ubicación de la semilla, un apropiado cierre del entresurco, demorando la emergencia de la plántula, retrasando el macollaje y reduciendo el R (Weisz &

Bowman, 1999). La compactación del suelo provoca la disminución de la macroporosidad e influye en el R de los cultivos, limitando el crecimiento de las raíces, originando un impedimento mecánico para su penetración, disminuyendo su capacidad de exploración y extracción de agua y nutrientes (Rodríguez-González *et al.*, 2015). Esto se evidenció con los menores valores de BR encontrados bajo SD en ambos cultivos.

El comportamiento del R también es dependiente de las condiciones hídricas. Rizzalli (1998) reportó mayores R_m en SD bajo condiciones de sequía. La mayor acumulación de agua en suelos con cobertura de rastrojos está relacionada con la disminución de la evaporación (Chagas *et al.*, 1994). No obstante esta influencia positiva, la SD puede reducir en los primeros años de su implementación los R de los cultivos, por una menor disponibilidad de N como consecuencia de una menor mineralización de los residuos orgánicos y por mayor compactación del suelo que afectarían el crecimiento y absorción de nutrientes y agua por las raíces (Fabrizzi, 2000). Por su parte López-Bellido *et al.*, (2001) en un estudio que se extendió por espacio de tres años en el sur de España, determinaron que los R_t fueron más altos bajo SD en el año más seco, y bajo LC en el más húmedo, no observándose diferencias entre ambos sistemas el año que exhibió características intermedias entre los otros dos. Asimismo, en un experimento realizado con trigo fideo en Italia, De Vita *et al.* (2007) concluyeron que los R_t fueron más altos en SD cuando las lluvias durante el período de crecimiento del cultivo estuvieron por debajo de los 300 mm, en tanto que valores superiores a ese registro favorecieron a la LC. Bajo SD la menor evaporación de agua desde el suelo asociada a la cobertura de residuos determinó un mayor contenido de la misma en el suelo, especialmente en estaciones secas, lo que pudo ser la causa de los mayores rendimientos respecto de la LC (López-Bellido *et al.*, 1996).

No obstante esto, al analizar el comportamiento del R en función del contenido hídrico del suelo, en zonas de secano o durante un año seco, si se presenta un déficit hídrico durante el período crítico del cultivo, bajo SD se puede obtener mejor R y PMG respecto a LC (García-Préchac, 1991; Barrios *et al.*, 2006; Miravalles *et al.*, 2013) debido a que los vegetales en superficie disminuyen el escurrimiento, bajando la temperatura y permitiendo mayor acumulación de agua de lluvia en el suelo (Blasón *et al.*, 2006). Sin embargo, como la SD genera un sistema poroso con mayor habilidad

para captar el agua de lluvia, cuando no existente deficiencia de agua como lo ocurrido en este trabajo, la SD pierde su ventaja frente a la LC y el R resulta mayor bajo este sistema (Barrios, 2011).

Durante el período de barbecho (del 31/05/2013 a 23/10/2013) previo a la implantación del cultivo de maíz el suelo tuvo una recarga donde llovieron 248 mm. En maíz, para alcanzar un buen Rm el consumo de agua se ubica entre 400 y 700 mm (Doorenbos & Pruitt, 1977), otros puntualizaron valores promedios de 550 mm (Andrade *et al.*, 1996). Considerando ambos valores, las precipitaciones registradas en este trabajo a lo largo del ciclo del cultivo fueron las adecuadas, pues alcanzaron valores de 787,84 mm. El maíz es muy sensible al déficit hídrico, debido a su acotado período crítico en momentos de alta demanda atmosférica (Sadras & Calviño, 2001). El Rm se torna dependiente de la disponibilidad hídrica en un período crítico que se extiende desde 15 días antes hasta 15 días después de floración (Uhart & Andrade, 1995). Este período ocurrió entre VT y R3 y abarcó entre diciembre y enero donde el cultivo recibió 330 mm de precipitaciones. Por otro lado, durante el período de barbecho (del 11/03/2014 a 19/08/2014) previo a la implantación del cultivo de trigo el suelo tuvo una recarga mayor que en maíz, donde llovieron 460,26 mm. En trigo, para alcanzar un buen Rt se requieren de 450 a 650 mm durante el ciclo de cultivo (Ruiz-Corral *et al.*, 2013.) En este ensayo las precipitaciones registradas a lo largo del ciclo se ubicaron dentro de este rango pues se acumularon 542,28 mm. El período crítico para la determinación del Rt se ubica entre 20 días prefloración y 10 post-floración y es de suma importancia para la generación del número de granos (Fischer, 1985). Este período ocurrió entre VE y GL y abarcó todo el mes de noviembre donde el cultivo recibió 219,45 mm de precipitaciones. El registro de precipitaciones correspondientes al año 2013/2014 fue de 925 mm y 2014/2015 fue de 1500 mm valores que igualan o superan la media anual para la zona que es de 1019,8 mm (Anexos). Estos datos de precipitación se incorporaron a la discusión para una mejor interpretación de las variables implicadas.

Peso de mil granos

Al analizar el PMGm no se encontraron diferencias entre sistemas de labranza, pero sí se observó una tendencia a favor de LC (Figura 23). Por otro lado, al analizar el PMGt se encontraron diferencias entre sistemas de labranza a favor de LC respecto de SD (Figura

27). Algunos autores encontraron que de todos los componentes del rendimiento el PMGt fue el que más varió en respuesta a los tratamientos de labranza (Batalla, 2004; Miravalles *et al.*, 2013) otros no encontraron diferencias en PMGt entre sistemas de labranza (Sempé & Chidichimo, 2004; Golik, 2009).

Al incrementarse la superficie fotosintética se incrementa el peso de granos por espiga y el R, por lo que el mayor IAF encontrado bajo LC podría estar justificando los mayores valores R encontrados bajo este sistema (Andrade *et al.*, 1996; Hernández-Córdova *et al.*, 2015). Si se da una alta frecuencia de temperaturas subóptimas, como en las siembras tempranas, se dificulta el logro de emergencias uniformes y favorecen la jerarquización de individuos desde etapas tempranas del ciclo (Padilla & Otegui, 2005) con consecuencias posteriores negativas sobre la determinación del número de granos y el R (Tollenaar *et al.*, 2006). Es frecuente observar una notable reducción en el peso de los granos asociada con los menores niveles de radiación y temperatura durante el llenado de granos, condiciones menos favorables para la producción de asimilados en la planta (Maddonni *et al.*, 1999).

Como en cualquier otro cultivo, Rm está determinado por la definición secuencial de cada uno de los componentes numéricos. El número de plantas por hectárea, el número de espigas por planta y el número de granos por espiga son componentes que garantizan el máximo número de granos por unidad de área, el componente que más fuertemente se asocia con R. Durante el período crítico para la determinación del R la tasa de crecimiento del cultivo debe ser alta a fin de maximizar el suministro de asimilados hacia los granos, lo que depende de cada planta individual para capturar y usar los recursos (radiación, agua y nutrientes). Un cultivo con un IAF igual o mayor a cuatro asegura una máxima captura de radiación y en conjunto con una adecuada provisión de agua y nutrientes, una eficiente transformación de esa radiación en materia seca (Valentinuz, 2014).

5.2. CALIDAD INDUSTRIAL DEL CULTIVO

Al analizar las variables de calidad de grano no se encontraron diferencias entre sistemas de labranza en maíz (Tabla 16). La calidad aplicada al maíz es una propiedad multifacética y está determinada por diversos factores. Modificando el cultivar, las

prácticas culturales, de manejo y de transporte poscosecha, se puede cambiar el nivel de calidad del grano (Robutti, 2004).

La calidad de la materia prima del grano de maíz, define la calidad de los productos y subproductos obtenidos en la industria de la transformación. Por consiguiente, aquellas variedades de maíz cuyos granos sobresalen por el contenido y/o calidad del almidón, PB o MG facilitan una mejor transformación en ingredientes y productos útiles aportando mayor valor agregado al cultivo (Corcuera *et al.*, 2016).

- *Materia Grasa (MG)*

La MG o aceite del grano de maíz es un componente menor del grano que se encuentra sobre todo en el germen y representa comúnmente entre el 3-5 % (Corn Refiners Association, 2006; Orhum & Korkut, 2011) pudiendo alcanzar valores de 18 % en el caso de híbridos alto aceite (Sánchez-Ortega, 2014). El mismo, tiene un bajo nivel de ácidos grasos saturados (11 % de ácido palmítico, 2 % de ácido esteárico), alto nivel de ácidos grasos poliinsaturados (61 % de linoleico, 25 % de ácido oleico y 1 % de ácido linolénico (Sprague & Dudley, 1988). La ILSI (2006) ubican el rango mundial entre 1,7 a 5,6 % mientras que en Argentina oscilan entre 2,7 a 5,6 %. MAIZAR reportó que MG en híbridos de maíz comerciales muestreados en la Zona Maicera Tradicional y sudeste de la provincia de Buenos Aires (campana 2004/05) está comprendido dentro del intervalo de 3,9 a 6,2 % y Corcuera *et al.*, (2016) analizando varios híbridos en ensayos de INTA Castelar encontraron valores entre 4,4 y 7,7 %. Los valores encontrados en este trabajo pueden ser considerados normales dentro de los valores detallados por la bibliografía. El PMGm está relacionado con el MG (Abirami *et al.*, 2007; Torres-Morales *et al.*, 2010), lo que implica granos más pesados con mayor porcentaje de germen que es donde se encuentra el aceite (Dudley & Lambert, 1992; Weber, 1991). De esto se deduce, que al no encontrarse diferencias significativas en el PMGm, para este trabajo, es consecuente no encontrar diferencias en MG entre los dos sistemas de labranza estudiados. Asimismo, la MG permanece constante en un amplio rango de condiciones ambientales, eso ocurre porque la relación germen/grano y MG son bastante estables, siendo sólo afectadas por un estrés muy marcado como una fuerte reducción de radiación incidente al comienzo del llenado o un estrés térmico (Tanaka & Maddonni, 2009; Izquierdo & Cirilo, 2013).

Sin embargo, al estudiar el comportamiento de MG según el sistema de labranza diversos autores han encontrado respuestas diferentes. Zamir *et al.* (2013), hallaron valores máximos de MG de 5,82 % bajo LC superando a SD, pero Cociu & Alionte (2011) observaron que bajo SD se obtuvo mayor MG que empleando vertedera o arado de discos.

- *Proteína bruta de maíz (PBm)*

Respecto a la PBm los contenidos promedios se ubican en un rango entre 8 y 10 % y por mejoramiento puede alcanzar valores de 25 % (Eyhérbide, 2015). La ILSI Argentina (2006) para materiales cultivados en nuestro país ubica el valor promedio de PBm en 9,5 %. MAIZAR para híbridos convencionales producidos en Argentina señala un valor de 11,5 % y por último, Corcuera *et al.* (2016) encontró valores normales en torno a 9,6 y 13,2 % según la técnica de análisis. En este sentido los valores hallados en este trabajo se ubican entre los valores normales descriptos por la bibliografía.

La ausencia de diferencia estadísticamente significativas entre tratamientos podría deberse a la ausencia de diferencias en Ntot ya que incrementos en el N genera aumentos en el PB (Rafiq *et al.*, 2010). Durante la etapa de llenado de granos las condiciones predisponentes pueden modificar el contenido de almidón y PB (Borrás *et al.*, 2002). Particularmente, la disponibilidad de N en el suelo es esencial para la síntesis proteica (Echeverría & Sainz-Rozas, 2005) afectando la concentración de las proteínas de reserva o zeínas (Singletary *et al.*, 1990) y al no encontrarse diferencias en Ntot entre tratamientos tampoco se manifiesta en el PB lo que podría estar justificando la ausencia de diferencia entre tratamientos encontrada. La calidad proteica depende principalmente del genotipo. En cambio, la cantidad total depende tanto del genotipo como de factores ambientales y de manejo (Eyhérbide, 2015). Sin embargo, algunos autores han encontrado diferentes comportamientos en MG al trabajar con sistemas de labranza. En este sentido, Zamir *et al.* (2013) en un ensayo de maíz en Pakistán con distintos sistemas de labranza (SD, LC, subsolado, etc., con y sin mulch), encontraron que el menor valor de PB (8,12 %) se encontró en LC, con diferencias significativas a favor de SD. Otros autores encontraron comportamientos similares en PB bajo LC (Temperly & Borges, 2005). Sin embargo, Vita *et al.* (2007) y Andrija *et al.* (2009) reportaron que

bajo LC se obtuvieron valores mayores de PB que bajo SD como la tendencia encontrada en este trabajo.

Por otro lado, al analizar los parámetros de calidad de grano y harina de trigo tampoco se encontraron diferencias (Tabla 17). En forma general esto coincide con Woźniak & Gontarz (2011) quienes indican que la calidad del grano de trigo se ve poco afectada por el sistema de labranza. Por su parte, Debaeke *et al.* (1996) demostraron que la labranza reducida tuvo un impacto negativo en PB y la calidad del grano. Según De Vita *et al.* (2007), la calidad del grano de trigo depende del sistema de labranza y condiciones del hábitat, donde LC afecta positivamente la calidad del grano bajo mayores precipitaciones y SD en las regiones de bajas precipitaciones. Peigne (2014) indica resultados similares en calidad de grano.

- *Gluten Húmedo (GH)*

Puntualmente al estudiar el GH, de la Hora *et al.* (2012) han informado valores normales de GH entre 28 % y 42 % al evaluar 7 cultivares en INTA Barrow. Por otro lado, Cuniberti *et al.* (2015) en la región central del país para la campaña 2015/16 encontró valores de 19,0 % a 21,4 % según la zona, valores similares a los encontrados en este trabajo independientemente del sistema de labranza. En este trabajo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas en GH entre los dos sistemas de labranza similar a lo descripto por Woźniak & Gos (2014); Tang *et al.* (2013) en estudios realizados en China y con Taner *et al.* (2015) en ensayos realizados en el Instituto Internacional de Investigación Agropecuaria en Turquía. El GH mantiene una estrecha relación con PB (Seguezzo & Molfese, 2006) lo que podría estar justificando debido a la ausencia de diferencias detalladas con anterioridad para la PB. Asimismo, en lo que concierne a los cambios en la calidad de trigo ante variaciones en el sistema de labranza se reportan resultados contradictorios, existiendo quienes señalan que los cultivares no son afectados diferencialmente por el sistema de labranza (Weisz & Bowman, 1999; Carr *et al.*, 2003; Golik, 2009), y quienes afirman por el contrario, que los mismos pueden diferir en su respuesta (Ciha, 1982; Hall & Cholick, 1989). Sin embargo, en este ensayo se observó una tendencia a favor de LC al estudiar el GH, lo que coincide con lo reportado por Woźniak & Stępniewska (2017) y Colecchia *et al.* (2015). En particular el GH, posee una gran variabilidad asociada al ambiente

(Cuniberti *et al.*, 2004). Por su parte, Di Fonzo *et al.* (2000) en un ensayo conducido en Italia por seis años consecutivos, determinaron amplias diferencias en los efectos que ejercen las labranzas sobre la calidad dependiendo de las características climáticas del año. Estos autores puntualizaron que la SD logra aventajar a la LC, sólo en aquellos años en los que la disponibilidad de agua hacia el final del ciclo es limitante, situación en la que la SD conduce a la obtención de granos más pesados, con más alto peso hectolítrico, mayor contenido proteico y mayor contenido de gluten. En este sentido, en este trabajo la disponibilidad hídrica para ambos cultivos no fue limitante.

- *Proteína Bruta de trigo (PBt)*

Los valores de PBt encontrados en este trabajo igualaron y superaron levemente el 11 %, los cuales son lo suficientemente altos como para lograr una bonificación según la norma de comercialización vigente en Argentina (Laborde-Gennari, 2018.). Por otra parte, Miravalles *et al.* (2013) en un ensayo en La Pampa encontró valores de 10 %, y Cuniberti *et al.* (2015) en la región central del país para la campaña 2015/16 encontró valores entre 9 % y 10 % los cuales fueron superados en este trabajo. Al igual que en los parámetros anteriores, el tipo de labranza tampoco influyó en el porcentaje de PB (Woźniak & Gos, 2014). La ausencia de diferencias entre sistemas de labranza encontrados en PBt coincide con lo reportado por Carr *et al.* (2003) en un suelo franco arenoso en *Great Plain* (EE.UU.); por Gürsoy *et al.* (2010); por Manso *et al.* (2014) en un ensayo de labranzas en Barrow; por Tang *et al.* (2013) en estudios realizados en China; por Taner *et al.* (2015) en ensayos realizados en el Instituto Internacional de Investigación Agropecuaria en la región central de Turquía y por Hurry *et al.*, (2016) en Polonia. La ausencia de diferencias podría estar justificado por los valores de N_{tot} muy similares en ambos sistemas de labranza (López-Bellido *et al.*, 1996). En este sentido, la relación entre el R y el PB depende de la disponibilidad de N (García & Reussi-Calvo, 2014). En situaciones de baja disponibilidad de N, el R_t aumenta con el agregado de este nutriente, mientras que los niveles de PB no se modifican o disminuyen; en situaciones de disponibilidad media, el agregado de N incrementa simultáneamente R y PB y frente a alta disponibilidad de N la fertilización con este nutriente provoca solamente un efecto sobre la concentración de PB (Reussi-Calvo *et al.*, 2006). La PB reportada en SD por algunos autores se explicó por el menor contenido de N en el suelo bajo SD y el aumento del estrés hídrico que también se asocia a con una mayor PB (De

Vita *et al.*, 2007), situaciones que no se han dado en este trabajo. Al comparar diferentes cultivares de un mismo grupo de calidad habitualmente se encuentra una relación negativa entre el R y PB (Garnero, 2012). El efecto de la SD sobre Rt depende del tipo de suelo o las condiciones climáticas, mientras que sólo hay un impacto menor en la calidad del trigo (Colecchia *et al.*, 2015).

Sin embargo, las evidencias experimentales sobre la calidad del trigo en función de la labranza del suelo son contrastantes. Di Fonzo *et al.* (2001) y De Vita *et al.* (2007) en el sur de Italia encontraron mayor PB en SD. En contraste, en el sur de España de secano, López-Bellido *et al.* (2001) informaron mayor PB bajo LC, lo mismo que Sempé & Chidichimo (2004) y Colecchia *et al.*, (2015). Además, en otro estudio, la PB disminuyó ligeramente bajo SD en un suelo franco limoso en el sur de Alemania (Pringas & Koch, 2004).

- Fuerza de la masa (*W*)

Los análisis de reología de las masas, a través del *W* de alveograma, señalan que valores mayores a $300 \text{ J} \times 10^{-4}$ representa harinas mejorantes o de fuerza, valores entre 200 a $300 \text{ J} \times 10^{-4}$ representa harinas con media fuerza; valores entre 200 a $100 \text{ J} \times 10^{-4}$ representa harinas corrientes y por último valores menores a 100 representa harinas impanificables (Ciercoles, 2014), ubicando en harinas corrientes a las utilizadas en este trabajo. de la Hora *et al.* (2012) han detallado valores de *W* entre 300 y $536 \text{ J} \times 10^{-4}$ al evaluar 7 cultivares en INTA Barrow. Por otro lado, Cuniberti *et al.* (2015) en la región central del país para la campaña 2015/16 encontró valores de $169 \text{ J} \times 10^{-4}$ y $215 \text{ J} \times 10^{-4}$, valores más cercanos a los encontrados en este trabajo. El *W* no mostró diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Esto coincide con Hurry *et al.* (2016) en Polonia al analizar varias propiedades reológicas de la masa. Las características industriales de la masa, fuerza y extensibilidad derivadas del trigo harinero son determinadas parcialmente por la cantidad de PB (Park *et al.*, 2006), la presencia de variantes alélicas de gluteninas y gliadinas, y la relación glutenina/gliadina (Sissons, 2008). La PB es afectada por las condiciones del cultivo, mientras que los alelos de gluteninas y gliadinas y la relación glutenina/gliadina son determinadas por el genotipo (Triboi *et al.*, 2000). Asimismo, existe una relación positiva entre PB y *W* (Sokolowski *et al.*, 2018) dado que las proteínas de la harina de trigo, específicamente las proteínas

del gluten, le confieren a la masa una propiedad que la hace más elástica y extensible que soporta mayor W (de la Vega-Ruiz, 2009), por lo tanto es esperable encontrar una asociación positiva entre las mismas. En este sentido, dado que el genotipo es igual en ambos sistemas de labranza la ausencia de diferencias encontradas en este trabajo podría deberse a la no diferencia en PB entre SD o LC.

- *Actividad amilásica o Falling Number (FN)*

En la interpretación para panificación un FN menor a 150 segundos implica actividad alfa-amilásica elevada lo que indica la presencia de granos germinados y originará pan aplastado, con miga pegajosa, la masa será blanda, difícil de trabajar con máquina y con una corteza de color gris oscuro; entre 200-250 segundos la FN es normal y si los valores superan 300 indica baja actividad amilásica dará pan poco voluminoso y con masa seca, dura y compacta de corteza pálida y dificultad para la fermentación (Seguezzo & Molfese, 2006; Ciércoles, 2014). de la Hora *et al.* (2012) han detallado valores de FN entre 343 y 440 segundos al evaluar 7 cultivares en INTA Barrow y, Cuniberti *et al.* (2015) encontraron valores entre 353 y 386 s. Los valores de FN encontrados en este trabajo resultaron superiores a los reportados por estos autores. La calidad tecnológica del trigo puede sufrir modificaciones asociadas al tiempo de almacenamiento y a las condiciones imperantes en el silo: temperatura, humedad y concentración de oxígeno (Gras & O’Riordan, 1998), por lo que la actividad amilásica puede disminuir e incrementar entonces los tiempos en FN (Raza *et al.*, 2010). Los valores elevados de FN están indicando un menor a nula actividad de las amilasas. Durante el almacenamiento prolongado de harinas la actividad amilásica disminuye con un aumento en el valor de FN dependiendo de la temperatura de almacenamiento (Brandolini *et al.*, 2010; Zarzycki & Sobota, 2015), los análisis sobre las muestras de trigo en este trabajo se han realizado cerca de dos años después de la cosecha. Al estudiar el FN en este trabajo no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre sistemas de labranza. Esto coincide Bilalis *et al.* (2011) en Agrinio, Grecia, quienes no encontraron diferencias en FN; con Tang *et al.* (2013) en una rotación trigo-arroz en China al trabajar con distintos sistemas de labranza y con Hurry *et al.* (2016) en Polonia. Las amilasas son enzimas que descomponen los gránulos de almidón en dextrina y azúcares, las enzimas como tal son proteínas (Ramírez-Ramírez & Ayala-Aceves, 2014). En este sentido, las proteínas del grano dependen del contenido

de N en el suelo y para este trabajo al no variar Nt ni PB entre sistema de labranzas se traduce en la ausencia de diferencias en FN encontradas. Por otro lado, esta ausencia de diferencias entre tratamientos podría deberse a la correlación existente entre PB y FN (Ross *et al.*, 2012) por lo que es esperable similares comportamiento de ambos parámetros ante los dos sistemas de labranza.

- Cenizas Totales (CT)

La determinación de CT es una prueba muy conveniente para detectar la presencia de salvado de harina y es rutinario de control de la molienda para hacer frente a especificaciones particulares. La CT es un parámetro de interés para la industria molinera, ya que a menor valor se puede obtener mayor extracción de harina. de la Hora *et al.* (2012) han reportado valores de CT entre 0,4 y 0,7 % al evaluar 7 cultivares en INTA Barrow. Por otro lado, Cuniberti *et al.* (2015) en la región central del país para la campaña 2015/16 encontraron valores de 1,74 % y 1,82 %, lo que indica que valores de CT encontrados en este trabajo resultaron superiores a los reportados por estos autores. Por otro lado, valores normales para panes rondan el 1,7 % (Seguezzo & Molfese, 2006). Al analizar la CT tampoco se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. El contenido de minerales en el grano de trigo depende del cultivo específico, las condiciones suelo-climáticas, la fertilización mineral, los agroquímicos, el sistemas de labranza del suelo (Woźniak, 2010) y la clase y composición del suelo, así como el sitio de cultivo (Cubadda *et al.*, 1969). En este sentido, Park *et al.* (2015) encontraron mayor CT bajo LC, coincidiendo con la tendencia a favor de LC encontrada en este trabajo. Por otro lado, Woźniak & Makarski (2013) en 2008-2010 en Uhrusk, en la Granja Experimental de la Universidad de Ciencia y Vida (Lublin) y Kraska (2011) afirmaron mayor CT bajo SD. La CT están formadas por fosfatos de Ca y Mg y dependen del contenido de minerales del suelo (Woźniak & Makarski, 2013). Se conjetura entonces que al no encontrarse diferencias en Pext para los dos sistemas de labranza esto podría estar justificando la ausencia de diferencias en CT.

Dado que algunas variables medidas, tanto de suelo como de calidad de cultivo, no mostraron diferencias significativas entre los sistemas de labranza o presentaron sólo una tendencia sería interesante evaluar mayor cantidad de años pues a largo plazo

podrían expresarse estas diferencias. En este sentido, en este ensayo podrían no haberse expresado las diferencias aún, porque se partió de un suelo sin mucho disturbio, con poca historia de uso (elevado nivel de MO) y con un alto nivel de arcilla. En suelos más frágiles, las diferencias se expresan antes. Asimismo, podría trabajarse con las formas particuladas del C, el Ntot o el Pext del suelo pues suelen ser más sensibles a los cambios por el manejo. Por último, podrían realizarse correlaciones entre las propiedades del suelo y del cultivo para determinar la influencia de cada uno de ellos.

7. CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

De los resultados obtenidos, se acepta la primera hipótesis planteada para este capítulo. La productividad y el desarrollo de un cultivo de trigo y maíz, en una rotación de cultivos se ven afectada por el sistema de labranza (SD y LC).

Primeramente, al analizar los parámetros de desarrollo, la BT, la BA y la BR en ambos sistemas de labranza y en ambos cultivos estudiados crecen hasta un máximo y luego decaen. Asimismo, en las etapas tempranas del desarrollo la LC aventaja a la SD para luego igualarse hacia la madurez fisiológica. El IAF también crece hasta un máximo, cercano a floración o llenado de grano según el cultivo, independientemente del sistema de labranza y luego decae. En esta etapa de crecimiento inicial la LC supera a la SD. Asimismo, al estudiar la H esta crece hasta un punto, para maíz hasta R6 y en trigo hasta GL, independientemente del sistema de labranza y luego se mantiene constante. Hasta ese momento la LC supera a la SD.

Al analizar los parámetros de productividad, el sistema de labranza modifica el R de los cultivos de forma diferencial generando valores superiores bajo LC respecto de SD, y sólo afecta el PMG en el caso del trigo.

Se rechaza la segunda hipótesis que dice que calidad industrial de trigo y maíz, se ve afectada por el sistema de labranza, pues en este tiempo de estudio para este ensayo los diferentes sistemas de labranza no generaron diferencias en los parámetros de calidad ni en maíz (MG y PB) ni en trigo (PB, GH, FN, W, CT). Sólo se detecta una tendencia en el GH a favor de la LC.

CONCLUSIONES FINALES



- Varios años de agricultura continua generan un impacto diferencial sobre diversas propiedades que definen la calidad del suelo y el crecimiento y desarrollo de los cultivos.
- El ACP resulta ser una herramienta correcta para detectar la sensibilidad de diversas variables de suelo ante el sistema de labranza y permite agrupar las variables en dos grupos uno asociado a la SD y otro asociado a la LC.
- En un suelo Argiacuol vértico de Ezeiza, las propiedades físicas del suelo son afectadas, principalmente, en el primer nivel de profundidad. Donde se destaca una mayor Dap y Pagua bajo SD y una mayor Paire y Ptot bajo LC. Por otro lado, la propiedad química más destacada que se ve afectada por el sistema de labranza es el Cmasa. Asimismo, independientemente del sistema de labranza, del cultivo y del año el Pext decrece en profundidad y CE y pH no se ven afectados por los sistemas de labranza.
- La BT, BA, BR, IAF y H, en los primeros estadios del ciclo fenológico siempre la LC aventaja a la SD y próximo al estado reproductivo, independientemente del sistema de labranza y del cultivo, se igualan.
- El R, en maíz y en trigo, siempre resulta superior bajo LC respecto de SD.
- El sistema de labranza no afecta parámetros de calidad de cultivo bajo las condiciones de este trabajo.
- Los dos métodos de análisis estadísticos utilizados arribaron a los mismos resultados.

BIBLIOGRAFÍA



- Aapresid. 2012. Recuperado de http://www.aapresid.org.ar/wp-Content/uploads/2013/02/aapresid.Evolucion_superficie_sd_argentina.1977a2011.pdf.
- Abbate, P.E.; Gutheim, F.; Polidoro, O., Milisich, H.J. & Cuniberti, M. 2010. Fundamentos para la clasificación del trigo argentino por calidad: efectos del cultivar, la localidad, el año y sus interacciones. *Agriscientia*, XXVII: 1-9.
- Abirami, S.; Vanniarajan, C.; Arumugachamy, S. & Uma, D. 2007. Correlation and path coefficient analysis for morphological and biochemical traits in maize genotypes. *Plant Arch.* 7(1): 109–113.
- Abril, A.; Salas, P.; Lovera, E.; Kopp, S. & Casado-Murillo, N. 2005. Efecto acumulativo de la siembra directa sobre algunas características del suelo en la región semiárida central de Argentina. *Ciencia. Suelo* 23 (2) 179-188.
- Acevedo, D.C.; Álvarez-Sánchez, M.E.; Hernández-Acosta, E. & Maldonado-Torres, R. 2008. Variabilidad espacial de propiedades químicas del suelo y su uso en el diseño de experimentos. *TERRA LATINOAMERICANA* 26(4) 324.
- Acosta-Escobar, M.M. & Galárraga-Galárraga, O.A. 2011. Efecto de la siembra directa sobre el suelo, desarrollo y rendimiento de dos ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de nitrógeno. Informe del proyecto de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de ingenieros agropecuarios. Ecuador.
- Acumar. 2013. Mapa y el Informe de Delimitación Topográfica de la Cuenca Hidrográfica del Río Matanza Riachuelo. Resolución N° 1113/13. Anexo II. Fig 2 Pág. 10. Recuperado de <http://old.acumar.gov.ar/normativa/141/resolucion-111313>. Consultado el 24/12/18.
- Agostini, M.A.; Studdert, G.A. & Domínguez, G.A. 2010. Efecto de diferentes sistemas de labranza sobre algunas propiedades físicas en un suelo del Sudeste Bonaerense. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, Santa Fe.
- Aillapan-Aravena, A.G. 2012. Efecto del precultivo sobre el rendimiento y la calidad de trigo candeal (*Triticum turgidum ssp. durum*) en medio ambientes mediterráneos en condiciones de cero labranza. Tesis. Universidad Chile Escuela pregrado. 35 pp. Recuperado de http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/116061/aillapan_alvaro.pdf. Consultado 18/03/15.
- Aizen, M.A.; Garibaldi, L.A. & Dondo, M. 2009. Expansión de la soja y diversidad de la agricultura argentina. *Ecología Austral* 19: 45-54.

- Alameda, D. & Villar, R. 2012. Linking root traits to plant physiology and growth in *Fraxinus angustifolia* Vahl. Seedlings under soil compaction conditions, *Environ. Exp. Botany*, 79: 49–57.
- Albiero, D.; Da Silva-Maciel, A.J. & Tunussi, R.D. 2011. Características del suelo en respuesta al uso de la herramienta de labranza conservacionista paraplow rotatorio. *Agrociencia* 45: 147-156.
- Albrizio, R. & Steduto, P. 2005. Resource use efficiency of field-grown sunflower, sorghum, wheat and chickpea. Radiation use efficiency. *Agricultural and Forest Meteorology* 130: 254-268.
- Albino-Garduño, R.; Turrent-Fernández, A.; Cortés-Flores, J.I.; Livera-Muñoz, M. & Mendoza-Castillo, C.M. 2015. Distribución de raíces y de radiación solar en el dosel de maíz y frijol intercalados. *AGROCIENCIA* 49 (5): 513-531.
- Álvarez, R. & Álvarez, C.R. 2000. Soil Organic matter pools and their associations with carbon mineralization kinetics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 184-189.
- Álvarez, R. & Grigera, S. 2005. Analysis of soil fertility and fertilizer effects on wheat and corn yield in the Rolling Pampa of Argentina. *J. Agron. Crop. Sci.* 191: 321-329.
- Álvarez, C.R.; Taboada, M.A.; Bustingorri, C. & Gutiérrez, F.H. 2006. Descompactación de suelos en siembra directa: efectos sobre las propiedades físicas y el cultivo de maíz. *Cienc. Suelo (Argentina)* 24(1):1-10. ISSN 1850-2067.
- Álvarez, R. & Steinbach, H.S. 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. *Soil Till. Res.* 104:1-15.
- Álvarez, C.; Taboada, M.; Gutiérrez Boem, F.; Bono, A.; Fernández, P. & Prystupa, P. 2009. Topsoil properties as affected by tillage systems in the rolling pampa region of Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73: 1242-1250.
- Álvarez, C.R.; Taboada, M.A. & Perelman, S. 2012. Condición estructural superficial de los suelos bajo siembra directa: Caracterización y génesis. XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Ed. AACCS. Mar del Plata, Buenos Aires.
- Álvarez, C. 2013. Condición física de los suelos limosos bajo siembra directa: caracterización, génesis y su manejo. *Información Agronómica de Hispanoamérica (IAH)* 10:2-9.

- Alzueta, I.; Abeledo, L.G. & Miralles, D.J. 2008. Impacto de la fertilización nitrogenada y el momento de aplicación sobre la calidad comercial y reológica en trigo pan (*Triticum aestivum* L.). VII Congreso Nacional de Trigo, C9.
- Andrade, F.H. 1995. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. *Field Crops Res.* 41:1-12.
- Andrade, F.; Cirilo, A.; Uhart, U. & Ortegui, M. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Editorial La Barrosa. Buenos Aires.
- Andrade, F.H. & Sadras, V.O. 2000. Efectos de la sequía sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos. En: bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Eds. Andrade, F.H. & Sadras, V.O. EEA-INTA Balcarce, FCA-UNMP. Editorial Médica Panamericana S.A. 173-206 pp.
- Andraski, T.W. & Bundy, L.G. 2008. Corn residue and nitrogen source effects on nitrogen availability in no-till corn. *Agron. J.* 100:1274-1279.
- Andrija S.; Kvaternjak, I.; Kistic, I.; Birkas, M.; Marencic, D. & Orehovacki, V. 2009. Influence of tillage on soil properties, yields and protein content in grain of maize and soybean. *J. Environ. Protect. Eco.* 10(4): 1013-1031.
- A.O.C.S. Aa4-38. 1996. Instituto Argentino de Sanidad y Calidad Vegetal; sanidad vegetal; Resolución 159/96; Rectifícase la Resolución N° 1075/94 ex-SAGP en relación con el método para la determinación de materia grasa en oleaginosas.
- A.O.A.C. (Official Method of Analysis) 930.03. 2005. Manual Métodos de Análisis Físico-Químico de Alimentos, agua y suelos. Ministerio de salud. Instituto de Salud pública de Chile. 18th Edition. Cap 32. Pag. 2.
- Aparicio, V. & Costa, J.L. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 96:155-165.
- Aparicio, V.; Costa J.L.; Echeverría, H. & Caviglia, O. 2000. Evaluacion de propiedades edáficas y crecimiento del maíz bajo diferentes sistemas de labranza en cuatro sitios del sudoeste bonaerense. *RIA*, 31 (3): 55-71 ISSN 0325-8718.
- Arvidsson, J. & Hakansson, I. 2014. Response of different crops to soil compaction-Short-term effects in Swedish field experiments. *Soil & Tillage Research* 138: 56-63. ISSN: 0167-1987.
- Arzadun, M.; Laborde, H. & Arroquy, J. 2013. Fertilización nitrogenada en trigo para la producción de forraje y grano en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *AGRISCIENTIA*, 30(1): 1-11.

- Aurand, L.W.; Woods, A.E. & Wells, M.R. 1987. Food Composition and Analysis. An AVI Book, New York.
- Austin, A.; Piñeiro, G. & González-Polo, M. 2006. More is less: agricultural impacts on the N cycle in Argentina. *Biogeochemistry* 79: 45–60.
- Aziz, I.; Mahmood, T. & Rafia-Islam, K. 2013. Effect of long term no-till and convencional tillage practices on soil quality. *Soil Hill Res.* 131: 28-35.
- Azooz, R.H. & Arshad, M.A. 1996. Soil infiltration and hydraulic conductivity under long-term no-tillage and conventional tillage systems. *Can. J. Soil Sci.* 76: 143-152.
- Bacigaluppo, S.; Bodrero, M.; Andriani, J.; De Emilio, M.; Enrico, J.; Gentili, O.; Gerster, G.; Malmantile, A.; Manlla, A.; Méndez, J.; Pagani, R.; Prieto, R.; Rossi, J.; Trentino, N. & Trosero, J. 2009. Evaluación de cultivares de soja de los grupos de madurez III, IV, V y VI en siembras de primera época en diferentes ambientes del sur de Santa Fe. Campaña 2008/9. Boletín Soja 2009. Para mejorar la Producción N° 42. Ed. INTA EEA Oliveros. pp 7-13.
- Balbuena, R.H.; Aragon, A.; MacDonagh, P.M.; Claverie, J.A.; & Terminiello, A.M. 1996. Evolución de la resistencia a la penetración y la densidad aparente en tres sistemas de labranza. En el IV Congreso Argentino De Ingenieria Rural. II Congreso Internacional De Ingenieria Rural, Neuquén. Pp: 197-202.
- Báez, M.A. & Aguirre-Medina, J.F. 2011. Efecto de la labranza de conservación sobre las propiedades del suelo. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. Terra Latinoamericana* 29(2):113-121.
- Balesdent, J.; Chenu, C. & Balabane, M. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil Till. Res.* 53: 215-230.
- Ball, B.C.; Campbell, D.J. & Hunter, E.A. 2000. Soil compactibility in relation to physical and organic properties at 156 sites in UK. *Soil Till. Res.* 57
- Barbagelata, P. & Paparotti, O. 2000. Maíz, Jornada de Intercambio Técnico del Maíz. Estrategias de Fertilización Fosforada del Maíz en Siembra Directa. AAPRESID. INTA-EEA Paraná, Argentina. 15-17 p.
- Barber, S.A. 1971. Effect of tillage practice on corn (*Zea mays* L.) root distribution and morphology. *Agron. J.* 63: 724-726.
- Barrios, M.B.; Bozzo, A.; Debelis, S.P.; Pereyra, A.M. & Buján, A. 2006. Soil physical properties of the soil and root activity in a soybean second crop/maize rotation under direct sowing and conventionla tillage. *Spanish Journal of Agricultural Research* 4 (4), 355-362.

- Barrios, M.B. 2011. Efecto del laboreo sobre el desarrollo de raíces y productividad. Editor. Roque A. Grande. Editorial Académica Española. ISSN: 978-3-8443-4125-6. 206 pp.
- Barrios, M.B.; Sokolowski, A.C.; Debelis, S.P.; Rodríguez, H.A.; De Grazia, J.; Blasón, A.D.; Buján, A.; Rodríguez Frers, E.P. & Mazo, C.R. 2014a. Parámetros del suelo vinculados bajo sistemas de intensificación agrícola. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, II Reunión Nacional de Materia Orgánica y Sustancia Húmicas. Bahía Blanca, Buenos Aires.
- Barrios, M.B.; Buján, A.; Debelis, S.P.; Sokolowski, A.C.; Blasón, A.D.; Rodríguez, H.A.; López, S.C.; De Grazia, J.; Mazo, C.R. & Gagey, M.C. 2014b. Relación biomasa de raíz/biomasa total de soja (*Glycine max*) en dos sistemas de labranza. Revista Terra Latinoamericana 32(3):221-230.
- Barrios, M.B.; Sokolowski, A.C.; De Grazia, J.; Rodríguez, H.A.; Debelis, S.P.; Gagey, M.C.; Blasón, A. & Buján, A. 2016. Análisis de componentes principales sobre propiedades físicas y químicas del suelo en dos sistemas de labranza. XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Río Cuarto, Argentina.
- Batalla, S. 2004. Evaluación del rendimiento y calidad de trigo bajo distintas alternativas de manejo (labranza y fertilización). VI Congreso Nacional de trigo. IV Simposio Nacional de cultivos de siembra otoño-invernal.
- Baver, L.D.; Gardner, W.H. & Gardner, W.R. 1973. Física de suelos. Limusa. 196-204.
- Becerra, C.; Madero, E.; Herrera, O. & Amézquita, E. 2005. Caracterización espacial de la compactación en terrenos del CIAT, Colombia. Revista del Instituto de Investigación FIGMMG 8(16): 33-37.
- Beckles, D.M. & Thitisaksakul, M. 2014. How environmental stress affects starch composition and functionality in cereal endosperm. Starch - Stärke, 66, 58-71.
- Bejarano, M.D.; Villar, R.; Murillo, A. & Quero, J.L. 2010. Effects of soil compaction and light on growth of *Quercus pyrenaica* Willd (Fagaceae) seedlings. Soil & Tillage Research, 110: 108–114. ISSN: 0167-1987.
- Bergh, R.G., García, F.O.; Ferrari, J.L. & Rizzalli, R.H. 1995. Fate of nitrogen under no-tillage and convencional tillage systems in the Southern “Pampas” of Argentina. Agronomy Abstracts. ASACSSA-SSSA. Annual Meeting. Madison, USA.
- Bernardos, J.; Viglizzo, E.; Jouvét, V.; Lértora, F.; Pordomingo, A. & Cid, F. 2001. The use of EPIC model to study the agroecological change during 93 years of farming transformation in the Argentine Pampas. Agric. Syst. 69, 215–234.

- Bilalis, D.; Karkanis, A.; Patsiali, S.; Agriogianni, M.; Konstantas, A. & Triantafyllidis, V. 2011. Performance of Wheat Varieties (*Triticum aestivum* L.) under Conservation Tillage Practices in Organic Agriculture. *Not Bot Horti Agrobo*, 39(2):28-33.
- Blake, G.R. & Hartge; K.H. 1986. Bulk density in: Klute: Methods of soil analysis. 2° ed. Madison: American Society of Agronomy (ASA) 9: 363-375.
- Blanco-Canqui, H. & Lal, R. 2008. Corn stover removal impacts on micro-scale soil physical properties. *Geoderma* 145: 335-346.
- Blasón, A.D.; Fernández, N.R.; Rodríguez, R.O.; Fernández, E.N.; Barrios, M.B. & Buján, A. 2006. Efceto de diferentes sistemas de labranzas sobre temperaturas de suelo para la siembra de soja. Congreso Argentino de Meteorología.
- Blasón, A.D.; Barrios, M.B. & Fernández, N.R. 2011. Temperatura en el suelo vs en el aire en labranza convencional y siembra directa bajo cultivo de maíz (*Zea mays*): desacople diurno-nocturno. *Revista de la Facultad de Agronomía y Ciencias Agroalimentarias II* (4):13-34.
- Blasón, A.D.; Fernández, N.R.; Barrios, M.B.; Makar, D.; Molla-Kralj, A. & Rodríguez, R.O. 2014. Gradientes térmicos del suelo superficial cultivado con maíz en labranza convencional y en siembra directa. *Revista de la Facultad de Agronomía y Ciencias Agroalimentarias 9y10*: 29-46.
- Blevins, R.L.; Smith, M.S; Thomas, G.W. & Frye, W.W. 1983. Influence of conservation tillage on soil properties. *J. Soil Water Conserv.* 38: 301-305.
- Bodrero, M.L.; Morandi, E.; Martignone, R.A. & Baigorri, H.E.J. 1997. Ecofisiología del cultivo. pp. 29-50. In: L. M. Giorda y H. E. J. Baigorri (eds.). *El cultivo de soja en la Argentina*. INTA C. R. Córdoba, San Juan, Argentina.
- Bolsa de Cereales. 2018. Relevamiento del cultivo de soja, maíz y trigo. Panorama agrícola semanal (PAS). Departamento de estimaciones agrícolas. ISSN 2408-4344. Recuperado de <http://www.bolsadecereales.com/> Consultado el 16/04/2018].
- Bordoli, J. 2001. Dinámica de Nutrientes y Fertilización en Siembra Directa. Siembra Directa en el Cono Sur, Programa Cooperativo para el desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial (PROCISUR). Montevideo, Uruguay. Págs. 289-294.
- Bonel, B.; Morrás, H. & Bisaro, V. 2005. Modificaciones de la microestructura y la materia orgánica en un suelo Argiudol bajo distintas condiciones de cultivo y conservación. *Ci. Suelo* 23:1-12.

- Borrás, L.; Curá, J.A. & Otegui, M.E. 2002. Maize kernel composition and post-flowering source-sink ratio. *Crop Sci.* 42, 781-790.
- Botta, G.F.; D Jorajuria; R Balbuena & H Rosatto. 2004. Mechanical and cropping behaviour of direct drilled soil under different traffic intensities: effect of soybean (*Glycine max L.*) yields. *Soil Till. Res.* 78(1):53-78.
- Botta, G.F.; Tolon-Becerra, A.; Lastra-Bravo, X. & Tourn, M. 2010. Tillage and traffic effects (planters and tractors) on soil compaction and soybean (*Glycine max L.*) yields in Argentinean pampas. *Soil Till. Res.* 110:167-174.
- Bouza, M.E.; De Lucía, M.P.; Alzorriz, A.; Cirolini, E.; Echeverría, N.E. & Silenzi, J.C. 2018. Trigo continuo en un ambiente semiarido: efecto de distintos sistemas de labranza. XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Tucumán.
- Bowen, H.D.; Garner, T.H. & Vaughn, D.H. 1994. Advances in soil-plant dynamics. In: ASAE. *Advances in soil dynamics*. St. Joseph. p.255-280.
- Bowman, R.A. & Halvorson, A.D. 1998. Soil chemical changes after nine years of differential N fertilization in a no-till dryland wheat-corn-fallow rotation. *Soil Sci.* 163: 241-247.
- Brandolini, A., Hidalgo, A. & Plizzari, L. 2010. Storage-induced changes in einkorn (*Triticum monococcum L.*) and breadwheat (*Triticum aestivum L. ssp. aestivum*) flours. *J Cereal Sci* 51:205–212.
- Bravo, C. & Andreu, E. 1995. Propiedades físicas y producción de maíz (*Zea mays L.*) en un alfisol del estado Guárico, Venezuela, bajo dos sistemas de labranza. *Venezuelos* 3(2): 62-68.
- Breune, I.; Nolin, M.C.; Caron, J.; & Testsier, S. 1996. La Penetrometrie et son utilisation dans la caracterisation de la qualité des sols. *Agrosol* 9(2):13-21.
- Buckman, H.O. & Brady, N.C. 1970. *Naturaleza y propiedades de los suelos*. Montaner y Simon, S.A. Barcelona, reimpresión.
- Buczko, U.O.; Bens, O. & Huttl, R.F. 2006. Tillage effects on hydraulics properties and macroporosity in silty and sandy soils. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 70: 1998-2007.
- Buryaile, R.; Bircher, M. & Silveyra, J. 2016. Perfiles de Mercado trigo, maíz, soja, girasol, maní, ajo, lentejas, durazno y carne. *Revista Mercado Agropecuarios*, N°1 Diciembre. Publicación de la subsecretaria de mercados agropecuarios. Recuperado de https://www.agroindustria.gov.ar/sitio/areas/s_mercados_agroindustriales/archivos/mercados_agropecuarios_01.pdf. Consultado 10/08/2016.

- Busscher, W. & Lipec, J. 1993. Early growth of maize in compacted soil with fine and coarse structure. *Internaional Agrophysic* 7: 77-83.
- Bushuk, W. 1986. Wheat: chemistry and uses. *Cereal Food World* 31: 218-226.
- Calderone, M.; Torres, J.; Papucci, S.; Cruciani, M. & González, A. 2008. Revista Agromensaje de la Facultad. Editorial FCA-UNR. ISSN: 16698584. Recuperado de <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/24/9AM24.htm> Consultado el 18/03/2015.
- Cabrera, C.F. 1990. Influencia de la labranza en el rendimiento de maíz de temporal y algunas propiedades físicas de los suelos en el sur de Sonora. En: Actas del XXIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Comarca Lagunera, México.
- Colecchia, S.A.; De Vita, P. & Rinaldi, M. 2015. Effects of Tillage Systems in Durum Wheat under Rainfed Mediterranean Conditions. *Cereal Research Communications* 43(4), pp. 704–716.
- Calvo, N.R.; Echeverría, H.; Barbieri, P. & Sainz Rozas, H. 2006. Nitrógeno y azufre en trigo: ¿Rendimiento y proteína? XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta-Jujuy.
- Camacho, R.G.; Garrido, O. & Lima, M.G. 1995. Caracterización de nueve genotipos de maíz (*Zea mays* L.) en relacion a área foliar y coeficiente de extinción de luz. *Sci. Agric. Piracicaba*, 52 (2): 294-298.
- Camerira, M.R., Fernando, R.M. & Pereira, L.S. 2003. Soil macropore dynamics affected by tillage and irrigation for a silty loam alluvial soil in southern Portugal. *Soil Tillage Res.* 70: 131-140.
- Campitelli, P.; Aoki, A.; Gudelj, 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. *Ciencia del suelo* 28(2): 223-231.
- Callejas-Rodríguez, R.; Rojas-Torres, E.; Benavidez-Zavala, C. & Kania-Kuhl, E. 2011. Crecimiento y distribución de raíces y su relación con el potencial productivo de parrales de vides de mesa. *Agrociencia* 46: 23-35.
- Cardona, J.C. & Cristancho, F. 2008. La Humedad en las Propiedades Físicas del Suelo Zamora. Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia Bogotá.
- Carr, P.M.; Horsley, R.D. & Poland, W.W. 2003. Tillage and seeding rate effects on wheat cultivars: I. Grain production. *Crop Sci.* 43:202–209.

- Carretero, C. 2011. Una aproximación mecanística al problema de las enfermedades foliares en el cultivo de trigo. Doctor del Área Ciencias Agropecuarias FAUBA. 96pp <http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/doctorado/2011carreteroramiro.pdf>.
- Carter, M.R. 2002. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agron. J.*94:38-47.
- Cerisola, C.; Draghi, L. & Jorajuría-Collazo, D. 2014. Compactación en siembra directa. Consecuencias del tránsito durante la operación de siembra sobre la pérdida de porosidad libre al aire del suelo *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata* 113(2): 123-133.
- Ciha, A.J. 1982. Yield and yield components of four spring wheat cultivars grown under three tillage systems. *Agronomy Journal* 74: 317-320
- Chagas, C.I.; Marelli, H.J. & Santanatoglia, O.J. 1994. Propiedades físicas y contenido hídrico de un Argiudol típico bajo tres sistemas de labranza. *Ciencia del Suelo*. 12(1):11-16.
- Chang, C. & Lindwall, C.W. 1989. Effect of long-term minimum tillage practices on some physical properties of a Chernozemic clay loam. *Can. J. Soil Sci.* 69:443-449.
- Chidichimo, H.O. & Asborn, M.D. 2000. Influencia de la humedad y la temperatura del suelo sobre el crecimiento del trigo en dos sistemas de labranza. *Revista Brasileira de Agrometeorología* 8(1): 69-74.
- Chidichimo, H.O.; Sempé, M.E.; Aulicino, M.B. & Almaráz, L.B. s.f. Informe sobre calidad comercial e industrial de trigo Campañas: 1994/95-2005/06. Recuperado de http://www.minagri.gob.ar/new/0-0/programas/dma/calidad_trigo/publicaciones/informe_final_unlp.pdf. Consultado el 09/12/2018.
- Chopart, J.L. & Kone, D. 1985. Influence de diferentes techniques de travail du sol sur l'alimentation hydrique du maïs et du cotonnier en Cote d'Ivoire. *Agronomie Tropicale* 40: 233-229.
- Ciércoles, R. 2014. La Calidad de las harinas de trigo. Presentación en la Jornada de Pan. Zaragoza. Fundación AulaDEi Parque Científico Tecnológico. Recuperado de <https://slideplayer.es/slide/1813760/> Consultado 09/12/18.
- Crovetto, C.C. 1998. No-till development in Chequén farm and its influence on some physical, chemical and biological parameters. *J. Soil Water Conserv.* 53: 194-199.
- Ciampitti, I.A. & García, F.O. 2007. Requerimientos nutricionales: absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios I. cereales, oleaginosos e industriales. IPNI. *Archivo Agronómico* # 11:13-16. Recuperado de

[http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/1C1039297E6D798603257967004A2A8C/\\$FILE/AA%2011.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/1C1039297E6D798603257967004A2A8C/$FILE/AA%2011.pdf) Consultado el 20/12/2018.

- Cisneros, J.M.; Cholaky, C.G.; Cantero-Gutiérrez, A. & González, J. 2012. Erosión Hídrica UniRio Editora. Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- Cirilo, A.; Actis, M.; Andrade, F. & Valentinuz, O. 2011. Crop management affects fry-milling quality of Flint maize kernels. *Field Crops Res.*, 122: 140-150.
- Cociu, A.I. & Alionte, E. 2011. Yield and some quality traits of winter wheat, maize and soyabean, grown in different tillage and deep loosening systems aimed to soil conservation. *Romanian Agric. Res.*, 28: 109-120.
- Colombani, E.N.; Costa, J.L.; Studdert, G.A. & Suero, E. 2002. Evaluación de propiedades físicas de suelos del Sudeste Bonaerense bajo distintos manejos. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Puerto Madryn.
- Costantini, A.; De Polli, H.; Galarza, C.; Pereyra-Rossiello, R. & Romaniuk, R. 2006. Total and mineralizable soil carbon as affected by tillage in the Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 88: 274–278.
- Corn Refiners Association. 2006. Corn Starch, 11th edition, Corn Refiners Assoc. Inc., Washington DC, 41 pp.
- Cookson, S.J.; Van Lijsebettens, M.; Granier, C. 2005. Correlation between leaf growth variables suggest intrinsic and early controls of leaf size in *Arabidopsis thaliana*. *Plant, Cell and Environment* 28 (11), 1355-1366.
- Corcuera, V.R.; Salmoral, E.M. & Pennisi, M. 2016. Análisis composicional cuantitativo de los macronutrientes del grano de híbridos de maíz con valor mejorado (VEC) desarrollados para la industria alimentaria argentina Kandus M4, Salerno JC4 Revista de Divulgación Técnica Agropecuaria, Agroindustrial y Ambiental Facultad de Ciencias Agrarias. *UNLZ.* 3(2): 37-51.
- Cox, M.S.; Gerard, P.D. & Melinda, A.J. 2006. Selected soil properties variability and their relationships with yield in three Mississippi fields. *Soil Sci.* 171:541-551.
- Cubadda, R.; Fabriani, G. & Tranquilli, G.B. 1969. Variability of ash content of durum wheat in relation to locality and ripening time. *Food Sci. Technol.*, 20: 253-63.
- Cuniberti, M.; Bainotti, C.; Frascina, J.; Salines, J.; Alberione, E.; Riberi, L.; Galich, A.; Galich, M.T. & Formica, M.B. 2004. Calidad de cultivares de trigo evaluados en ensayos con control químico de enfermedades foliares. Actualización 2004. Informe para Extensión N° 85, EEA Marcos Juárez-INTA.

- Cuniberti, M.B. & Menella, D. 2004. Requerimientos industriales de trigo en Argentina. IDIA XXI. 6:16-20.
- Cuniberti, M. 2005. Clasificación del trigo como valor agregado. 1ª Jornada de Trigo de la Región Centro. Córdoba. pp: 45-50.
- Cuniberti, M. & Otamendi, M. 2005. Classification of Argentinean wheat. In: Chung, O.K. & Lookhart, G.L. (eds.). Third International Wheat Quality Conference. Grain Industry Alliance, Manhattan, KS. pp. 333-340.
- Cuniberti, M.; Mir, L.; Chialvo, E.; Berra, O.; Macagno, S. & Pronotti, M. 2015. Rendimiento y calidad del trigo en la región central del país Campaña 2015/16. INTA Marcos Juárez. Recuperado de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_calidad_trigo_regioncentral_2015.pdf. Consultado el 9/12/2018.
- Dao, H. 1993. Tillage and winter wheat residue management effects on water infiltration and storage. Soil Sci. Soc. Am. J. 57:1586-1595.
- Deagustini, C.A.; Domínguez, G.F.; Agostini, M. de los A.; Studdert G.A. & Tourn, S.N. 2017. Vicia como cultivo puente y sistemas de labranza: efecto sobre las propiedades físicas del suelo. Revista Cs. Sue. 35(2): 325-335.
- Debaeke, P.; Aussenac, T., Fabre, J.L.; Hilaire, A.; Pujol, B. & Thuries, L. 1996. Grain nitrogen content of winter bread wheat (*Triticum aestivum* L.) as related to crop management and to the previous crop. Eur. J. Agron. 5, 273–286.
- De Bernardi, L.A. s.f. Perfil del aceite de maíz. Ministerio de Agroindustria, Buenos Aires, Argentina. Recuperado de https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/ssmercados_agropecuarios/areas/granos/archivos/000061_Informes/899990_Perfil%20del%20Aceite%20de%20Ma%C3%ADz.pdf. Consultado 16/04/2018.
- De Grazia, J. 2010. Dinámica de la materia orgánica edáfica como indicador de sustentabilidad de los agroecosistemas de la región central de Argentina. Empleo de modelos matemáticos de simulación. Tesis de Maestría. FAyV-UNRC, Río Cuarto, Argentina. 239 pp.
- De la Fuente, E. & Suárez, S. 2008. Problemas ambientales asociados a la actividad humana: la agricultura. Ecol. Austral 18(3): 239-252. ISSN 1667-782X.
- de la Horra, A.E.; Seghezzo, M.L.; Molfese, E.; Ribotta, P.D. & León, A.E. 2012. Indicadores de calidad de las harinas de trigo: índice de calidad industrial y su relación con ensayos predictivos. Agriscientia, XXIX (2): 81-89.

- de la Vega-Ruiz, G. 2009. Proteínas de la harina de trigo: clasificación y propiedades funcionales. *Temas de Ciencia y Tecnología* 38: 27-32.
- Dencic, S., De Pauw, R., Kobiljski, B. & Momcilovic, V. 2013. Hagberg Falling Number and rheological properties of wheat cultivars in wet and dry preharvest periods. *Plant Production Science*, 16, 342-351.
- Derpsch, R.; Friedrich, T.; Kassam, A. & Li, H.W. 2010. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *Int. J. Agric. y Biol. Eng.* 3 (1).
- De Vita, P.; Di Paolo, E.; Fecondo, G.; Di Fonzo, N. & Pisante, M. 2007. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. *Soil and Tillage Research* 92: 69-78.
- Di Fonzo, N.; De Vita, P.; Gallo, A.; Fares, C.; Padalino, O. & Troccoli, A. 2001. Crop Management Efficiency as a Tool to Improve Durum Wheat Quality in Mediterranean Areas. *Durum Wheat, Semolina and Pasta Quality*, Montpellier (France), Ed. INRA, Paris (Les Coloques, no: 99). Paris, France. pp. 67–82.
- Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; González, L.; Tablada, M. & Robledo, C.W. 2012. InfoStat. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Digonzelli, P.A.; Tonatto, M.J.; Romero, E.R.; Sanzano, G.A.; Fernández de Ullivarri, J.; Giardina, J.A. & Scandalariis, J. 2011. Assessing a sustainable sugar cane production system in Tucumán, Argentina Part 2: Soil water and thermal regime, stalk population dynamics and sugarcane production. *Rev. Ind. Y Agríc. de Tucumán*, 88(2): 1-12.
- Díaz-Zorita, M. 2000. Effect of deep-tillage and nitrogen fertilization interactions on dryland corn (*Zea mays* L.) productivity. *Soil Till. Res.* 54 (1):11-19.
- Díaz-Zorita, M.; Duarte, G.A. & Grove, J.H. 2002. A review of no till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 65: 1-18.
- Díaz-Zorita, M.; Barraco, M. & Álvarez, C. 2004a. Efectos de doce años de labranzas en un hapludol del noroeste de Buenos Aires, Argentina. *Ciencia del Suelo* 22(1):11-18.
- Díaz-Zorita, M.; Grove, J.H.; Murdock, L.; Herbeck, J. & Perfect, E. 2004b. Soil structural disturbance effects on crop yields and soil properties in a no-till production system. *Agron. J.* 96: 1651-1659.
- Di Benedetto, A. & Tognetti, J. 2016. Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos RIA. *Rev. Investig. Agropecu.* 42(3).

- Di Fonzo, N.; de Vita, P.; Gallo, A.; Fares, C.; Padalino, O. & Troccoli, A. 2000. Crop Management efficiency as a tool to improve durum wheat quality in Mediterranean areas. En: Durum wheat, semolina and pasta quality. Recent achievements and new trends. Abecassis, J., Autran, J.C. y Feillet, P. (eds.) Montpellier, Francia, pp: 67-82
- 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 Suelo* 26(1): 1-1.
- Dobermann, A. 2007. Nutrient use efficiency-measurement and management. En *Fertilizer Best Management Practices*. IFA International workshop on fertilizer best management practices.
- Domínguez, G.F.; Studdert, G.A.; Echeverría, H.E. & Andrade, F.H. 2001. Sistemas de cultivo y nutrición nitrogenada en maíz. *Ciencia del Suelo* 19: 47-56.
- Domínguez, G.F.; Studdert, G.A. & Echeverría, H.E. 2005. Propiedades del suelo: efectos de las prácticas de manejo. *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. pp 207-229.
- Domínguez, G.F.; Studdert, G.A.; Eiza, M.J.; Diovisalvi, N.V. & Fioriti, N. 2006. Relación entre la materia orgánica y el rendimiento de maíz. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy.
- Domínguez, G.F.; Diovisalvi, N.V.; Studdert, G.A. & Monterubbianesi, M.G. 2009. Soil organic C and N fractions under continuous cropping with contrasting tillage systems on mollisols of the southeastern pampas. *Soil tillage Res.* 102: 93-100.
- Doorenbos, J. & Pruitt, W.O. 1977. Las necesidades hídricas de los cultivos. FAO 24.
- Draghi, L.M.; Botta, G.F.; Balbuena, R.H.; Claverie, J.A. & Rosatto, H. 2005. Diferencias de las condiciones mecánicas de un suelo arcilloso sometido a diferentes sistemas de labranza sometido a diferentes sistemas de labranza. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9(1):120-124.
- Duchaufour, P. 1987. Manual de Edafología. Masson, S.A, Barcelona. Primera edición.
- Dudley J.W. & Lambert, R.J. 1992. Ninety generations of selection for oil and protein in maize. *Maydica* 37: 81-87.
- 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): 178-184.
- Echeverría, H.E. & García, F.O. 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. Boletín Técnico 149. Est. Exp. Agrop. INTA Balcarce. 18pp.

- Echeverría, H.E. & Sainz-Rozas, H.R. 2001. Eficiencia de recuperación del nitrógeno aplicado al estadio de seis hojas del maíz bajo riego en siembra directa y labranza convencional. *Ciencia del Suelo* 19:57-66.
- Echeverría, H.E. & Sainz-Rozas, H.R. 2005. Maíz. En: H.E. Echeverría y F.O. García (eds.). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. INTA Balcarce pp 255-282.
- Eiza, M.; Fioriti, N.; Studdert, G.A. & Echeverría, H.E. 2005. Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y de la fertilización nitrogenada. *Ciencia del Suelo* 23(1):59-61.
- El sur del sur. 2015. Panorama de la agricultura argentina. Portal Web: El Sur del Sur: Argentina, el país, su cultura y su gente. Recuperado de <https://surdelsur.com/es/agricultura-argentina>. Consultado 18/04/18.
- Erenstein, O. 1996. ¿Labranza de conservación o conservación de residuos? Una evaluación del manejo de los residuos en México. Ponencia presentada en el Foro Internacional sobre Labranza de Conservación. Guadalajara, México.
- Elissondo, E.; Costa, J.L.; Suero, E.; Fabrizzi, K.P. & García, F. 2001. Evaluación de algunas propiedades físicas de suelos luego de la introducción de labranzas verticales en un suelo bajo Siembra Directa. *Ciencia del suelo* 19: 11-19.
- Espinoza, Y. 2010. Efecto de la labranza sobre la materia orgánica y tamaño de agregados en un suelo cultivado con maíz en condiciones tropicales. *Bioagro* 22 (3):177-184.
- Eyhérbide, G.H.; Robutti, J.L. & Borrás, F.S. 1996. Effect of nearinfrared transmisión-based selection of maize hardness and the composition of zeins. *Cereal Chem.*, 73: 775-778.
- Eyhérbide, G.H.; Robutti, J.L.; Percibaldi, N.M.; Presello, D.A. & Álvarez, M. del P. 2004. Association between grain yield and endosperm hardness in maize cultivars. *Maydica*, 49: 319-326.
- Eyhérbide, G.H. 2015. Bases para el manejo del cultivo de maíz. EEA Balcarce. Buenos Aires: Ediciones INTA. Disponible en <https://inta.gob.ar/documentos/bases-para-el-manejo-del-cultivo-de-maiz> Consultado el 25/01/2019.
- Fabrizzzi, K. 2000. Dinámica del nitrógeno bajo dos sistemas de labranzas en un suelo no degradado. Tesis de Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias. UNMdP.
- Fabrizzzi, K.P.; Morón, A. & García, F.O. 2003. Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded Mollisols in Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 1831-1841.

- Fabrizzi, K.P.; García, F.O.; Costa, J.L. & Picote, L.I., 2005. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 81: 57-69.
- FAO. 2011. Ahorrar para crecer. Guía para los responsables de las políticas de intensificación sostenible de la producción agrícola en pequeña escala. Roma Italia. 116 pp. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/014/i2215s/i2215s.pdf> Consultado: 05/02/2016.
- Falotico, J.; Studdert, G. & Echeverría, H.E. 1999. Nutrición nitrogenada del trigo bajo siembra directa y labranza convencional. *Ciencia del Suelo*, 17(2):9-20.
- Ferrerías, L.A.; Costa, J.L. & García, F.O. 1999. Temperatura y contenido hídrico del suelo en superficie durante el cultivo de trigo bajo dos sistemas de labranza. *Cienc. Suelo* 17(2): 39-45.
- Ferrerías, L.A.; Costa, J.L.; García, F.O. & Pecorari, C. 2000. Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern "Pampa" of Argentina. *Soil Till. Res.* 54: 31-39.
- Ferrerías, L.; Magra, G.; Besson, P.; Kovalevsk, I.E. & García, F. 2007. Indicadores de calidad física en suelos de la Región Pampeana Norte de Argentina bajo siembra directa. *Cienc. Suelo*, 25 (2):159-172.
- Fidalski, J.; Tormena, C.A. & Scapim, C.A. 2007. Espacialização vertical e horizontal dos indicadores de qualidade para um Latossolo Vermelho. *Rev. Bras. Cienc. Solo* Vicoso 31(1): 9-19.
- Fiez, T.E.; Norberg, O.S. & Jolliff, G.D. 1991. Dry matter production and carbohydrate accumulation in tree meadowfoam lines. *Crop Sci.* 32: 1008-1014.
- Fischer, R.A. 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *Journal of Agricultural Science* 105: 447-461.
- Franzluebbers, A.J. & Arshad, M.A. 1997. Particulate organic carbon content and potential mineralization as affected by tillage and texture. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 1382-1386.
- Friedrich, T. 2014. Agricultura climáticamente inteligente. Conferencia presentada en el taller de suelo: Uso, Conservación y Manejo del suelo agrícola.
- Fuertes-Mendizábal, T.; Aizpurua, A.; González-Moro, M.B.; Estavillo, J.M. 2010. Improving wheat breadmaking quality by splitting the N fertilizer rate. *Europ. J. Agronomy*, 33: 52-61.

- Fuertes-Mendizábal, T.; González-Murua, C.; González-Moro, M.B. & Estavillo, J.M. 2012. Late nitrogen fertilization affects nitrogen remobilization in wheat. *J. Plant Nutr. Soil Sci*, 175: 115-124.
- Gaggioli, C.; Noellemeyer, E. & Quiroga, A. 2015. Productividad de híbridos de girasol diferenciados en calidad de aceite en dos suelo contrastantes de la región semiárida pampeana. *Actas de la II Jornada Nacional de Suelos de Ambientes Semiaridos*. Santa Rosa, La Pampa. 7 pp.
- Galantini, J.A.; Fernández, R.; Minoldo, G.; Landriscini, M.R.; Kiessling, R. & Rosell, R. 2004. Fertilización del trigo con N y S en suelos bajo siembra directa del S y SO Bonaerense. *Actas VI Congreso Nacional de Trigo*. Bahía Blanca, Argentina. 16.
- Galantini, J. & Rosell, R. 2006. Long-term fertilization effects on soil organic matter quality and dynamics under different production systems in semiarid Pampean soils. *Soil Till. Res.* 87: 72-79.
- Galantini, J.A.; Suñer, L. & Iglesias, J.O. 2007. Sistemas de labranza en el sudoeste bonaerense: efectos de largo plazo sobre las formas de fósforo en el suelo. *Revista Investigaciones Agropecuarias (RIA – INTA)* 36 (1): 63-81.
- Galantini, J.A. & Suñer, L. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia*, 25(1): 41-55, Córdoba.
- Galantini, J.A. & Keine, C. 2013. Efectos de largo plazo de la siembra directa en el SO Bonaerense: Producción de los cultivos y balance de nutriente. *Revista AAPRESID* pp: 10-16. Recuperado de <https://www.aapresid.org.ar/regionales/wp-content/uploads/sites/7/2013/10/Revista-AAPRESID-2013-Galantini-et-al-FINAL.pdf>. Consultado 29/12/18.
- Galantini, J.A. & Keine, C. 2015. [Efectos de largo plazo de la siembra directa en el So Bonaerense: Producción de los Cultivos y Balance de Nutrientes](#). *Boletín Cerzos* N° 26:19-24. Editorial [Dra. Viviana Echenique](#). ISSN 2422-7447.
- García-Lamothe, A. 2004. Manejo de la fertilización con nitrógeno en trigo y su interacción con otras prácticas agronómicas. *Serie técnica N°144*. Editado por la Unidad de Agronegocios y Difusión, INIA, Uruguay.
- García-Lamothe, A. 2006. El efecto de la nutrición mineral sobre el rendimiento y la calidad del grano de trigo. *Serie de Actividades de Difusión INIA* 444: 8-22.
- García, F.O.; Picone, L.I. & Berardo, A. 2007. Fósforo. En: Echeverría, H.E. & García, F.O. (Eds.). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina, pp. 99-121.

- García, F.O & Reussi-Calvo, N.I. 2014. Trigo. Fertilidad de suelos y Fertilización de Cultivos. (Eds. Echeverría H.E. & García F.O.) pp. 401-417. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina.
- García, G.V.; Studdert, G.A.; Domingo, M.N. & Domínguez, G.F. 2016. Nitrógeno mineralizado en anaerobiosis: relación con sistemas de cultivos de agricultura continua. *Cs Suelo* 34: 127-138.
- García-Préchac, F. 1991. Strip position, tillage, and water regime effects on a strip intercropping rotation. Ph.D. Dissertation, Dept. of Agronomy, Iowa State Univ. 137 p.
- García-Préchac, F. 1997. Curso de actualización sobre siembra directa y conservación de suelos. Cerro Largo: Facultad de Agronomía. 121p.
- Gardner, W.H. 1986. Water content: Methods of soil analysis. American Society of Agronomy Madison.
- Garrido-Salinas, M.I. 2012. Efecto de la fecha de siembra en coeficientes genéticos de trigo candeal (*Triticum turgidum* L. *ssp. durum*) tesis para optar al grado de Magíster en ciencias agropecuarias mención producción de cultivos. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Escuela de postgrado. 87 pp.
- Gardner, B.R.; Pearce, R.B. y Mitchell, R.L. 1985. Physiology of crops plants. Iowa State University Press. USA.
- Garnero, S. 2012. Calidad intrínseca de los granos en la poscosecha. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Químicas Universidad Católica de Córdoba Maestría en Tecnología de Alimentos. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional – edUTecNe. 169 pp. Recuperado de http://www.edutecne.utn.edu.ar/tesis/calidad_intrinseca_granos.pdf Consultado el 29/12/18.
- Gianibelli, M., & Sarandon, S. 1990. Effect on late nitrogen fertilization on the gluten content and technological quality of bread wheat. En W. Bushuk, & R. Trachuk (Eds.), *Gluten Proteins*. pp. 755- 764. St. Paul, MN: AACC International.
- Gil-Sotres, F.; Trasar-Cepeda, C.; Leirós, M.C. & Seoane, S. 2005. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. *Soil Biol. Biochem* 37:877-887.
- Gil, R.C. & Garay, A. 2001. La siembra directa y el funcionamiento sustentable del suelo. En: Panigatti, J.L.; D. Buschiazzi & H. Marelli (eds.). *Siembra directa II*. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. pp. 5-16.

- Giuffré, L.; Romaniuk, R.; Conti, M. & Bartolini, R. 2006. Multivariate evaluation by quality indicators of no-tillage system in Argiudolls of Rolling Pampas (Argentina). *Biol. Fert. Solis* 42:556-560.
- Glinski, J. & Lipiec, J. 1990. *Soil Physical Conditions and Plant Roots*. CRC Press Inc. Boca Ratón, Florida, USA. 250 pp.
- Golik, S.I. 2009. Efecto de los sistemas de labranza, fertilización nitrogenada y genotipo sobre el sistema radical en etapas avanzadas del cultivo de trigo y su incidencia en el rendimiento, calidad y sanidad. UNLP - FCAyF tesis doctoral. pp.162. Recuperado de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/1821/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y Consultado el 29/12/18.
- Gómez-Becerra, H.F.; Erdem, H.; Yazici, A.; Tutus, Y.; Torun, B.; Ozturk, L.; & Cakmak, I. 2010. Grain concentrations of protein and mineral nutrients in a large collection of spelt wheat grown under different environments. *Journal of Cereal Science*, 52: 342–349.
- González-Montaner, J. & Di Nápoli, M. 1998. Fertilización nitrogenada en trigo. Interacción con estados físicos del suelo y condiciones climáticas en el sur de la provincia de Santa Fe. IV Congreso Nacional de Trigo, Mar del Plata, pp: 3-27.
- Govaerts, B.; Sayre, K.D. & Deckers, J. 2006. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. *Soil Till. Res.* 87:163-174.
- Gras, P.W. & O’Riordan, B. 1998. Why wheat quality changes in storage. En *Proceedings of the first Australian Postharvest Technical Conference*.
- Gregory, P; Ford, K. & Gooding, M. 2004. Managing roots, nitrogen and fungicides for wheat improvement. HGCA conference.
- Guevara, E. & Guenni, O. 2004. Acumulación y distribución de biomasa en *Leucaena leucocephala* (lam) de Wit., durante la fase de establecimiento. I. Repartición de biomasa. *Zootecnia Tropical* 22(2):147-156.
- Guarino, G. & Alonso, M. 2017. Manejo de la proteína en trigo: fertilización tardía con nitrógeno. Área: Tecnología Agrícola. Recuperado de http://www.cultivaragro.com.ar/capacitaciones/181Manejo_de_la_calidad_en_trigo1496319119.pdf Consultado 17/04/2018.

- Gürsoy, S.; Sessiz, A. & Malhi, S.S. 2010. Short-term effects of tillage and residue management following cotton on grain yield and quality of wheat. *Field Crops Res.* 119:260–268.
- Guppy, C.N.; Menzies, N.W.; Moody, P.W. & Blamey, F.P.C. 2005. Competitive sorption reactions between phosphorus organic matter in soil: A review. *Aust. J. Soil Res.* 43:189-202.
- Gupta, S.C. & Allmaras, R.R. 1987. Models to assess the susceptibility of soils to excessive compaction. *Adv. Soil Sci.* 6:65-100.
- Gupta, S.C.; Larson, W.E. & Linden, D.R. 1983. Tillage and surface residue effects on soil upper boundary temperatures. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47:1212-1218.
- Gutiérrez, M.M.; Ordaz, V.; Castellanos, J.Z.; Aguilar, A.; Gavi, F. & Volker, V.H. 2001. Physical Properties of a Vertisol Affected by Tillage Systems After Four Years of Management *Terra* 19: 67-74.
- Gutiérrez-Boem, F.H.; Álvarez, C.R.; Cabello, M.J.; Fernández, P.L.; Bono, A.; Prystupa, P. & Taboada, M.A. 2008. Phosphorus retention on soil surface of tilled and no-tilled soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72:1158-1162.
- Gutiérrez-Boem, F.H.; Scheiner, J.D.; Moyano, J. & Lavado, R.S. 2002. Cambios en la disponibilidad de Fósforo del suelo por el agregado de fertilizante. *Actas XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del suelo.* Puerto Madryn.
- Hagberg, S. 1960. A rapid method for determining alpha-amylase activity. *Cereal Chem.* 37: 218-222.
- Hall, E.F. & Cholick, F.A. 1989. Cultivar × tillage interaction of hard red spring wheat cultivars. *Agronomy Journal* 81: 789–792.
- Hamza, M.A. & Anderson, W.K. 2005. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Till. Res.* 82: 121-145.
- Heenan, D.P.; Chan, K.Y. & Knight, P.G. 2004. Long-term impact of rotation, tillage and stubble management on the loss of soil organic carbon and nitrogen from a Chromic Luvisol. *Soil Till Res* 76: 59-68.
- Henríquez, C.; Ortiz, O.; Largaespada, K.; Portugués, P.; Vargas, M.; Villalobos, P. & Gómez, D. 2011. Determinación de la resistencia a la penetración, al corte tangencial, densidad aparente y temperatura en un suelo cafetalero, Juan Viñas, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 35(1): 175-184. ISSN: 0377-9424.

- Hernández, R.M. 2000. Efectos de la SD y la LC en la estabilidad estructural y otras propiedades físicas de ultisoles en el Estado de Guarico-Venezuela. *Agronomía Tropical* 50: 19-29.
- Hernández-Córdova, N.; Soto-Carreño, F. & Plana-Llerena, R. 2015. Comportamiento del crecimiento y rendimiento del cultivo del trigo (*Triticum aestivum* L.) en tres fechas de siembra. *Cultivos Tropicales*, 36 (1): 86-92.
- Hossne-García, A.J.; Méndez-Natera, J.R.; Trujillo-Galindo, M.E. Del Valle & Parra-Díaz, F.J. 2012. Interacción de la frecuencia de riego, relación de solidez y tensión cortante en la profundidad de enraizamiento de la soya (*Glycine max* (L.) Merrill.) *Revista Científica UDO Agrícola* 12 (1): 97-105.
- Hossne-García, A.J. & Cedeño-Campos, H.J. 2012. Comparación de tres métodos para determinar densidad aparente y solidez en tres suelos franco-arenosos de sabana. *Revista Científica UDO Agrícola* 12 (4): 861-872.
- Huang, M.; Liang, T.; Wang, I. & Zhou, C. 2015. Effects of no-tillage systems on soil physical properties and carbon sequestration under long-term wheat–maize double cropping system. *Catena* 128(1): 195-202.
- Hugo, W. & Godiño, M. 2000. Tecnología de almacenamiento de granos de trigo. Serie técnica N° 107. Editado por la Unidad de Agronegocios y Difusión. INIA, Uruguay.
- Hurry, G.; Stankowski, S.; Makarewicz, A.; Sobolewska, M.; Biel, W. & Opatowicz, N. 2016. The effect of soil tillage system and nitrogen fertilization on baking quality of winter spelt cultivars. *Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin., Agric., Aliment., Pisc., Zootech.* 330(40)4, 91–100.
- Hussain, K.; Olson, R. & Ebelhar, S.A. 1999. Long-Term Tillage Effects on Soil Chemical Properties and Organic Matter Fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:1335- 1341.
- Ibáñez, J.J. 2006. Las raíces de las plantas y los suelos: Profundidad de enraizamiento. Recuperado de <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/11/23/52182> Consultado el 24/04/2018.
- Iglesias, J.O.; Vallejos, A.; Galantini, J.A.; Bondia, P. & Kleine, C.. 2014. Efecto del tránsito sobre algunas propiedades físicas edáficas en dos sistemas de labranza. *Actas XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Bahía Blanca.
- ILSI (International Life Sciences Institute) Argentina. 2006. Perfil de la composición de la producción del maíz cultivado en la Argentina. Serie de Informes Especiales de ILSI Argentina, Vol II: Maíz y Nutrición, pp: 53-61.

- Ingaramo, O. & Dugo-Paton, E.M. 2003. Influencia de dos sistemas de manejo del suelo sobre el perfil hídrico Paz González, A. IX Conferencia Española de Biometría La Coruña.
- Instituto Tecnológico Agrario de Castilla & León. s.f. Guía para interpretar los resultados de los análisis de las muestras de suelos. Consultado el 01/08/2018. file:///C:/Users/Anita/Desktop/2013-5_Guia_para_interpretar_resultados_analisis.pdf.
- Inzunza-Ibarra, M.A.; Catalán-Valencia, E.A.; Sánchez-Cohen, I.; Villa-Castorena, M. & Román-López, A. 2010. Modelo de producción de trigo bajo déficit hídrico en dos periodos de crecimiento. *Terralatinoamericana* 28(4): 335-344.
- INTA. 1971. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja 3560-24 "Cañuelas" Escala 1:50000.
- INTA Balcarce. 2006. Calidad del grano de maíz. Sitio argentino de producción animal. Suplementación en general en rumiantes. Director: Guillermo Alejandro Bavera. Recuperado de http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion/80-grano_maiz.pdf, Consultado el 16/04/2018.
- Izquierdo, N.G. & Cirilo, A.G. 2013. Usos del maíz. Efectos del ambiente y del manejo sobre la composición del grano. Jornada de Actualización Calidad del grano de maíz para la industria y la producción en bovinos. Balcarce, Bs. As.
- Jackson, M.L. 1976. Análisis químicos de suelo. Ediciones OMEGA, S.A. Casanova 220 Barcelona Tercera Edición.
- Janzen, H.H. 2006. The soil carbon dilemma: shall we hoard it or use it? *Soil Biol. Biochem.* 38: 419-424.
- Jaramillo-Jaramillo, D.F.; Anaya-Gómez, M.L.; Restrepo-Moná, C.A.; González-Sánchez, H.A. & Álvarez-Mejía, F. 2011. Variables físicas que explican la variabilidad de suelo aluvial y su comportamiento espacial. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 46(12):1707-1715.
- Jaramillo-Jaramillo, D.F.; González-Sánchez, H. & Álvarez-Mejía, F. 2008. Variabilidad espacial de algunas propiedades físico - mecánicas de suelos de textura pesada. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia* 3:10-19.
- Jeffrey, A.V. & Randall, G.W. 2004. Corn production as affected by nitrogen application timing and tillage. *Agronomy Journal* 96: 502-509.
- Kara, B. & Mujdeci, M. 2010. Influence of late-season nitrogen application on chlorophyll content and leaf area index in wheat. *Scientific Research and Essays* 5: 2299-2303.

- Karlen, D.L.; Wollenhaupt, N.C.; Erbach, D.C.; Berry, E.C.; Swan, J.B.; Eash, N.S. & Jordahl, J.L. 1994a. Long-term tillage effects on soil quality. *Soil Tillage Res.* 32: 313-327.
- Karlen, D.L.; Varve, G.E.; Bullock, D.G. & Cruse, R.M. 1994b. Crop rotations in the 21 st century. *Advances in Agronomy* 53, 1-45.
- Kay, B.D. & VandenBygaart, A.J. 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organica matter. *Soil Till. Res.* 66: 107-118.
- Khaledian, M.; Mailhol, J.C. & Ruelle, P. 2012. Yield and energy requirement of durum wheat under no-tillage and conventional tillage in the mediterranean climate. *Journal of Biological and Environmental Sciences* 6: 59-65.
- Kirkegaard, J.A.; Angus, J.F.; Gardner, P.A. & Muller, W. 1994. Reduced growth and yield of wheat with conservation cropping. I. Field studies in the first year of the cropping phase. *Austr. J. Agric. Res.* 45: 511-528.
- Kirschenmann, F. 2010. Alternative agriculture in an energy- and resourcedepleting future. *Renew. Agric. Food Syst.* 25: 85–89.
- Kladivko, E.J.; Griffith, D.R. & Mannering, J.V. 1986. Conventional tillage effects on soil properties and yield of corn and soybean in Indiana. *Soil and Tillage Research* 8: 277-287.
- Koppel, R. & Ingver, A. 2008. Comparision of yield and quality traits of winter and spring wheat. *Latvian Journal of Agronomy* 11:83–89.
- Körner, C. 2015. Paradigm shift in plant growth control. *Current Opinion in Plant Biology* 25,107-114.
- Kraska, P. 2011. Content of some elements in grain of spring wheat cv. Zebra depending on soil tillage systems and catch crops. *J. Elem.*, 16(3): 407-419.
- Krizek, D.T.; Carmi, A.; Mirecki, R.M.; Synder, F.W. & Bunce, J.A. 1985. Comparative effects of soil moisture stress and restricted root zone volume on morphogenetic and physiological responses of soybean (*Glycine max* (L.) Merr). *J. Exp. Botany*, 36, 25–38.
- Kumar, K. & Goh, M. 2000. Crop residues and management practices: effects on soil quiality, soil nitrogen dynamics, crop yield and nitrogen recovery. *Adv. Agron.* 69: 197-319.
- Laborde-Gennari, J.F. 2018. Análisis del rendimiento y porcentaje de proteínas de variedades de trigo pan con fertilización nitrogenada temprana y fertilización tardía con

- nitrógeno y azufre. Práctica Pre Profesional de Integración Carrera de Ingeniería Agronómica, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Centro, Buenos Aires.
- Lal, R. 1989. Conservation tillage for sustainable agriculture: tropics versus temperate environments. *Advances in Agronomy* 42: 85-197.
- Lal, R. 1994. Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics. USDA-The Ohio State University. SMSS Technical Monograph. 21.
- Lal, R.; Logan, T.J.; Eckert, D.J.; Dick, W.A. & Shipitalo, M.J. 1994. Conservation tillage in the Corn Belt of the United States. pp. 73-114. In: Carter, M.R. (ed.). *Conservation tillage in temperate agroecosystems*. Lewis Publishers/ C.R.C. Press. Boca Raton, FL.
- Lal, R. 2010. Enhancing eco-efficiency in agro-ecosystems through soil carbon sequestration. *Crop. Sci.* 50: S120-S131.
- Lampurlanés, J. & Cantero-Martínez, C. 2003. Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop managements systems and their relationship with barley root growth. *Agron. J.* 95: 526-536.
- Landriscini, M.R.; Martínez, J.M. & Galantini, J.A. 2015. Fertilización foliar con nitrógeno en trigo en el sudoeste bonaerense. *Ciencia del Suelo*, 33(2): 183-196.
- Lattanzi, A.; Marelli, H.; Signorile, O.; Aragón, J. & Distefano, S. 2014. La siembra directa: presente y futuro. Información recopilada para INTA Expone 2004 en la Pampa Húmeda.
- Lázaro, L.; Ressia, J.M.; Mendivil, G.; Agostini, M.; de Pablo, C. & Balbuena, C. 2004. Rendimiento de trigo y sistemas de labranzas. *Actas del VI Congreso Nacional de Trigo, IV Simposio Nacional de Cultivos de Siembra Otoño-Invernal*. Bahía Blanca: 147.
- Lerner, S.E.; Adriel, M.R.; Ponzio, N.R. & Rogers, W.J. 1998. Rol de la relación N/S sobre el rendimiento y algunos parámetros de calidad de trigo pan. *IV Congreso Nacional de Trigo*. Mar del Plata 11, 12 y 13 de Noviembre. 3-32.
- Lezcano, E., 2007. Análisis de cadenas alimentarias: Informe sobre trigo y sus derivados. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, Argentina.
- Lezcano, E. 2010. Informe sectorial N°5: Farináceos. Dirección Nacional de Transformación y Comercialización de Productos Agrícolas y Forestales; Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Argentina.

- Lipiec, J. & Hakansson, I. 2000. Influences of degree of compactness and matric water tension on some important plant growth factors. *Soil Till. Res.* 53, pp 87-94.
- Logsdon, S.D. & Cambardella, C.A. 2000. Temporal changes in small depth-incremental soil bulk density. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 710-714.
- López-Bellido, L.; Fuentes, M.; Castillo, J.E. & López-Garrido, F.J. 1996. Long-term tillage, crop rotation and nitrogen fertilizer effects on wheat yield under rainfed Mediterranean conditions. *Agronomy Journal* 88: 783-791.
- López-Bellido, L.; López-Bellido, R.J.; Castillo, J.E. & López-Bellido, F.J. 2001. Effects of long-term tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on bread-making quality of hard red spring wheat. *Field Crops Res.* 72:197–210
- López, R. 2010. Laboreo de conservación. Efectos a corto y largo plazo sobre la calidad del suelo y el desarrollo de los cultivos. Tesis presentada para optar por el grado de doctora en ciencias. Universidad de Sevilla, España.
- López, J.; Vázquez, C.; Salazar, E.; Zúñiga, R. & Trejo, H. 2010. Sistemas de labranza y Efectos de la labranza sobre algunas variables físicas en un suelo Oxic Haplustalf del Yaracuy medio bajo cultivo de maíz fertilización en la producción de maíz forrajero. *Revista Internacional de Botánica Experimental.* 79: 47-54.
- Lorenz, K. & Lal, R. 2005. The depth distribution of soil organic carbon in relation to land use and management and the potential of carbon sequestration in subsoil horizons. *Adv. Agron.* 88:35–66.
- Maddoni, G.A.; Urricariet S.; Ghersa C.M. & Lavado, R.A. 1999. Assesing Soil Quality in the Rolling Pampa, Using Soil Propierties and Maize Characteristics. *Agronomy Journal.* 91(2): 280-287.
- Malik, A.H.; Prieto-Linde, M.L.; Kuktaite, R.; Andersson, A. & Johansson, E. 2011. Individual and interactive effects of cultivar maturation time, nitrogen regime and temperature level on accumulation of wheat grain proteins. *Journal of the Science of Food and Agriculture,* 91, 2192-2200.
- Manangón-Monteros, P.R. 2014. Evaluación de siete variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.) con tres tipos de manejo nutricional, a 2890 msnm Juan Montalvo-CVayambe-2012. Quito. 111 pp. Recuperado de <file:///C:/Users/Anita/Desktop/UPS-YT00040.pdf> Consultado el 12/04/2018.
- Manso, M.L.; Studdert, G.A.; Forján, H.J. & San Martino, S. 2012. Efecto de sistemas de labranza contrastantes sobre algunas propiedades de un molisol de Tres Arroyos bajo distintos usos previos. *Rev. FCA UNCUYO* 44: 85-99, Mendoza.

- Manso, L.; Forján, H.; Molfese, E.; Astiz, V. & Seghezzo, M.L. 2014. Secuencia de cultivos con diferentes labranzas: siembra directa y labranza convencional producción de trigo pan. Informe Técnico-Cultivos de fina 2013/14 - CEI Barrow. Recuperado de https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_barrow_secuencia_de_cultivos_con_diferentes_la.pdf.
- Martens, D.A. 2000. Nitrogen cycling under different soil management systems. *Advances in Agronomy* 70:143-191.
- Martín, G.O. sf. Cultivo de maíz. Cátedra de Forrajes y Cereales - FAZ – UNT. Recuperado de <http://ecaths1.s3.amazonaws.com/forrajicultura/CultivoMaiz.pdf> Consultado el 16/04/2018.
- Martínez, E.H.; Fuentes, J.P. & Acevedo, E.H. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Suelo Nutr. Veg.* 8 (1): 68-96.
- Martínez, J.M.; Landriscini, M.R.; Galantini, J.A.; Duval, M. & Cerda, C.C. 2012. Predicción del rendimiento en trigo mediante la utilización del índice de verdor. XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina.
- Martino, D.L. 2003. Manejo de restricciones físicas del suelo en sistemas de siembra directa, Grupo de Riego, Agroclima, Ambiente y Agricultura Satelital (GRAS) del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria de Uruguay, Montevideo.
- Mazzilli, S.R.; Kemanian, A.R.; Ernst, O.R.; Jackson, R.B. & Piñeiro, G. 2014. Priming of soil organic carbon decomposition induced by corn compared to soybean crops. *Sol Biol. Biochem.* 75. 273-281.
- Maydup, M.L. 2013. Contribución de la fotosíntesis de la espiga al rendimiento de trigo pan (*Triticum aestivum*) en condiciones limitadas por la disponibilidad de asimilados post-antesis. Tesis doctoral. La Plata, Argentina.
- Meira-Cássaro, F.A.; Kuhn-Borkowski, A.; Pires, L.F.; Aparecido-Rosa, J. & Da Costa-Saab, S. 2011. Characterization of a Brazilian clayey soil submitted to conventional and no-tillage management practices using pore size distribution analysis. *Soil & Tillage Research* 111(2): 175-179. ISSN: 0167-1987.
- 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.
- Mikha, M.M. & Rice, C.W. 2004. Tillage and manure effects on soil and aggregate-associated carbon and nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 809-816.

- Millares, D.J.; González, F.G.; Abeledo, L.G.; Serrago, R.A.; Azuela I.; de San Caledonio, R.P. & Lovalvo, P. 2014. Manual de trigo y cebada para el cono sur procesos fisiológicos y bases de su manejo. 1^{er} edición. Orientación Gráfica Editora. 48 pp. Recuperado de http://www.agroconsultasonline.com.ar/ticket.html/Miralles%20%20Manual%20de%20Trigo%20%20press.pdf?op=d&ticketid=9972&evento_id=20750. ISBN. 978-987-1922-07-9. Consultado 15/12/15.
- Miller, P. & Brandt, S. 2001. Using growing degree days to predict plant stages. Montguide Extension Service, Montana State University. 8 p.
- MINAGRI. 2011. Estimaciones agrícolas. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca de la Nación Recuperado de www.minagri.gob.ar.
- Ministerio de agroindustria. 2017. Estimaciones agrícolas. Informe mensual 21 de diciembre, Buenos Aires, Argentina Recuperado de https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/estimaciones/_archivos/estimaciones/171200_Diciembre/171221_Informe%20Mensual%2021%2012%2017.pdf Consultado el 16/04/2018
- Ministerio de agroindustria. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca. 2018. Subsecretaria de agricultura, dirección Nacional de Estimaciones, Delegación de Estudios Económicos. Recuperado de <http://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>. Consultado el 10/04/2018.
- Ministerio de Asuntos Agrarios de la provincia de Buenos Aires (MAA). 2007. Nuestra Provincia Nuestro Campo. La Plata, Buenos Aires.
- Miravalles M.T.; Fioretti, M.N.; Mirassón, H.; Faraldo, M.L; Möck, L. & Brevedad, R.E. 2013. Efecto del sistema de labranza sobre el rendimiento y la calidad del grano de trigo pan en la zona semiárida central templada de La Pampa PYTON 82: 263-273. ISSN 0031 9457.
- Molfese, E.R. 2016. Caracterización de la Calidad del Trigo Pan en el Centro Sur Bonaerense. 1^{er} ed Buenos Aires. Ediciones INTA.
- Morandini, M.; Hernández, C.F.; Rojas-Quinteros, H.C. & Sanzano, A.G. 2009. Efecto de la conservación de residuos de cosecha de la caña de azúcar en la temperatura de un suelo Argiudol típico de la Llanura Chacopampeana subhúmeda-húmeda (Tucumán-Argentina). Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán 86 (1): 15- 23.
- Moret, D. & Arru'e, J.L. 2007. Dynamics of soil hydraulic properties during fallow as affected by tillage. Soil Tillage Res. 96: 103-113.

- Morrás, H.J.M.; Bonel, B.A. & Michelena, R. 2004. Características microestructurales del horizonte superficial de algunos suelos pampeanos bajo siembra directa. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, AACCS. Paraná, Argentina.
- Morris, N.L., Miller, P.C.H., Orson, J.H. & Froud-Williams, R.J. 2010. The adoption of non-inversion tillage systems in the United Kingdom and the agronomic impact on soil, crops and the environment – A review. *Soil and Tillage Research*, 108: 1–15.
- Morrison, J.E.; Gerik, T.J.; Chichester, F.W.; Martin, J.R. & Chandler, J.M. 1990. A no-tillage farming system for clay soils. *J. Prod. Agric.* 3: 219-227.
- Muller, J.E. & Whitsitt, M.S. 1996. Plant cellular response to water deficit. *Plant Growth Regul.*, 20: 41- 46.
- Mulqueen, J.; Stafford, J.V. & Tanner, D.W. 1977. Evaluating penetrometers for measuring soil strength. *J. Terramech.* 14: 137-151.
- Murage, E.W.; Voroney, P.R.; Kay, B.D.; Deen, B. & Beyaert, R.P. 2007. Dynamics and turnover of soil organic matter as affected by tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71(4):1363-1370.
- Nápoles-Hernández, N. 2007. Evaluación financiera del cultivo del maíz con labranza de conservación tesis para ingeniero agrónomo especialista en suelos. Universidad Autónoma de Chapingo México.
- Navarrete, M.D.; Gallopin, G.; Blanco, M.; Díaz-Zorita, M.; Ferraro, D.; Herzer, H.; Laterra, P.; Morello, J.; Murmis, M.R; Pengue, W.; Piñeiro, M.; Podestá, G.; Satorre, E.H.; Torrent, M.; Torres, F.; Viglizzo, E.; Caputo, M.G. & Celis, A. 2005. Análisis sistémico de la agriculturización en la pampa húmeda argentina y sus consecuencias en regiones extra-pampeanas: sostenibilidad, brechas de conocimiento e integración de políticas. *Serie Medio Ambiente y Desarrollo*, 118. CEPAL, Chile, 65 pp.
- Nielsen, S. (Ed). 1998. *Food Analysis Second Edition*; An Aspen Publication, Gaithersburg, Maryland.
- Nollet, L.M.L. (Ed). 1996. *Handbook of Food Analysis*; M. Dekker, Nueva Cork.
- NORMA IRAM-SAGyP 29570-1. 2010. Norma Argentina. Calidad ambiental y calidad de suelo. Determinaciones de fósforo extraíble de los suelos. 1º edición. 20 pp.
- Núñez, R. & Kamprath, E. 1969. Relationships between N response, plant population and row width on growth and yield of corn. *Agronomy Journal, Madison*, 61: 279- 282.
- Nyamangara, J.; Nyazaradzo-Masvaya, E.; Tirivavi, R. & Nyengerai, K. 2013. Effect of no-till based conservation agriculture on soil fertility and in selected smallholder areas in Zimbabwe. *Soil Till. Res.* 126:19-25.

- Ohno, T.; Griffin, T.S.; Liebma, M. & Porter, G.A. 2005. Chemical characterization of soil phosphorus and organic matter in different cropping systems in Maine, U.S.A. *Agriculture, ecosystems and environment* 105:625- 634.
- Orhum, G.E. & Korkuy, K.Z. 2011. Interrelationships among the oil and fatty acids in maize. *African Journal of Agricultural Research*. 6(9): 2115-2117
- Oropesa, J.P. 2012. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre rendimiento y calidad en trigo y cebada. Trabajo final de graduación para optar por el título de: Ingeniero en Producción Agropecuaria. Pontificia Universidad Católica Argentina, Facultad de Ciencias Agrarias, Ingeniería en Producción Agropecuaria. Recuperado de <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/greenstone/collect/tesis/tmp/efecto-fertilizacion-nitrogenada.html>. Consultado el 11/04/2018.
- Osuji, G.E. 1984. Water storage, water use and maize yield for tillage systems on a tropical alfisol in Nigeria. *Soil and Tillage Research* 4: 339-348.
- O'Sullivan, M.F. & Ball, B.C. 1982. A comparison of five instruments for measuring soil strength in cultivated and uncultivated cereal seedbeds. *J. Soil Sci.* 33: 597-608.
- Padilla, J.M. & Otegui, M.E. 2005. Coordination between leaf initiation and leaf appearance rates in field grown maize (*Zea mays* L.): genotypic differences in response to temperature. *Annals of Botany*, 96:997-1007.
- Pagani, A.; Echeverría, H.E. & Sainz-Rozas, H. 2009. Respuesta a nitrógeno y azufre en el cultivo de maíz en diferentes ambientes de la Provincia de Buenos Aires. *Ciencia Suelo* 27(1):21-29.
- Palma, R.M.; Arrigo, N.M. & Conti, M.E. 1997. Siembra directa y labranza convencional: cambios que produce a largo plazo la fertilización sobre las fracciones de carbono y nitrógeno del suelo. *Rev. Facultad de Agronomía*, 17(3):313-317.
- Panayiotopoulos, K.P.; Papadopoulou, C.P. & Hatjioannidou, A. 1994. Compaction and penetration resistance of an Alfisol and Entisol and their influence on root growth of maize seedlings. *Soil Tillage Res.* 31: 323-337.
- Papucci, S.P. 2008. Efecto del manejo sobre la calidad Comercial e industrial en maíz (*Zea mays* L.) *Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias - UNR*. Año VIII - N° 14. Zavalla. Santa Fe.
- Park, S.H.; Bean, S. R.; Chung, O.K. & Seib, P.A. 2006. Levels of Protein and Protein composition in hard winter wheat flours and the relationship to breadmaking. *Cereal Chem.* 83(4): 418-423.

- Park, E.Y.; Baik, B.K.; Machado, S.; Gollany, H.T. & Fuerst, E.P. 2015. Functional and Nutritional Characteristics of Soft Wheat Grown in No-till and Conventional Cropping Systems. *Cereal Chemistry*, 92(3), 332-338.
- Parra, B.J.; Becker, A.R. & Cantú, M.P. 2011. Condición física de suelos en diferentes sistemas de manejo agrícolas del centro sur de Córdoba. *Cienc. Suelo* 29(2):241-251.
- Passioura, J. 2002. Soil conditions and plant growth. *Plant Cell Environ.* 25: 311-318.
- Pearson, D. 1993. Técnicas de laboratorio para el análisis de alimentos; Acribia, S.A. Zaragoza, España.
- Peigne, J. 2014. Wheat yield and quality as influenced by reduced tillage in organic farming. *Organic Agric.* 4(1), 1–13.
- Peltzer, H.F. 1999. Efectos de la longitud del barbecho químico sobre la disponibilidad de agua y nitratos a la siembra y los rendimientos de maíz. *Jornadas de Intercambio Técnico de Maíz, Pub. Téc. por Cultivo, AAPRESID, Rosario.* 27-30.
- Peña, R.; Pubiano, Y.; Peña, A. & Chávez, B. 2009. Variabilidad espacial de los atributos de la capa arable de un inceptisol del piedemonte de la cordillera Oriental (Casanare, Colombia). *Agronomía Colombiana* 27:111-120.
- Pires-Da Silva, A.; Imhoff, S.; Giarola, N.F.B. & Tormena, C.A. 2001. Análisis multivariado y univariado en la discriminación de sistemas de uso de suelos del centro de Santa Fe. *EDAFOLOGÍA* 8:21-34.
- Pinilla-Quezada, H. & Herrera-Floody, L.E. 2008. Efecto de la fertilización nitrogenada tardía en aspectos de calidad panadera en trigo (*Triticum aestivum* L.). *IDESIA* N° 1, 26: 77-81.
- Pisco, R.R.; Taboada, M.A. & Gil, R. 2006. Efectos a largo plazo de la labranza convencional y la siembra directa sobre las propiedades físicas de un argiudol típico de la Pampa Ondulada Argentina. *Revista Fac Nal Agr Medellín* 59(1): 3237-3256.
- Poorter, H. 2002. Plant growth and carbon economy. En: *Encyclopedia of life science*, Macmillan Publishers Ltd, Nature Publishing Group.
- Poorter, H.; Lambers, H. & Evans, J.R. 2014. Trait correlation networks: a whole-plant perspective on the recently criticized leaf economic spectrum. *New Phytologist* 201 (2), 378-382.
- Powlson, D.S.; Stirling, C.M.; Jat, M.L.; Gerard, B.G.; Palm, C.A.; Sánchez, P.A. & Cassman, K.G. 2014. Limited potencial of no-till agricultura for climate change mitigation. *Nature Climate Ch.* 4: 678-683.

- Pringas, C. & Koch, H.J. 2004. Effects of long term minimum tillage on yield and quality of winter wheat as affected by previous crop-results from 9 years of on-farm research. *Pflanzenbauwissenschaften* 8:24–33.
- Puget, P. & Lal, R. 2005. Soil organic carbon and nitrogen in a Mollisol in central Ohio as affected by tillage and land use. *Soil Tillage Res.* 80: 201-213.
- Quaini, K.P. 2011. Análisis espacio-temporal de la cuenca matanza riachuelo, provincia de Buenos Aires. Tesis para acceder al título de: Magister en Aplicaciones Espaciales de Alerta y Respuesta Temprana a Emergencias Temática: Emergencia ambiental. CONAE- IG. UNC. Recuperado de http://ig.conae.unc.edu.ar/wp-content/uploads/sites/68/2017/08/2009_Quaini-Karina.pdf. Consultado el 29/12/18.
- Quiroga, A.; Buschiazzo, D. & Peinemann, N. 1996. Soil organic matter particle size fractions in soils of the Semiarid Argentinean Pampas. *Soil Sci.* 161, 104–108.
- Quiroga, A. & Funaro, D. 2003. Indicadores de calidad de suelos. Recuperado de <http://www.aacrea.org.ar/soft/Nº275.htm#notatapa>: 83-91. Tomado de Campitelli *et al.*, 2010.
- Quiroga, R.A & Studdert, G.A. 2014. Manejo del suelo e intensificación agrícola: agua y materia orgánica, dos aspectos clave. En Echeverría, H.E. y García, F.O. (eds). *Fertilidad de los suelos y fertilización de los cultivos*. 2^{da} edición. Ediciones INTA. Buenos Aires. Pp: 73-100.
- Rachoń, L.; Szumiło, G.; Brodowska, M. & Woźniak, A. 2015. Nutritional value and mineral composition of grain selected wheat species depending on the intensity of a production technology. *J. Elem.*, 20: 705-715.
- Rafiq, M.A.; Ali, A.; Malik, M.A. & Hussain, M. 2010. Effects of fertilizer levels and plant densities on yield and protein contents of autumn, planted maize. *Pak. J. Agri. Sci.*, 47(3): 201-208.
- 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.
- Ramírez-Ramírez, J. & Ayala-Aceves, M. 2014. Enzimas: ¿qué son y cómo funcionan?. 15(12) ISSN 1607 – 6079.
- Ramos, M.C.; Cots-Folch, R. & Martínez-Casasnovas, J.A. 2007. Effects of land terracing on soil properties in the Priorat region in Northeastern Spain: A multivariate analysis. *Geoderma (Amsterdam)* 142 (3 - 4): 251 – 261.

- Ramírez-Pisco, R.; Taboada, M.A. & Gil, R. 2006. Efectos a largo plazo de la labranza convencional y la siembra directa sobre las propiedades físicas de un argiudol típico de la pampa ondulada Argentina. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín*. 59(1). p: 3237-3256.
- Reicosky, D.C. 2003. Tillage-induced soil properties and chamber mixing effects on gas exchange. *In: Proceedings of International Soil Tillage Research Organizations*. Brisbane, Australia. 17 pp.
- Reicosky, D.C. 2005. Zero Tillage's Impact on Organic Matter. Zero Tillage and Winter Wheat Workshop, Brandon, Manitoba, Canadá.
- Reussi-Calvo, N.I.; Echeverría, H.E. & Sainz-Rosas, H. 2006. Respuesta del cultivo de trigo al agregado de azufre en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 24: 77-87.
- Rizzalli, R. 1998. Siembra directa y convencional de maíz ante distintas ofertas de nitrógeno. Tesis Magister Scientiae. Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Agrarias, Balcarce. 35p.
- Ritchie, S. & Hanway, J.J. 1982. How a corn plant develops. Iowa State Univ. Technol. Spec. Rep. 48 pp.
- Robutti, J.L. 2004. Calidad y Usos del Maíz. IDIA XXI: revista de información sobre Investigación y Desarrollo Agropecuario, 4(6): 100-104.
- Rodríguez-González, A.; Arcia-Porrúa, J.; Martínez-Cañizares, J.A.; García-Lamas, J.; Cid-Lazo, G. & Fleites-Castro, J. 2015. Los sistemas de labranza y su influencia en las propiedades físicas del suelo. *Revista Ingeniería Agrícola* 5(2): 55-60.
- Rohlmann, F.M. 2007. Descompactación de un suelo bajo siembra directa mediante el uso de labranza vertical o labranza convencional. Tesis de grado. Universidad Nacional del Sur. Argentina.
- Rotenberg, D.; Jiménez-Wells, A.; Chapman, E.J.; Whitfield, A.E.; Goodman, R.M. & Cooperband, L.R. 2007. Soil properties associated with organic matter-mediated suppression of bean root rot in field soil amended with fresh and composted paper mill residuals. *Soil Biol. Biochem* 39: 2936-2948.
- Rosolem, C.A.; Foloni, J.S.S. & Tiritan, C.S. 2002. Root growth and nutrient accumulation in cover crops as affected by soil compaction. *Soil Till. Res.* 65: 109-115.
- Ross, A.S.; Flowers, M.D.; Zemetra, R.S. & Kongraksawech, T. 2012. Effect of Grain Protein Concentration on Falling Number of Ungerminated Soft White Winter Wheat. *Cereal Chemistry*. 89 (6):307-310.

- Royo, C., Aparicio, N., Blanco, R. & Villegas, D. 2004. Leaf and green area development of durum wheat genotypes grown under mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy* 20: 419-430.
- Ruffo, M.L.; Bollero, G.A.; Hoefl, R.G. & Bullock, D.G. 2005. Spatial Variability of the Illinois Soil Nitrogen Test: Implications for Soil Sampling. *Agron. J.* 97: 1485-1492.
- Ruiz-Corral, J.A.; Medina-García, G.; González-Acuña, I.J.; Flores-López, H.E.; Ramírez-Ojeda, G.; Ortiz-Trejo, C.; Byerly-Murphy, K.F. & Martínez-Parra, R.A. 2013. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro Campo Experimental Centro Altos de Jalisco Tepatitlán de Morelos, Jalisco, Libro Técnico N° 3, ISBN: 978-607-37-0188-4.
- Sadras, V.O. & Calviño, A. 2001. Quantification of grain yield response to soil depth in soybean, maize, sunflower, and wheat. *Agron. J.* 93 (3):577-583.
- Sadras, V.O.; O'Leary, G.J. & Roget, D.K. 2005. Crop responses to compacted soil: capture and efficiency in the use of water and radiation. *Field Crops Res.* 91: 131-148.
- Sainz-Rozas, H.; Echeverría, H. & Angelini, H. 2012. Fósforo disponible en suelos agrícolas de la región Pampeana y Extra Pampeana Argentina. *RIA Vol.* 38 (1): 33-39.
- Salamanca, J.A. & Sadeghian, K.S. 2004. La densidad aparente en suelos de la zona cafetera y su efecto sobre el crecimiento del cafeto. *Avances Técnicos Cenicafe*326:1-8.
- Salomón, N.; Aldalur, B.; Cuniberti, M. & Miranda, R. 2013. Distribución de la calidad del trigo pan argentino utilizando mapas del sistema de información geográfica. *RIA* 39 (1):41-50.
- Raza, S.; Khalil, S.; Naseem, K.; Gilani, M.A.; Amjad., M.; Maqsood, R. & Naqvi, S.M.S. 2010. Effect of house hold storage receptacles on physico chemical characteristics of wheat. *Sarhad J. Agric.* 26 (2): 275-287. Recuperado de: https://www.aup.edu.pk/sj_pdf/EFFECT%20OF%20HOUSE%20HOLD%20STORAGE%20RECEPTACLES%20ON.pdf. Consultado el 09/12/18.
- SAMPLA. 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. Buenos Aires, Argentina. 120 pp.
- Sánchez, M.C.; Heredia, O.S.; Arrigo, N.; Bartoloni, N. & González, C.C. 2012. Carbono orgánico y la actividad microbiológica del suelo: efectos de rotaciones y labranzas. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. ISBN 978-987-1829-11-8.

- Sánchez-Ortega, I. 2014. Maíz I (*Zea mays*). Reduca (Biología) Serie Botánica. 7 (2): 151-171. ISSN: 1989-3620.
- Santacruz-Cáceres, W.E.; Florentin-Rolón, M.A. & Ovelar, M.G. 2006. Sistema de manejo de suelos para pequeñas fincas: efectos sobre las propiedades químicas del suelo y el rendimiento de maíz (*Zea mays*) departamento de San Pedro. Investigación agraria 8(1): 25-31.
- Sasal, M.C.; Andriulo, A.E. & Taboada, M.A. 2006. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinian Pampas. Soil Till. Res. 87: 9-18.
- Sasal, M.C.; Castiglioni, M & Wilson, M. 2010. Effect of crop sequences on soil properties and runoff on natural rainfall erosion plots under no tillage. Soil Till. Res. 108: 24-29.
- Sasal, M.C. 2012. Factores condicionantes de la evolución estructural de suelos limosos bajo siembra directa. Efecto sobre el balance de agua. Tesis Doctoral de la Universidad de Buenos Aires, Área Ciencias Agropecuarias.
- Saxton, K.E. & Rawls, W.J. 2006. Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. Soil Sci. Soc. AmJ., Vol 70:1569-1578
- Sempé, M. & Chidichimo, H.O. 2004. Efecto del sistema de labranza en la calidad industrial de trigo. Actas VI Congreso Nacional de trigo. Bahía Blanca, Bs. As. 20-22 pp. 312-313.
- Sena, M.M.; Frighetto, R.T.S.; Vlarini, P.J.; Tokeshi, H. & Poppi, R.J. 2002. Discrimination of management effects on soil parameters by using principal component análisis: a multivariate analysis case study. *Soil Till. Res.* 67: 171-181.
- Serna-Saldivar, S.R.O. 2009. Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. D.F. Mexico: AGT Editor.
- Servicio Meteorológico Nacional. s.f. Estadísticas Climatológicas Normales - período 1981-2010 tomados en la estación Ezeiza. Recuperado de <https://www.smn.gob.ar/descarga-de-datos> Consultado el 25/01/2019.
- Shi, Z.; Wang, K.; Bailey, J.S.; Jordan, C. & Higgins, A.H. 2002. Temporal changes in the spatial distributions of some soil properties on a temperate grassland site. Soil Use Manage. 4: 353-362.
- Shukla, M.K.; Lal, R. & Ebinger, M. 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis. Soil Hill. Res. 87:194-204.

- Silva, P. & Acevedo, E. 2005. Adopción de la cero labranza en los principales cultivos anuales. Identificación de problemas y posibles soluciones. Informe para SAG e INDAP. 26pp.
- Singletary, G.W.; Doehlert, D.C.; Wilson, C.M.; Muhitch, M.J. & Below, F.E. 1990. Response of enzymes and storage proteins of maize endosperm to nitrogen supply. *Plant physiology* 94, 858-864.
- Sissons, M. 2008. Role of durum wheat composition on the quality of pasta and bread. *Food* 2: 75-90.
- Slafer, G.A.; Miralles, D.J.; Savin, R.; Whitchurch, E.M. & González, F.G. 2003. Producción de granos base funcional para su manejo. Capítulo 7: 99-132. Editorial Facultad de Agronomía. UBA. Primera edición. ISBN 950-29-0713-2.
- Schneider, E.C. & Gupta, S.C. 1985. Corn emergence as influenced by soil temperature, matric potential and aggregate size distribution. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:415-422.
- Seguezzo, M.L. & Molfese, E.R. 2006. Calidad en Trigo Pan. Laboratorio Técnico de calidad Industrial de Granos INTA Barrow. Boletín Técnico N° 41. ISSN 0327-8735.
- Soil Science Society of America. 2008. Glossary of Soil Science Terms. Eds. Soil Science Society of America, 88 pp.
- Soil Survey Staff. 2010. Claves para la taxonomía de suelos. 11th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service. Washington, DC, USA. 374 pp.
- Six, J.; Bossuyt, H.; Degryze, S. & Deneff, K. 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota and soil organic matter dynamics. *Soil Tillage Res.* 79: 7-31.
- Sokolowski, A.C.; Paladino, I.R.; Barrios, M.B.; Wolski, J.E.; Gagey, M.C.; De Grazia, J.; Rodríguez H.A.; Debelis, S.; Rodríguez-Frers, E.P. & Buján A. 2018. Relación entre propiedades del suelo, calidad y productividad de “Triticum aestivum” bajo dos sistemas de labranza. Actas del XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo: Legado Social de Edición Limitada. San Miguel de Tucumán, Tucumán. pp 574-580.
- Solbrig, O. & Morillo, J. 1997. Reflexiones generales sobre el deterioro de la capacidad productiva de la pampa Húmeda argentina. 1- 28. En: Morello, J. y Solbrig, O. ¿Argentina granero del mundo: hasta cuándo? Orientación Gráfica Editora. 171- 183.

- Souza, Z.M.; Marques-Júnior, J.; Pereira, G.T. & Sánchez-Sáenz, C.M. 2009. Spatial variability of aggregate stability in Latosols under sugarcane. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 33:245-253.
- Soracco, G.C.; Filgueira, R.; Sarli, G.O.; Fournier, L.L.; Gelati, P. & Hilbert, J. 2009. Persistencia del efecto del subsolado sobre el movimiento del agua en el suelo en siembra directa. Uso de dos modelos teóricos. *Ciencia Suelo* 27(1):77-87.
- Soracco, C.G.; Lozano, L.A.; Sarli, G.O.; Gelati, P.R. & Filgueira, R. 2010. Anisotropy of Saturated Hydraulic Conductivity in a soil under conservation and no-till treatments. *Soil & Tillage Research* 109: 18-22.
- Soto, F.; Plana, R. & Hernández, N. 2009. Influencia de la temperatura en la duración de las fases fenológicas del trigo harinero (*Triticum aestivum* ssp. *Aestivum*) y triticale (*X Triticum secale* Wittmack) y su relación con el rendimiento. *Cultivos Tropicales*, 30(2):32-36.
- Sprague, G.F. & Dudley, J.W. 1988. *Corn and Corn Improvement*, 3er Ed. Agronomy N°18, Am. Soc. Of Agronomy Inc. Madison, WIS, USA.
- Steinbach, H.S. & Álvarez, R. 2007. ¿Afecta el sistema de labranza las propiedades físicas de los suelos de la Región Pampeana?. *Informaciones Agronómicas* 33:7-12.
- Stevenson, F.J. 1986. *Cycles of soil. Carbón, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients*. New York, J Wiley & Sons, 379 p.
- Stone, L.R. & Schlegel, A. 2010. Tillage and Crop Rotation Phase Effects on Soil Physical Properties in the West-Central Great Plains. *Agronomy Journal - AGRON J.* 102.10.2134/agronj2009.0123.
- Strudley, M.W.; Green, T.R & Ascoug, J.C. 2008. Tillage effect on soil hydraulic properties in space and time: state of the science. *Soil Till Res.* 99: 4-48.
- Studdert, G.A. & Echeverría, H. 2000. Crop rotation and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 1496- 1503.
- Suñer, L.; García, R.; Duval, M.; Martínez, J.; López, F; Forjan, H.; Manso, L. & Galantini, J. 2014. Fósforo edáfico en secuencias de cultivos bajo siembra directa en el centro sur bonaerense. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Reunión Nacional “Materia Orgánica y Sustancias Húmicas”. Producción sustentable en ambientes frágiles. Bahía Blanca.
- Taboada, M.A. 1998. Compactación superficial causada por la siembra directa, y regeneración estructural en suelos franco limosos pampeanos. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. pp. 361-374.

- Taboada, M.A. & Álvarez, C.R. 2007. Soil physical properties and soybean (*Glycine max*, Merrill) root abundance in conventionally- and zero-tilled soils in the humid Pampas of Argentina. *R. Bras. Ci. Solo* 32: 769-779.
- Taboada, M.A.; Micucci, F.G. & Álvarez, C.R. 2008. Impedancias mecánicas y compactación en suelos agrícolas. En: Taboada, M.A.; Álvarez, C.R. (eds.). *Fertilidad física de los suelos*. 2da ed. Facultad de Agronomía, UBA p. 94-153.
- Taboada, M.A. & Varela, M.F. sf. Impactos de las rotaciones de cultivos sobre los suelos. Aapresid. Recuperado de <http://www.aapresid.org.ar/wpcontent/uploads/2014/12/Rotacionde cultivos Taboada.docx.pdf>. Consultado el 08/08/2018.
- Tanaka, W.; Cirilo, A. & Ruiz, R. 2005. El manejo agronómico de maíz colorado afecta la calidad comercial del grano. *Actas del 8 Congreso Nacional de Maíz*. AIANBA pp: 67-70. Rosario, Santa Fe.
- Tanaka, W. & Maddonni, G. 2009. Maize Kernel Oil and Episodes of Shading during the Grain-Filling Period. *Crop Sci.*, 49: 2187–2197.
- Tang, Y.; Wu, X.; Li, C.; Wu, C.; Ma, X. & Huang, G. 2013. Long-term Effect of Year-Round Tillage Patterns on Yield and Grain Quality of Wheat. *Plant Prod. Sci.* 16(4): 365-373.
- Taner, A.; Zafer-Arisoy, R.; Kaya, Y.; Gültekin, I. & Partigöç, F. 2015. The effects of various tillage systems on grain yield, quality parameters and energy indices in winter wheat production under the rainfed conditions. *Fresenius Environmental Bulletin* 24(4):1463-1473.
- Tawainga, W.K., Cox, W.J. & Van Es, H.M. 2002. Tillage and rotation effects on soil physical characteristics. *Agronomy Journal* 91: 299-304.
- Temperly, R.J. & Borges, R. 2005. Tillage and crop rotation impact on soybean grain yield and composition. *Agron. J.*, 98(4): 999-1004.
- Threadgill, E.D. 1982. Residual tillage effects as determined by cone index. *Transactions of the ASAE, St. Joseph*, 25(4): 859- 863.
- Timm, J. & Serruya, V. 2009. Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales en la Cuenca Matanza - Riachuelo, Argentina. Recuperado de <http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=2324>. Consultado 05/06/15.
- Tiendall, D.; Joerin, J.; Kopainsky, B.; Edwards, P.; Shreck, A.; Le, Q.; Kruetli, P.; Grant, M. & Six, J. 2015. Fod system resilience: Defining the Concept. *Global Food Security* 6: 17-23.

- Tisdall, J.M. & Adem, H.H. 1986. Effect of water content of soil at tillage on size-distribution of aggregates and infiltration. *Aust. J. Exp. Agric.* 26: 193-195.
- Tollenaar, M.; Deen, W.; Echarte, L. & Liu, W. 2006. Effect of crowding stress on dry matter accumulation and harvest index in maize. *Agronomy Journal* 98(4): 930-937.
- Torres-Morales, B.; Coutiño-Estrada, B.; Muñoz-Orozco, A.; Santacruz-Varela, A.; Mejía-Contreras, A.; Serna-Saldivar, S.O.; García-Lara, S. & Palacios-Rojas, N. 2010. Selección para contenido de aceite en el grano de variedades de maíz de la raza Comiteco de Chiapas, México. *Agrociencia* 44: 679-689.
- Triboi, E.; Abad, A.; Michelena, A.; Lloveras, J.; Ollier, J.L. & Daniel, C. 2000. Environmental effects on the quality of two wheat genotypes: I. Quantitative and qualitative variation of storage proteins. *Eur. J. Agron.* 13: 47-64.
- Triplett, G.B. & Dick, W.A. 2008. No-tillage crop production: a revolution in agricultura. *Agron. J.* 100 (supplements): S- 153-S-165.
- Uhart, S.A. & Andrade, F.H. 1995. Nitrogen Deficiency in Maize: I. Effects on crop growth, development, dry Matter partitioning, and kernel set. *Crop Science*, 35:1376-1383.
- Unger, P.W. 1991. Organic matter, nutrient, and pH distribution in no- and conventional-tillage semiarid soils. *Agron. J.*, 83, 186-189.
- Urbanek, E. & Horn, R. 2006. Changes in soil organic matter, bula density and tensile strength of aggregates after percolation in conservation and conventional tilled soils. *Int. Agrophysics* 20: 245-255.
- Uribe, C.; Hamil, M. & Rouanet, L.J. 2002. Efecto de tres sistemas de labranza sobre el nivel de humedad en el perfil del suelo. *Agricultura Técnica*, 62(4), 555-564.
- Valentinuz, O. 2014. Maíz: uniformidad de plantas y tolerancia al estrés. *Agrositio* publicado por INTA. Recuperado de <http://www.agrositio.com/vertext/vertext.php?id=38211&se=12> Consultado el 21/08/2018.
- Varvel, G.E. & Wilhem, W.W. 2011. No-tillage increases soil profile carbon and nitrogen under long-term rainfed cropping system. *Soil Tillage Res* 114: 28-36.
- Varsa, E.C.; Chong, S.K.; Abolaji, J.O.; Farquhar, D.A. & Olsen, F.J. 1997. Effect of deep tillage on soil physical characteristic and corn (*Zea mays* L.) root growth and production. *Soil Tillage Res.* 43:219-228.
- 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. Recuperado de

https://www.agro.unlp.edu.ar/sites/default/files/paginas/2008_manual_cinturon_hortico_la_la_plata_directora_mabel_vazquez.pdf. Consultado 22/01/2019.

- Vázquez, D. 2009 Aptitud industrial de trigo. INIA Serie Técnica N° 177. Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología INIA. 54pp Montevideo, Uruguay. Recuperado de www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429130709133540.pdf ISBN: 978-9974-38-269-5. Consultado 11/02/15.
- Vidal, C.M. 1997. Evaluación de algunas propiedades físicas en sistemas de siembra directa y labranza reducida. Trabajo de graduación. Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Agrarias, Balcarce.
- Viglizzo, E.F. & Jobaggy, E. (eds). 2010 Expansión de la frontera agropecuaria argentina y su impacto ecológico-ambiental. pp: 102 INTA.
- Villanueva-Flores, R. 2014. El gluten del trigo y su rol en la industria de la panificación Ingeniería Industrial, 32: 231-246 Universidad de Lima Lima, Perú.
- Villar, J.M. & Villar, P. 2016. Guía de la Fertilidad del Suelo en producción integrada.
- Villaruel, D.; Vélez, J.; Scaramuzza, F. & Juan, N. 2016. Variación en el rendimiento y el contenido de proteína en el grano de trigo, conducido bajo riego y fertilización en el centro de la provincia de Córdoba. 15° Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión con Agregado de Valor en Origen. INTA E.E.A. Manfredi. Cultivar Conocimiento Agropecuario S.A.
- Vita P.D.; Paolo, E.D.; Fecondo, G.; Fonzo, N.D. & Pisanted, M. 2007. No tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. Soil Tillage Res., 92(1-2): 69-78.
- Volante, J.; Mosciaro, J.; Morales-Poclava, M.; Valel, L.; Castillo, S.; Sawchik, J.; Tiscornia, G.; Fuente, M.; Maldonado, I.; Vega, A.; Trujillo, R.; Cortez, L. & Paruelo, J. 2015. Expansión agrícola en Argentina, Bolivia, Paraguay, Uruguay y Chile entre 2000-2010. Caracterización espacial mediante series temporales de índices de vegetación. RIA 41(2):179-191.
- Volante, J.N.; Alcaraz-Segura, D.; Mosciaro, M.J.; Viglizzo, E.F. & Paruelo, J.M. 2012. Ecosystem functional changes associated with land clearing in NW Argentina. Agriculture, Ecosystems and Environment 154: 12- 22.
- Wall, G.W. & Kanemasu, E.T. 1990. Carbon dioxide exchange rates in wheat canopies. II. Photosynthetic and phytomass production efficiencies. Agricultural and Forest Meteorology, Amsterdam, v. 49, p. 103-122.

- Wander, E.D. & Bollero, G.A. 1999. Soil quality assessment of tillage impacts in Illinois. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 961-971.
- Weber, E.J. 1991. Lipids of the kernel. *In: Watson, S. A., and P. E. Ramstad (eds). Corn. Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, Minnesota, USA. pp: 311–342.*
- Wilhelm, W.W.; Schepers, J.J; Mielke, L.N.; Doran, J.W.; Ellis, J.R. & Stroup, W.W. 1987. Dryland maize development and yield resulting from tillage and nitrogen fertilization practices. *Soil and Tillage Research* 10: 167-179.
- Weisz, R. & Bowman, D.T. 1999. Influence of tillage system on soft red Winter wheat cultivar selection. *Journal of Production Agriculture* 12: 415-418.
- Wooding, A.R.; Kavale, S., Mcritchie, F.; Stoddard, F.L. & Wallace, A. 2000. Effects of nitrogen and sulfur fertilizer on protein composition, mixing requirements, and dough strength of four wheat cultivars. *Cereal Chem.* 77: 798-807.
- Woźniak, A. 2010. Effect of chemical plant protection on grain quality of spring wheat. *Progr. Plant Protect. / Post. Ochr. Rośl.*, 50 (2): 1010-1013. (in Polish)
- Woźniak, A. & Makarski, B. 2013. Content of minerals, total protein and wet gluten in grain of spring wheat depending on cropping systems. *J. Elem.*, 18: 297-305.
- Woźniak, A., Makarski, B. & Stępniewska, A. 2014. Effect of tillage system and previous crop on grain yield, grain quality and weed infestation of durum wheat. *Rom. Agric. Res.*, 31: 129-137.
- Woźniak, A. & Gontarz, D. 2011. Ocena wybranych wyróżników jakości ziarna pszenicy twardej odmiany Floradur w zależności od uprawy roli i nawożenia azotem. *Acta Agrophys.* 18(2): 481–489.
- Woźniak, A. & Gos, M. 2014. Yield and quality of spring wheat and soil properties as affected by tillage system. *Plant Soil Environ.* 60 (4): 141–145.
- Woźniak, A. & Stępniewska, A. 2017. Yield and quality of durum wheat grain in different tillage systems. *J. Elem.*, 22(3): 817-829.
- 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. FCA-UNMP, Mar del Plata, Bs.As. pp: 75
Recuperado de <http://www.profertilnutrientes.com.ar/images/archivos/623.pdf>.
Consultado 18/03/2015.

- Yang, X.M. & Kay, B.D. 2001. Impacts of tillage practices on total, loose- and occluded-particulate, and humified organic carbon fractions in soils within a field in southern Ontario. *Can. J. Soil Sci.* 81: 149-156.
- Yoo, G. & Wander, M.M. 2006. Influence of tillage practices on soil structural controls over carbon mineralization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 651-659.
- Yoshida, S. 1972. Physiological aspects of grain yield. *Annual Review of Plant Physiology*, Palo Alto, 23: 437-464.
- Zadocks, J.C; Chang, T.T. & Konzac, C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research.* 14:415-421.
- Zamir, M.S.I.; Javeed, H.M.R.; Ahmed, W.; Ahmed, A.U.H.; Sarwar, N.; Sherzad, M.; Sarwar, M.A. & Iqbal, S. 2013. Effect of tillage and organic mulches on growth, yield and quality of autumn planted maize (*Zea mays* L.) and soil physical properties. *Cercetări Agronomice în Moldova XLVI (2)* 154.
- Zarzycki, P. & Sobota, A. 2015. Effect of storage temperature on falling number and apparent viscosity of gruels from wheat flours. *Journal of Food Science and Technology -Mysore-52(1):437-443.*
- Zduni, Z.; Nastasi, A.; Jockovi, O.; Ivanovi, M.; Alovi, I.; Miji, A. & Jockovi, M. 2012. Genetic analysis of grain yield and oil content in two maize populations. *Periodicum Biologorum.* 114 (1): 67-72.
- Zhai, R.; Kachanoski, R.G. & Voroney, R.P. 1990. Tillage effects on the spatial and temporal variation of soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54(1): 186-192

ANEXOS



1-CLIMA

Tabla 1. Datos climáticos. Servicio meteorológico nacional.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Prom
T Prom	23,9	22,7	20,8	16,7	13,2	10,3	9,6	11,5	13,4	16,7	19,6	22,3	16,73
Tmax	30,2	28,5	26,7	22,5	18,8	15,6	14,9	17,3	19	22,2	25,4	28,5	22,47
Tmin	17,7	16,9	15,3	11,4	8,2	5,8	4,9	6,1	7,8	10,9	13,5	15,9	11,20
HR	66,3	71,6	75,3	78,6	79,4	79,7	75,7	72,9	72	69,3	66,2		73,36
Vel Viento	13,3	12,5	11,2	10,5	10,3	10,9	11,5	12,5	14,1	13,7	13,9	13,4	12,32
PP	101,7	113,1	114,4	93,2	76,6	47,3	47,2	55,1	59,7	110,5	103	98	1019,80
Estadísticas	Climatológicas		Normales		-		Período		1981-2010.		Recuperado		de
	https://www.smn.gov.ar/descarga-de-datos . Consultado el 25/01/2019												

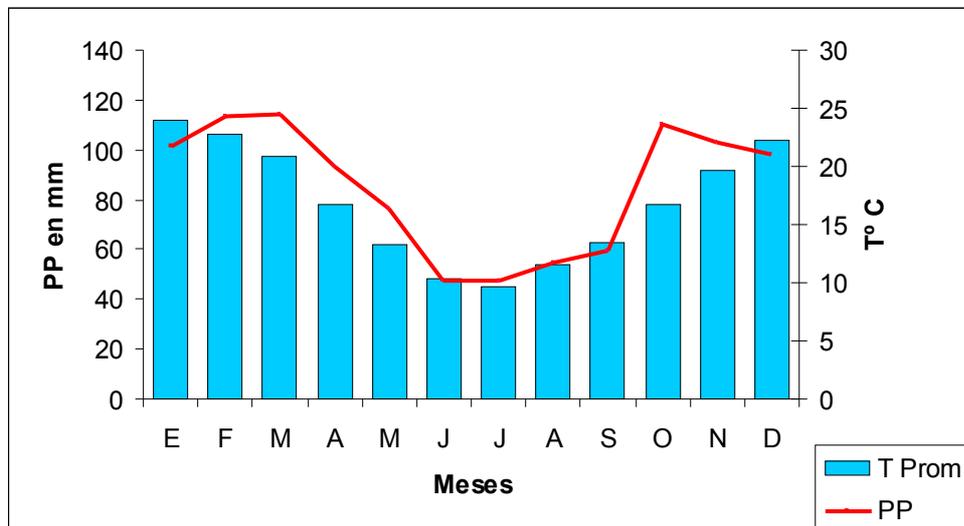


Figura 1. Valores promedio de precipitaciones (pp) y Temperatura media (T) por mes según el Servicio Meteorológico Nacional para la estación Ezeiza del período 1981-2010. PP está indicado con barras y T indicada con línea.

Tabla 2: Características meteorológicas del periodo de duración del ensayo 2013-2015.

		T° media (°C)	T° máx (°C)	T° mín (°C)	Presión atmosférica (hPa)	Humedad relativa media (%)	Precipitación total (mm)	Visibilidad media (Km)	Vel media viento (Km/h)	Velmáx viento (Km/h)	Días de lluvia o llovizna	Días de tormenta		
AÑO	MES	T	TM	Tm	SLP	H	PP	VV	V	VM	RA	TS		
2013	Ene	24,3	31,1	17,9	1013,9	60,0	22,09	9,9	12,9	25,1	7	3		S
2013	Feb	23,3	30,0	17,3	1013,0	64,1	85,34	10	12,9	24,5	7	4		O
2013	Mar	18,6	25,6	12,6	1016,0	68,7	86,36	9,4	11,2	21,9	11	5		J
2013	Abr	17,8	25,0	11,6	1015,9	70,7	169,16	8,3	10,3	21,2	8	6		A
2013	May	13,5	19,6	7,8	1016,3	76,3	67,58	8,2	9,8	20,3	10	3	Cosecha Soja	
2013	Jun	10,8	17,7	4,5	1017,9	71,6	7,62	8,6	9,6	19,1	5	0	06/06/13	
2013	Jul	10,7	16,6	5,0	1019,6	74	74,41	8,3	11,4	21,6	11	2	MUESTREO	
2013	Ago	11,1	17,2	6,0	1020,3	57,3	0,50	9,3	12,5	23,6	5	1		
2013	Sept	13,0	18	8,3	1018,7	67,9	126,25	8,6	14,6	24,7	10	2		
2013	Oct	17,4	22,5	12,5	1017,0	66,4	20,07	9,1	13	24,4	9	3	23/10/13	M
2013	Nov	20,1	26,9	14,6	1012,7	67,9	193,54	9,0	15	25,2	10	4		A
2013	Dic	25,7	33,0	18,3	1009,8	57,3	71,37	9,5	11,3	25,7	9	7		I
2014	Ene	25,1	32,1	18	1010,7	62	258,81	9,5	12,7	26,7	9	7		Z
2014	Feb	21,8	28,1	17	1013,6	78,9	212,33	9,2	11,6	25,6	15	11		
2014	Mar	19,9	26,2	14,2	1014,1	70,2	144,27	9,4	11,5	22,9	11	5	11/03/14	
2014	Abr	16,7	22,8	11,3	1017,5	76,3	99,06	8,6	11,6	22,4	10	5		
2014	May	13,9	18,8	9,6	1017,7	81,3	101,36	7,7	9,1	17,6	16	4		
2014	Jun	10,8	17,0	5,2	1018,9	72,9	41,92	7,6	9,8	18,3	8	3	03/06/14	
2014	Jul	11,1	16,8	5,5	1019,9	78,1	124,71	7,7	11,4	21,8	10	5	MUESTREO	
2014	Ago	14,0	20,6	7,9	1017,3	65,9	13,21	8,6	12	21,9	7	2	19/08/14	T
2014	Sept	15,1	21,3	9,4	1016,0	70,0	118,88	8,4	12,7	25,7	11	6		R
2014	Oct	19,3	25,6	13,7	1015,2	67,9	155,69	8,9	13,5	27,1	12	7		I
2014	Nov	20,2	27,1	14	1013,8	61,8	219,45	9,2	14,5	26,8	10	6		G
2014	Dic	22,9	29,8	16,4	1012,0	60,2	59,18	9,5	11,7	26,3	11	7	18/12/14	O
2015	Ene	23,3	30,2	17,1	1013,0	66,9	113,03	9,3	12,6	26	10	0		
2015	Feb	23,7	30,6	18,1	1014,0	66,0	29,98	9,7	12,4	23,1	11	3		
2015	Mar	22,0	29,1	15,8	1015,6	66,7	5,59	8,6	9,5	19,6	6	1	10/03/15	
2015	Abr	19,8	27,2	14,0	1016,5	62,1	43,43	9,2	12,4	23,2	7	3	MUESTREO	
2015	May	15,8	21,9	10,4	1018,4	74,1	40,36	7,9	8,8	18,0	8	1		
2015	Jun	12,2	18,8	5,9	1018,3	67,0	35,04	8,3	10,4	21,5	8	3		
2015	Jul	11,3	17,7	15,4	1018,7	73,2	51,05	7,8	10,2	20,7	7	2		
2015	Ago	13,9	19,4	8,9	1015,4	75,3	159,0	8,4	13,1	25,9	10	5		
2015	Sept	13	19,8	7,5	1017,0	59,8	31,24	8,8	13,4	24,5	9	0	Pastura	
2015	Oct	14,6	20,8	9,5	1018,3	68,2	78,97	9,5	14,7	24,7	15	6		
2015	Nov	19,3	25,4	13,8	1014,0	61,8	198,12	9,3	12,8	24,2	9	6		
2015	Dic	23,6	30,3	16,6	1011,3	59,1	34,04	9,6	11,7	24,1	10	3		

Valores promedios mensuales durante el ensayo según http://www.tutiempo.net/clima/Ezeiza_Aeropuerto/01-2014/875760.htm

2- RESULTADOS ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

2.1. RESULTADOS PARA EL PRIMER NIVEL DE PROFUNDIDAD DE 0-10 cm

Figura 2. Matriz de correlación/probabilidades del año 2013 para la profundidad de 0-10 cm.

	Dap	HG	Ptot	Pagua	Paire	Kh	pH	CE	Cmasa	Nmasa	Pext
Dap											
HG	0,0376										
Ptot	<0,0001	0,0375									
Pagua	<0,0001	0,0369	<0,0001								
Paire	<0,0001	0,0370	<0,0001	<0,0001							
Kh	0,5011	0,1482	0,4559	0,4561	0,4544						
pH	0,2046	0,6569	0,2135	0,2157	0,2142	0,4457					
CE	0,3806	0,6258	0,3483	0,3460	0,3486	0,6811	0,7321				
Cmasa	0,1757	0,3752	0,1701	0,1698	0,1704	0,7488	0,0739	0,1511			
Nmasa	0,3513	0,9620	0,3812	0,3799	0,3822	0,0819	0,9147	0,0400	0,3052		
Pext	0,1232	0,8786	0,1286	0,1301	0,1292	0,9108	0,0168	0,6941	0,3744	0,8414	

Figura 3. Matriz de correlación/probabilidades del año 2014 para la profundidad de 0-10 cm.

	Dap	HG	Ptot	Pagua	Paire	Imp	kH	pH	CE	Cmasa	Nmasa	pext
Dap												
HG	0,0116											
Ptot	<0,0001	0,0121										
Pagua	<0,0001	0,0121	<0,0001									
Paire	<0,0001	0,0121	<0,0001	<0,0001								
Imp	0,1617	0,7252	0,1618	0,1622	0,1619							
kH	0,6000	0,6799	0,6009	0,6017	0,6013	0,1904						
pH	0,7846	0,9612	0,7690	0,7677	0,7684	0,9218	0,7523					
CE	0,5292	0,9324	0,5165	0,5161	0,5163	0,3439	0,2142	0,0141				
Cmasa	0,0016	0,0007	0,0017	0,0017	0,0017	0,2734	0,3815	0,8367	0,7451			
Nmasa	0,2137	0,1782	0,2156	0,2157	0,2156	0,9248	0,3960	0,6189	0,9059	0,2188		
pext	0,5195	0,3494	0,5157	0,5148	0,5153	0,8802	0,8919	0,5469	0,9455	0,4728	0,2983	

Figura 4. Matriz de correlación/probabilidades del año 2015 para profundidad 0-10 cm.

	Dap	HG	Ptot	Pagua	Paire	Imp	Kh	pH	CE	Cmasa	Nmasa	Pext
Dap												
HG	0,9833											
Ptot	<0,0001	0,9835										
Pagua	<0,0001	0,9858	<0,0001									
Paire	<0,0001	0,9846	<0,0001	<0,0001								
Imp	0,4792	0,3824	0,4785	0,4799	0,4792							
Kh	0,5308	0,7233	0,5346	0,5319	0,5334	0,7140						
pH	0,4510	0,8046	0,4501	0,4503	0,4502	0,5406	0,2450					
CE	0,4577	0,7828	0,4551	0,4588	0,4568	0,2210	0,2439	0,5295				
Cmasa	0,0241	0,4278	0,0237	0,0238	0,0237	0,1363	0,6983	0,6039	0,1596			
Nmasa	0,6316	0,2585	0,6353	0,6338	0,6346	0,9970	0,0910	0,5104	0,1244	0,4830		
Pext	0,4080	0,9562	0,4081	0,4086	0,4083	0,6412	0,7002	0,4082	0,1542	0,5917	0,3401	

2.2. RESULTADOS PARA EL SEGUNDO NIVEL DE PROFUNDIDAD DE 10-20 cm

Figura 5. Matriz de correlación/probabilidades del año 2013 para la profundidad de 10-20 cm.

	Dap	HGrav	Ptot	Pagua	Paire	Kh	CE	pH	Cmasa	Nmasa	Pext
Dap											
HGrav	0,3486										
Ptot	0,0001	0,4496									
Pagua	0,0001	0,4416	<0,0001								
Paire	0,0001	0,4422	<0,0001	<0,0001							
Kh	0,4794	0,6416	0,7863	0,7857	0,7796						
CE	0,9725	0,9577	0,7515	0,7489	0,7561	0,0055					
pH	0,7639	0,3874	0,9309	0,9197	0,9249	0,2027	0,5519				
Cmasa	0,8570	0,0736	0,6679	0,6592	0,6657	0,1526	0,1944	0,0470			
Nmasa	0,4204	0,0268	0,6081	0,6156	0,6060	0,5176	0,8521	0,3066	0,4483		
Pext	0,9054	0,7845	0,9471	0,9429	0,9478	0,0053	0,0119	0,2344	0,0771	0,9867	

Figura 6. Biplot del año 2013 para la profundidad de 10-20 cm.

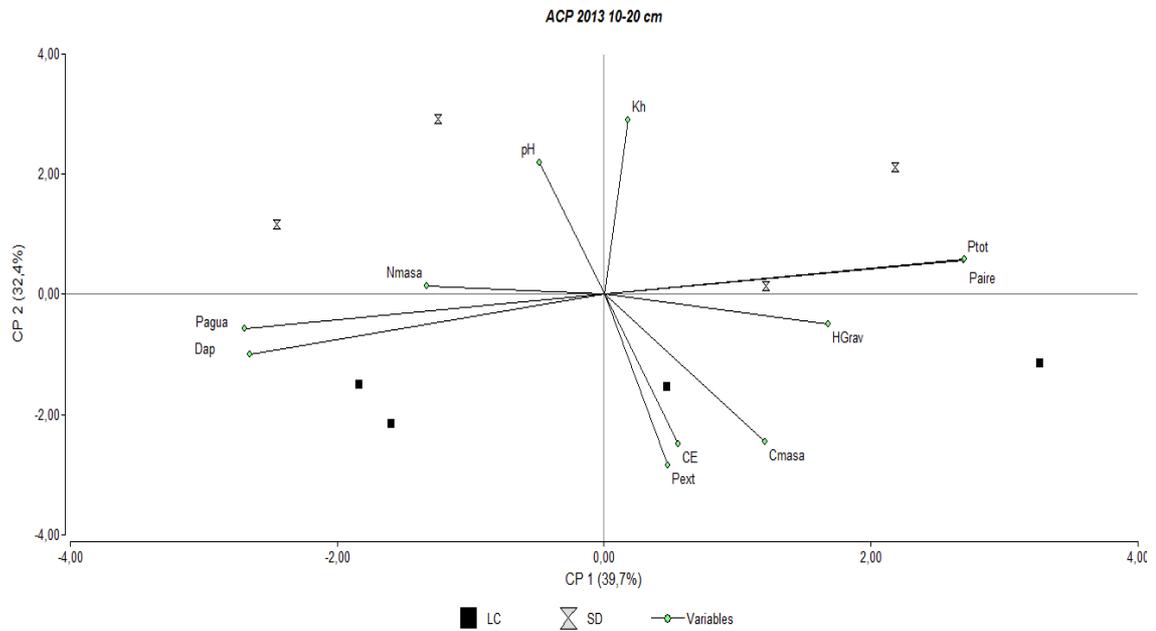


Figura 7. Matriz de correlación/probabilidades del año 2014 para la profundidad de 10-20 cm.

	Dap	HG	Ptot	Pagua	Paire	Kh	Imp	CE	pH	Cmasa	Nmasa	Pext
Dap												
HG	0,4058											
Ptot	<0,0001	0,3905										
Pagua	<0,0001	0,3933	<0,0001									
Paire	<0,0001	0,3925	<0,0001	<0,0001								
Kh	0,0341	0,9871	0,0323	0,0324	0,0324							
Imp	0,0998	0,9611	0,0915	0,0908	0,0913	0,0093						
CE	0,1721	0,6391	0,1750	0,1746	0,1744	0,4376	0,1466					
pH	0,2992	0,7064	0,2779	0,2761	0,2768	0,3142	0,3302	0,5252				
Cmasa	0,0536	0,7667	0,0510	0,0508	0,0511	0,0121	0,0277	0,7929	0,7927			
Nmasa	0,3905	0,3516	0,3915	0,3954	0,3929	0,1221	0,2788	0,4305	0,9465	0,4824		
Pext	0,2806	0,1423	0,2582	0,2571	0,2580	0,9799	0,5848	0,1472	0,1914	0,9380	0,8977	

Figura 8. Biplot del año 2014 para la profundidad de 10-20 cm.

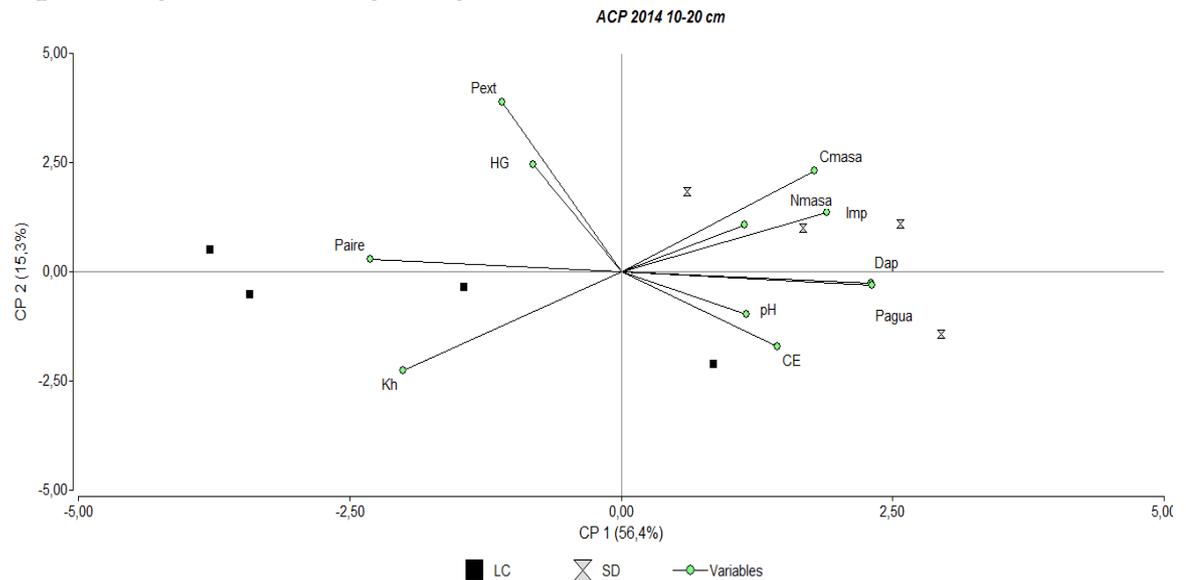


Figura 9. Matriz de correlación/probabilidades del año 2015 para la profundidad de 10-20 cm.

	Dap	HG	Ptot	Pagua	Paire	Kh	Imp	CE	pH	Cmasa	Nmasa	Pext
Dap												
HG	0,7547											
Ptot	0,0022	0,9229										
Pagua	0,4320	0,6041	0,9091									
Paire	0,0004	0,9678	0,0001	0,4684								
Kh	0,7050	0,0248	0,4527	0,1660	0,7072							
Imp	0,6327	0,0247	0,3916	0,8591	0,3879	0,2672						
CE	0,8793	0,2895	0,3037	0,2129	0,5139	0,2556	0,3535					
pH	0,0052	0,5605	0,0014	0,5296	0,0005	0,8844	0,5872	0,6525				
Cmasa	0,2592	0,9626	0,3013	0,6703	0,2682	0,9433	0,7830	0,3050	0,4935			
Nmasa	0,8094	0,7155	0,9783	0,5786	0,8682	0,1462	0,4179	0,6243	0,6115	0,5173		
Pext	0,2063	0,1950	0,3382	0,3049	0,2286	0,4175	0,2855	0,7599	0,2765	0,1088	0,9742	

Figura 10. Biplot del año 2015 para la profundidad de 10-20 cm.

