

TRABAJO DE INTENSIFICACIÓN FINAL DE LA CARRERA INGENIERÍA
AGRONÓMICA

*“Efecto de los sistemas de labranza y pastoreo
directo sobre algunas propiedades físicas del
suelo en el Sudoeste Bonaerense”*



CAMILA BERENICE CABRERA WALKER

Docente tutor: Ing. Agr. (Mg.) Mariana E. Bouza

Docentes consejeros: Ing. Agr. (Dr.) Matías Duval

Ing. Agr. (Mg.) Adrián Vallejos



Departamento de Agronomía
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
AÑO 2021

PREFACIO

Este trabajo es presentado como parte de los requisitos para cumplir con el trabajo de intensificación de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional del Sur.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a todos los que formaron parte de este camino, principalmente a mis papas, Mónica y Néstor, que inculcaron en mí el deseo de estudiar y me apoyaron durante todos estos años, hoy por y para ellos soy Ingeniera Agrónoma.

A mi hermano, Maximiliano, que siempre me apoyo a pesar de la distancia.

A mi sobrino, Simón, que sin duda llego para hacerme estos últimos años más feliz.

A mi ángel, mi abuelo Beto, que estoy segura de que me guio hasta hoy que logre llegar a la meta.

A mis amigos, de Huanguelén y a los que fui cosechando a lo largo de la carrera, sin dudas, fueron grandes pilares en todo este camino recorrido.

A mi tutora, Mariana, por su paciencia, dedicación y tiempo.

A mis consejeros, Matías y Adrián por ayudarme con el trabajo de intensificación.

Al Departamento de Agronomía y a la Universidad Nacional del Sur por formarme.

A todos

Gracias

RESUMEN

En el sudoeste bonaerense predominan los ambientes frágiles conformados por suelos poco profundos con escasa fertilidad y susceptibles a la erosión. A esto se le suma, la falta de prácticas de manejo sustentables y la variabilidad climática de la región (variación de las precipitaciones, temperaturas, vientos y humedad relativa), resultando en una combinación de factores que favorecen la erosión y promueven la degradación física, química y biológica de los suelos. Debido a esto, resulta necesario utilizar sistemas de labranza conservacionistas. Es así como este trabajo de intensificación toma como objetivo principal, evaluar el efecto de distintos sistemas de labranza (labranza convencional (LC), siembra directa (SD) y labranza vertical (LV)) y el efecto del pastoreo directo sobre las propiedades físicas de un Haplustol éntico del sur de Buenos Aires. Las variables evaluadas fueron: contenido de humedad (al inicio del barbecho y al final del mismo), eficiencia hídrica del barbecho (EHB, %), distribución de poros por tamaño, cobertura del suelo (en parcelas pastoreadas y sin pastorear), resistencia a la penetración (RP, MPa), densidad aparente (DA, Mg/m³) y, por último, biomasa y distribución de raíces en el perfil del suelo (g/m², m/m³, respectivamente). En el período correspondiente al barbecho (marzo-abril) las precipitaciones fueron de 13,1 mm, esto representó un 76 % menos que el promedio histórico (1978-2019), dando como resultado una eficiencia hídrica del barbecho negativa. Si bien no hubo diferencias significativas entre tratamientos para la variable cobertura del suelo, esta presentó relación con el contenido de humedad en el suelo. Los tratamientos SD y LV fueron los que presentaron mayor cobertura comparados con LC. La porosidad total (PT) presentó un promedio de poros del 50-60 % para los distintos tratamientos. Los macroporos (>50 µm) representaron un 16,7 % en todo el perfil del suelo, lo cual indicaría una buena aireación del suelo. La RP y la DA mostraron valores medios dentro de los rangos normales para el área de estudio en los sistemas LC y LV, en cambio para SD se notó un leve incremento de ambas variables en el horizonte superficial. La densidad de raíces fue mayor en LC, sin embargo la biomasa total de raíces (BTR) fue menor en relación a los demás tratamientos. Cuando se analizó la densidad de raíces en profundidad, SD fue el que acumuló mayor cantidad de raíces en el horizonte superficial, produciéndose un brusco descenso de las mismas después de los 15 cm del perfil del suelo. La disminución de la PT, el aumento de la DA y RP y la distribución de raíces reflejaron una leve tendencia a la compactación superficial de los suelos bajo SD.

INDICE

Prefacio	I
Agradecimientos	II
Resumen	III
Índice temático	IV
1 .Introducción	1
1.1 Características de la Región Semiárida del Sudoeste Bonaerense	1
1.2 Degradación de los suelos	3
1.3 Sistemas de labranzas	3
1.4 Propiedades físicas del suelo	4
1.5 Efectos del pisoteo animal sobre las propiedades físicas del suelo	5
1.6 Objetivo general	6
1.7 Objetivos específicos	6
2. Materiales y métodos	7
2.1 Sitio experimental	7
2.1.1 Características climáticas	7
2.1.2 Características edáficas	8
2.2 Tratamientos	10
2.3 Diseño experimental	11
2.4 Variables evaluadas	12
2.4.1 Climáticas	12
2.4.2 Humedad del suelo	13
2.4.3 Eficiencia hídrica del barbecho (EHB)	13
2.4.4 Determinación de densidad aparente (DA)	14
2.4.5 Distribución de poros por tamaño	14
2.4.6 Cobertura del suelo	15
2.4.7 Resistencia a la penetración (RP)	17
2.4.8 Determinación de biomasa de raíces y distribución de raíces en el perfil del suelo	18
2.5 Análisis estadístico	21
3. Resultados y discusión	22
3.1 Escenario climático del año 2019	22
3.2 Dinámica del agua	23
3.2.1 Humedad del suelo	23
3.2.2 Eficiencia hídrica del barbecho (EHB)	24
3.3 Densidad aparente (DA)	26
3.4 Distribución de poros por tamaño	27
3.5 Cobertura del suelo	29
3.6 Resistencia a la penetración (RP)	30
3.7 Biomasa y distribución de raíces	33

4.Conclusiones	37
5. Bibliografía	39
6.Anexo	46

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Características de la Región Semiárida del Sudoeste Bonaerense

La Región Semiárida Pampeana es un área geográfica situada en el centro de la Argentina, abarca el sur de la provincia de Córdoba, este de San Luis, noroeste de La Pampa y sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Esta región está constituida por un territorio transicional entre la Región Pampeana Húmeda y la Patagonia Argentina y como tal está sujeta a las variaciones pluviométricas anuales y estacionales; la isohieta de 700 mm divide la región en dos subregiones: subhúmeda al norte y semiárida al sur (Cantamutto *et al.*, 2016) (Figura 1).

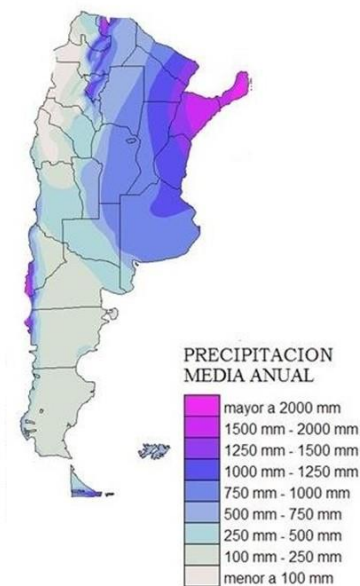


Figura 1. Isohietas de la República Argentina. Fuente: Oliva, 2019.

El Sudoeste Bonaerense (SOB) integra el 20 % de la superficie de la Provincia de Buenos Aires y está constituido por 12 partidos, Adolfo Alsina, Guaminí, Puán, Saavedra, Coronel Suárez, Tornquist, Coronel Pringles, Bahía Blanca, Coronel Rosales, Coronel Dorrego, Villarino y Patagones (Figura 2). En esta región el riesgo de la producción agrícola crece de norte a sur y de este a oeste, lo que determina la predominancia de la ganadería en algunos partidos y la agricultura en otros. Sin embargo, en el último tiempo ha ocurrido una gran expansión de la producción agrícola a suelos que antes se destinaban a la producción mixta (Ministerio de Agroindustria, 2016).

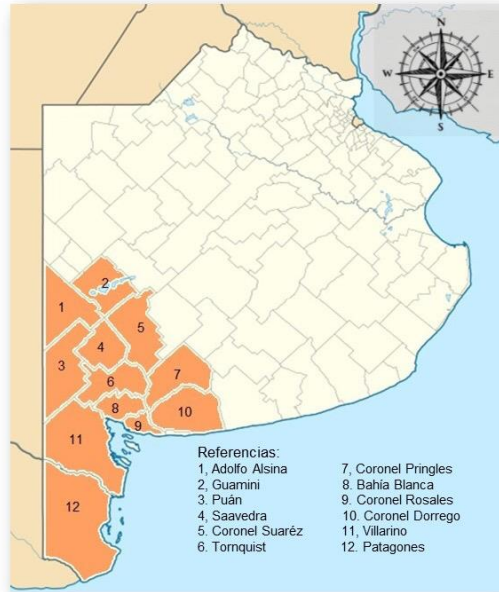


Figura 2. Partidos que conforman la región del Sudoeste Bonaerense. Fuente: Elaboración propia.

La variabilidad climática interanual, típica del SOB, se debe principalmente a la variación de las precipitaciones, temperaturas, vientos y humedad relativa (Glave, 2006). Otra particularidad es la distribución de lluvias, que se concentra en dos estaciones definidas, otoño y primavera, interrumpida por una estación seca a fines del invierno y una semiseca a mediados de verano (enero y febrero), con alta evapotranspiración (Zotelo, 2011). Estas características del SOB determinan una alta fragilidad de los agroecosistemas, con menor resiliencia y una limitada sostenibilidad de la agricultura (Schmidt & Amiotti, 2015). A su vez en esta región la predominancia de ambientes frágiles conformados por suelos poco profundos con escasa fertilidad y susceptibles a la erosión, sumado a la frecuente falta de prácticas de manejo sustentables y la variabilidad climática mencionada anteriormente, resulta en una combinación de factores que favorecen la erosión y promueven la degradación de los suelos, tanto química por pérdida de materia orgánica y nutrientes, como física por compactación y pérdida de estabilidad estructural (Krüger *et al.*, 2019). Por lo tanto, la conservación o mejoramiento del recurso suelo en el largo plazo es condición necesaria para la sostenibilidad de un agroecosistema, y en ese sentido es necesario mantener la materia orgánica del suelo (MO), la cual es un factor determinante de la porosidad y por lo tanto de la capacidad de infiltración, retención de humedad, resistencia a la erosión hídrica y eólica, y es fuente básica de la fertilidad química (Izaurrealde *et al.*, 2000).

1.2 Degradación de los suelos

La degradación del suelo es un proceso que limita la capacidad actual y potencial del suelo para producir (cuantitativamente y/o cualitativamente) bienes o servicios. La degradación de los suelos no es necesariamente continua, sino que puede ocurrir en un período relativamente corto entre dos estados de equilibrio ecológico (FAO, 1980). Este evento causa una disminución en la calidad de los suelos, la cual deriva en una reducción de su productividad (Doran & Parkin, 1994).

En cuanto a la degradación física, según Fadda (2002) se refiere a los cambios adversos en las propiedades físicas del suelo, como: la porosidad, permeabilidad, peso específico aparente y estabilidad estructural (EE). Es así que, dentro de las propiedades edáficas, la densidad aparente (DA) resulta ser un excelente indicador de la condición física del suelo ya que, sus disminuciones o incrementos son capaces de generar múltiples efectos, tanto beneficiosos como perjudiciales (Corbella *et al.*, 2016). Si la DA de un suelo aumenta, se traduce en una serie de limitaciones que, por un lado, afectan el crecimiento radicular, ya que se incrementa la resistencia del suelo a la penetración y, por otro, afecta la capacidad hídrica de los suelos por provocar una baja velocidad de infiltración, lento movimiento y redistribución de agua y nutrientes.

Como solución a la degradación de los suelos se han propuesto diversas alternativas a las prácticas tradicionales de manejo. Entre ellas se han propuesto sistemas de labranzas y la rotación de cultivos, el empleo de variedades adecuadas al nivel tecnológico, la incorporación de cultivos de cobertura, la disminución del número de operaciones de labranza y la siembra sin remoción (Erenstein, 2003).

1.3 Sistemas de labranzas

Tradicionalmente la agricultura se lleva a cabo mediante sistemas de labranza convencional (LC), usando arados de rejas y vertederas, arados de discos y rastras, estos implementos producen una inversión del pan de tierra, dejando los suelos desprovistos de rastrojos en la superficie. Sumado a esto, el uso inadecuado de dichas herramientas, hacen que al trabajar el suelo con contenidos de humedad inadecuados y siempre a la misma profundidad se produzca lo que conocemos como compactación del suelo. Este hecho, y la gran cantidad de años de agricultura, contribuyó a que muchos suelos hayan sufrido procesos de degradación muy marcados (Venialgo *et al.*, 2005).

A principios de la década de 1990 comenzó una mayor difusión de sistemas de labranzas conservacionistas. Las labranzas conservacionistas son un conjunto de operaciones de laboreo que generan el mínimo disturbio del suelo para la siembra del cultivo, manteniendo al menos un 30 % del suelo cubierto por rastrojos (FAO, 1993). En

general, son dos grupos de sistemas de labranzas que se consideran conservacionistas: labranza mínima o labranza vertical (LV) y labranza cero o siembra directa (SD). La labranza mínima comprende el mínimo laboreo indispensable para lograr una correcta implantación de los cultivos. El caso más extremo de labranza mínima es la labranza cero donde la siembra es directa sin remover el suelo. La principal ventaja de los sistemas de labranza conservacionista es su objetivo, ya que tienden a mantener una cobertura en el suelo, ya sea de rastrojo del cultivo anterior o de otro cultivo, que protege al mismo de la erosión y a su vez favorece la infiltración de agua en el suelo, reduce la evapotranspiración, factores de gran importancia en la zona debido a la escasa precipitación mencionada anteriormente.

Históricamente las labranzas conservacionistas surgieron en respuesta a la erosión de los suelos en Estados Unidos, Argentina, Brasil y Australia (Kassam *et al.*, 2009). En estos países la adopción de las labranzas conservacionistas es generalizada y actualmente se extienden en más de 106 millones de hectáreas. En América del Sur se encuentra la mayor proporción de tierras bajo estos sistemas de labranza ocupando el 46,6 % de la superficie cultivada, seguida por América del Norte con el 37,5 %, Oceanía con el 11,4 %, Asia con el 2,3 %, Europa con el 1,4 % y África con el 0,4 % (Kassam *et al.*, 2009). En Argentina particularmente, el 78,5 % de la superficie agrícola actual se encuentra bajo sistemas de labranza cero (AAPRESID, 2012). Cabe aclarar que, en el SOB, a raíz de cuestiones culturales y económicas, la adopción de la SD aún es escasa (menor al 30%), observándose en los últimos años una tendencia clara de expansión del sistema (López *et al.*, 2014).

1.4 Propiedades físicas del suelo

Tanto la rotación de cultivos como la frecuencia, intensidad y tipo de labranza afectan las propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos (Rasmussen & Collins, 1991).

Las propiedades físicas del suelo son extremadamente importantes para mantener o mejorar su calidad, la sustentabilidad agrícola y la calidad ambiental. Una vez degradado el suelo sus propiedades físicas son difíciles de recuperar y mejorar (Lal, 1994). Las labranzas modifican algunas propiedades físicas como la estructura o EE, la DA, la RP, la distribución de poros y la dinámica del agua (Buschiazzo *et al.*, 1998; Lal, 1994), por lo que estos atributos son empleados para cuantificar los cambios originados por los diferentes manejos (Karlen & Stott, 1994).

La EE es una medida de la resistencia que ofrecen los agregados del suelo al deterioro producido por fuerzas externas, sean climáticas o antrópicas (Aparicio & Costa, 2007; Quiroga *et al.*, 2008). La DA se define como la masa de suelo seco en una determinada

unidad de volumen-edáfico (sólidos + poros) (Blake & Hartge, 1986) y su valor se relaciona con la proporción de poros existente en dicho volumen de suelo. La RP es un indicador del nivel de compactación de un suelo (Herrick & Jones, 2002). La compactación del suelo es generalmente cuantificada por la DA y la RP las cuales han sido reconocidas como indicadores de la restricción del suelo al crecimiento radical (Jones, 1983; Gupta & Allmaras, 1987; Glinski & Lipiec, 1990).

1.5 Efectos del pisoteo animal sobre las propiedades físicas del suelo

El pisoteo animal es la presión mecánica que ejerce el ganado sobre el suelo y la cobertura vegetal viva o muerta (Silva *et al.*, 2000). Este efecto es más severo en aquellos lugares donde el pisoteo se realiza con mayor frecuencia (Mwendera & Saleem, 1997; Donkor *et al.*, 2002), por ejemplo, en caminos y sitios de descanso, y en suelos húmedos, donde el agua actúa como lubricante favoreciendo el empaquetado íntimo entre las partículas minerales del suelo (Aliev, 2001). Por otro lado, la cobertura superficial y el tramado de raíces producen un efecto amortiguador de esta compactación (Montagu *et al.*, 1998).

La magnitud de la compactación por pisoteo es función de la presión ejercida sobre el suelo, la cual depende del peso del animal, del tamaño de sus pezuñas, de la intensidad de pastoreo, de las características del suelo (textura, materia orgánica, contenido de agua) y del volumen de residuos en superficie (Greenwood & McKenzie, 2001). Dependiendo de cuál haya sido la magnitud del disturbio y del tipo de suelo, los efectos del pisoteo pueden revertirse a través del retiro de la presión ejercida por los animales (Hamza & Anderson, 2005) o mediante acciones mecánicas directas (laboreo) (Munkholm *et al.*, 2003).

El SOB, se caracteriza por presentar ambientes frágiles conformados por suelos con escasa profundidad y susceptibles a la erosión. Es por ello que las propiedades físicas del suelo son extremadamente importantes para mantener o mejorar la calidad del suelo y así poder lograr una sustentabilidad agrícola. El efecto de las labranzas afecta las propiedades físicas del suelo, principalmente las ligadas a la dinámica del agua, lo que resulta de vital importancia realizar un uso eficiente de las escasas y variables precipitaciones. Por lo tanto, la eficiencia del uso del agua de las lluvias, definirá la productividad y sustentabilidad del sistema agrícola.

1.6 Objetivo general

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de distintos sistemas de labranza y pastoreo directo sobre las propiedades físicas de un Haplustol éntico del Sur de Buenos Aires con historia agrícola prolongada.

1.7 Objetivos específicos

a) Evaluar las propiedades físicas del suelo

- Densidad aparente (DA)
- Resistencia a la penetración (RP)
- Distribución de poros por tamaño en los distintos sistemas de labranza con y sin pastoreo.

b) Evaluar la dinámica del agua en los distintos sistemas de labranza.

c) Evaluar el comportamiento del cultivo de Avena

- Producción de materia seca
- Cobertura del suelo
- Distribución y biomasa de raíces en el perfil del suelo en los distintos sistemas de labranza.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 Sitio experimental

El ensayo se llevó a cabo en el Campo Experimental Napostá, convenio UNS y MDA-PBA, el mismo cuenta con 711 ha, y se encuentra ubicado a 33 km de la ciudad de Bahía Blanca, en el km 35, sobre la ruta nacional N° 33, en el límite con el partido de Tornquist. Se sitúa en las coordenadas 38° 25' 30" latitud Sur y 62° 17' 15" longitud Oeste (Figura 3). El mismo se ubica en el sector medio de la llanura subventánica occidental, dentro del nivel de la planación general del Dominio Morfoestructural del Positivo de Ventania. Esta unidad constituye una superficie plana y continua con un intenso re trabajo fluvial, que se extiende entre los 400 metros al pie de las sierras y los 60-70 metros sobre el nivel del mar. El área se encuentra disectada por una importante red de paleocauces semicolmatados y cauces actuales. De acuerdo con los gradientes de pendiente, esta unidad se divide en: Piedemonte y Llanura Subventánica, esta última representa al área de estudio, las cuales son del orden del 3 al 6% en las laderas y menores al 0,5% en los planos interfluviales y planicies aluviales. El predio es recorrido de norte a sur por los valles de dos afluentes del Arroyo Saladillo ó Dulce, definiendo así las geformas dominantes: lomas, ladera alta y ladera baja de valle y llanuras de inundación (Amiotti *et al.*, 2014).

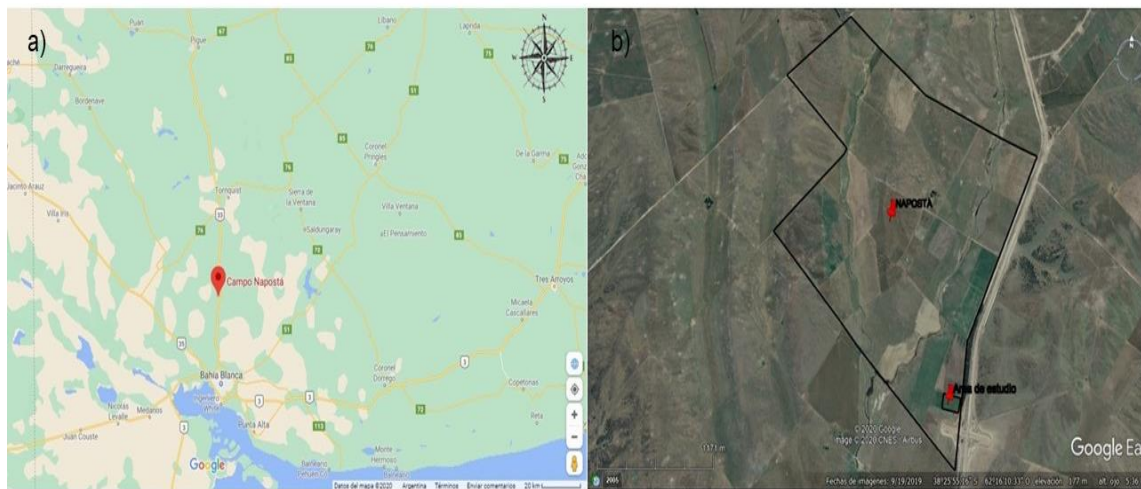


Figura 3. a) Ubicación geográfica del establecimiento Napostá. b) Delimitación del establecimiento.

2.1.1 Características climáticas

El sitio de estudio se encuentra en la región conocida como Sudoeste Bonaerense (SOB) caracterizada por un clima de tipo semiárido templado o de transición, con un régimen térmico que responde al clima continental, pero atenuado por la influencia marítima (Scian, 2001). La temperatura media anual es de 15°C, siendo la máxima

media anual de 21°C y la mínima media anual de 8°C. El número medio de días con heladas es de 35 días, siendo junio, julio y agosto los meses con mayor frecuencia, aunque las heladas otoñales y primaverales son las que manifiestan un mayor índice de peligrosidad. El período libre de heladas es de 231 días. Los vientos predominantes son del cuadrante N-NO, presentándose en mayor frecuencia e intensidad en los meses de verano, con velocidades promedio de 25 km/h (Mormeneo & Díaz, 2003).

La gran variabilidad de la precipitación es sin duda la característica común a todos los ambientes áridos y semiáridos. El promedio anual en la zona es de 642 mm (1978-2019), concentrándose dos terceras partes en otoño (máximo principal) y primavera. Se registra una estación seca a fines del invierno y una semiseca a mediados de verano (enero y febrero) (Figura 4). En esos meses la evapotranspiración potencial duplica a las precipitaciones lo que constituye una limitación difícil de franquear para la producción de cultivos de verano (Scian, 2010).

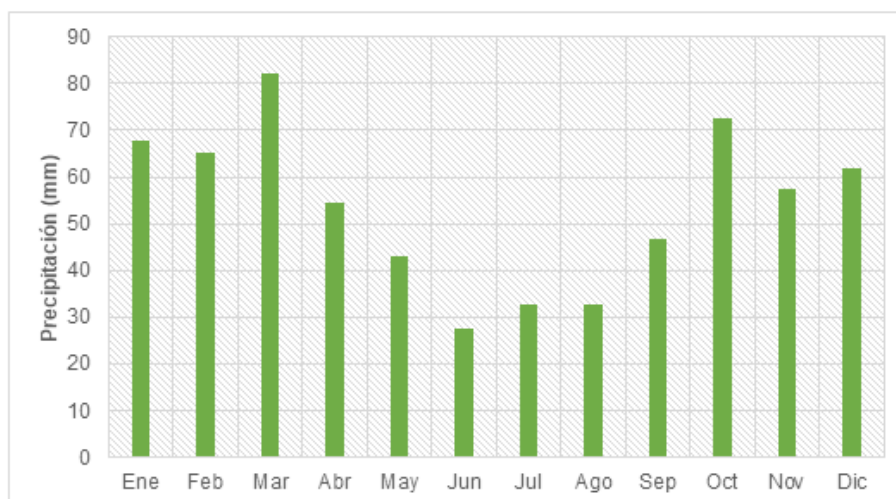


Figura 4. Precipitación mensual media (1978-2019). Fuente: SMN (2020).

2.1.2 Características edáficas

El suelo donde se llevó a cabo el ensayo es un Haplustol éntico, franco grueso, mixto, térmico (Soil Survey Staff, 2010), con una secuencia de horizontes de tipo: Ap-A2-AC-C-Ck1-2Ck2-3Ck3 (Figura 5). En la Tabla 1, se muestran los datos analíticos del suelo.

Descripción morfológica

Ap: 0-10 cm. Gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo; franco arcillo arenoso; bloques subangulares, medios y finos, débiles; friable; poco consolidado; escasas raíces; claro y plano.

A2: 10-27 cm. Negro (10YR 2/1) en húmedo; franco arcillo arenoso; bloques subangulares, medios, débiles a moderados; friable poco consolidado a consolidado; escasas raíces muy finas; comunes pellets fecales; claro y plano.

AC: 27-47 cm. Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; franco arcillo arenoso; bloques subangulares, medios, débiles; friable; poco consolidado a consolidado; escasas raíces muy finas; escasos pellets fecales; claro y plano.

C: 47-71 cm. Pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo; franco arenoso; bloques subangulares, finos y medios, débiles; friable; poco consolidado a consolidado; escasas raíces muy finas; abrupto y plano.

Ck1: 71-89 cm. Pardo amarillento (10YR 5/4) en húmedo; franco arenoso; bloques subangulares, gruesos, débiles; muy friable; poco consolidado a consolidado; escasas raíces muy finas; moderada reacción al HCl 10% en la masa, escasas concreciones finas de CaCO₃ alóctonas; abrupto y plano a ondulado.

2Ck2: 89-113 cm. Pardo muy claro (10YR 7/4) en húmedo; arenoso franco; matriz grano simple; consolidado; muy escasas raíces; fuerte reacción al HCl 10% en la masa, abundantes concreciones alóctonas de CaCO₃ y fragmentos de tosca; abrupto y ondulado.

3Ck3: 113-183+. Pardo claro (10YR 6/3) en húmedo; masivo; muy consolidado; muy firme; muy fuerte reacción al HCl 10% en la masa.

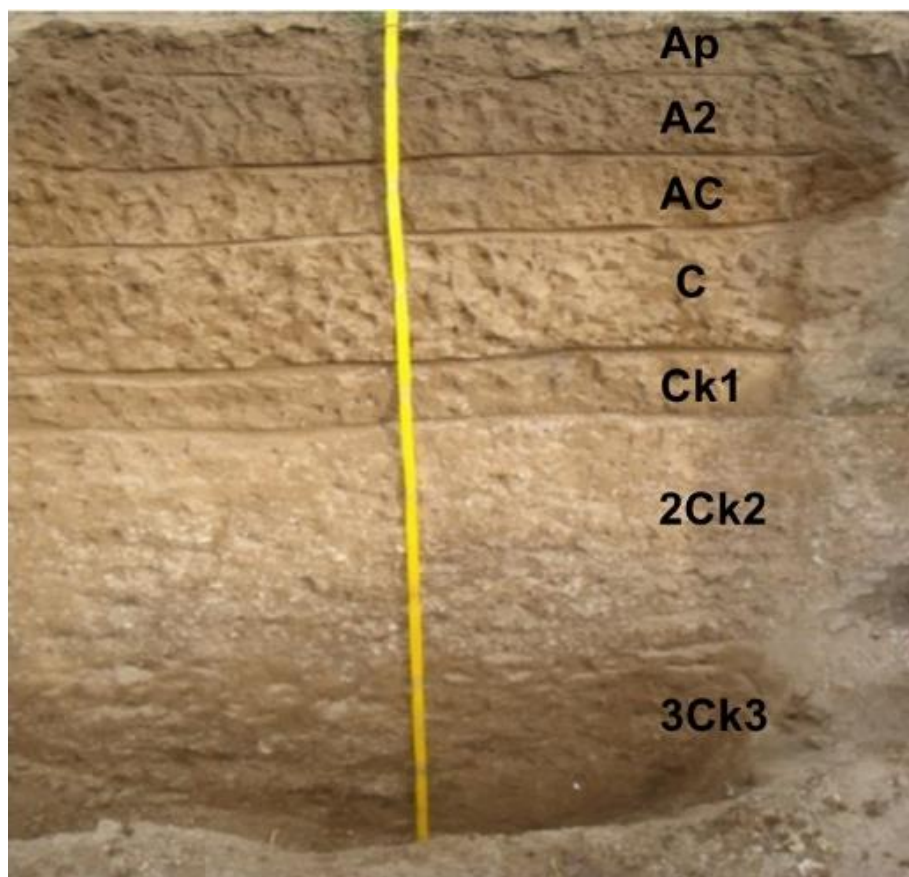


Figura 5. Secuencia de horizontes del perfil.

Tabla 1. Datos analíticos del suelo.

Horizonte	Ap	A2	AC	C	Ck1	2Ck2	3Ck3
Espesor (cm)	0 - 10	10 - 27	27 - 47	47 - 71	71 - 89	89 - 113	113 - 187
Arcilla < 2 μm (g kg^{-1})	228	227	234	149	141	59	76
Limo 2- 50 μm (g kg^{-1})	200	168	242	221	246	164	392
Arena 0,05-2 mm (g kg^{-1})	572	604	524	629	613	777	533
Clase textural	FaA	FaA	FaA	FA	FA	AF*	FA
Materia orgánica (g kg^{-1})	35,6	26,3	19,3	8,4	6,3	n.d.	n.d.
Carbono orgánico (g kg^{-1})	20,6	15,3	11,2	5,0	3,7	n.d.	n.d.
Nitrógeno total (g kg^{-1})	1,94	1,36	1,1	0,5	0,4	n.d.	n.d.
Relación C/N	13	11	10	10	9	n.d.	n.d.
Fósforo extr. (mg kg^{-1})	10,3	4,8	4,0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Cationes de Intercambio							
Ca ⁺⁺ (cmol kg^{-1})	5,6	6,6	7,2	7,8	n.d.	n.d.	n.d.
Mg ⁺⁺ (cmol kg^{-1})	2,2	2,6	2,9	3,3	n.d.	n.d.	n.d.
K ⁺ (cmol kg^{-1})	2,1	1,6	1,6	1,0	0,5	0,4	0,3
Na ⁺ (cmol kg^{-1})	0,1	0,1	0,1	0,2	0,8	0,8	1,6
CIC (cmol, kg^{-1})	13,9	13,8	13,5	12,4	12,3	8,1	7,2
Saturación de Bases (%)	72	79	87	99	-	-	-
PSI (%)	0,7	0,7	0,7	1,9	6,9	10,2	22,2
CaCO ₃ (g kg^{-1})	-	-	-	-	49	191	395
pH en agua (1:2,5)	6,2	6,6	7,0	7,8	8,5	8,4	9,5
CE extr. sat. (dS m^{-1})	0,2	0,2	0,2	0,3	0,7	6,4	3,6

(*) determinada en la matriz

FaA: franco arcillo arenosa; FA: franco arenosa; AF: arenosa franca

Es un suelo profundo, lo que permite la exploración del sistema radicular y está bien provisto de materia orgánica (3,5 % en el horizonte superficial). Las pendientes son variables de aproximadamente 2%, con una leve a nula susceptibilidad a la erosión hídrica. Las principales limitantes son la susceptibilidad a la erosión eólica, debido a que presenta un 57 % de arenas erosionables, estructura débil y poco consolidada del horizonte superficial y condiciones climáticas desfavorables de la región.

Se clasifica según su capacidad de uso como IVe (Klingebiel & Montgomery, 1961) y el índice de productividad (INTA & SAGyP, 1989) es del 50%.

2.2 Tratamientos

El ensayo se inició en el año 2011, en el cual se evalúan diferentes sistemas de labranza:

- LC: labranza convencional.
- SD: siembra directa.
- LV: labranza vertical.

Durante los primeros 8 años, el ensayo presentó monocultivo de trigo (*Triticum aestivum*). En el 2019, momento en el que fueron tomadas las mediciones de este trabajo, las parcelas fueron sembradas con avena (*Avena sativa*).

El barbecho se inició el 28/03/2019, a través de una rastra de doble acción desencontrada de 32 discos marca *Agromec* en las parcelas bajo LC (Figura 6a), mientras que en las parcelas SD y LV se realizó un control químico.

El 25/04/2019, previo a la siembra se realizó una pulverización de repaso en las parcelas correspondientes a SD, con glifosato y 2,4-D (1,5 L/ha y 250 ml/ha, respectivamente), las franjas de LV también se pulverizaron y posteriormente se pasó un arado cincel marca *Rotura* de 5 púas.

El día 29/04/2019, se procedió a la siembra de Avena variedad Julieta INTA en todas las parcelas, la cual se realizó con una sembradora marca *Juber 3500* (Figura 6b), con una densidad de 62 kg/ha, un espaciamento entre hileras de 17,5 cm y a una profundidad de 5 cm.



Figura 6. a) Rastra de discos desencontrada b) Siembra de avena variedad Julieta INTA.

2.3 Diseño experimental

El diseño experimental fue en bloques divididos, compuesto por 3 bloques de 60 x 100 m de 3 parcelas cada uno (20 x 100 m). A cada parcela se le asignaron aleatoriamente los 3 tratamientos (LC-SD-LV), (Figura 7).

Cada bloque fue subdividido en dos, atravesando todas sus parcelas aplicándose como factor secundario el manejo ganadero (pastoreo directo y no pastoreo).

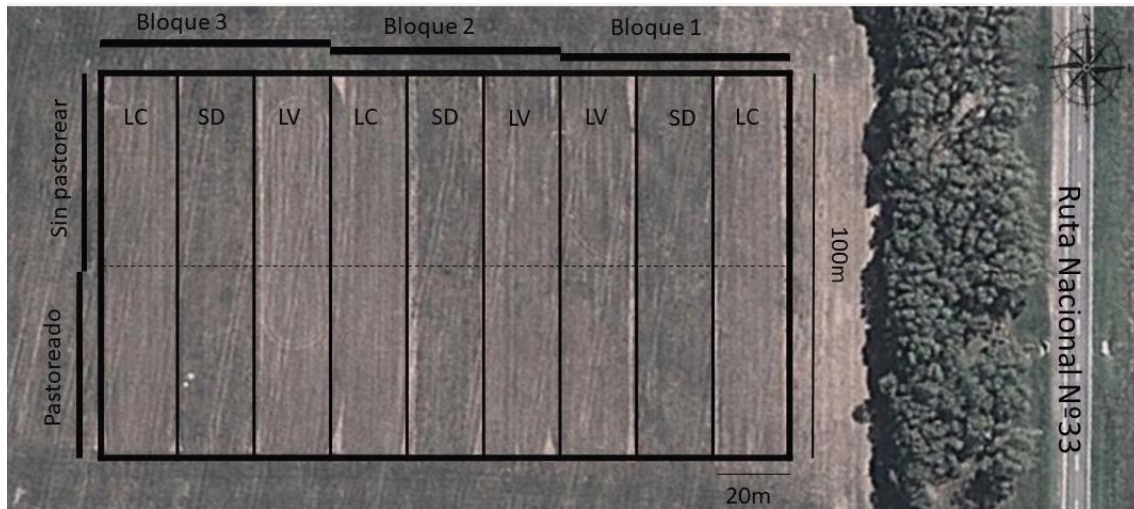


Figura 7. Diseño de las parcelas experimentales.

Referencias: LC: labranza convencional; SD: Siembra directa; LV: Labranza vertical.

2.4 Variables evaluadas

2.4.1 Climáticas

En este trabajo se utilizaron datos mensuales de precipitación correspondientes a la estación meteorológica automática (EMA) NAPOSTA, marca Davis Vantage Pro II (Figura 8), asimismo se usaron los datos climáticos provistos por el servicio meteorológico nacional (SMN, 2020).



Figura 8. Estación meteorológica automática EMA Napostá.

2.4.2 Humedad del suelo

La humedad del suelo se determinó al inicio del barbecho (28/03/19) y al momento de la siembra (29/04/19) mediante el método gravimétrico. Las muestras fueron tomadas a distintas profundidades 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 y 60-100 cm. Para cada profundidad se realizaron 3 piques (muestra compuesta) con barreno tubular de 2 cm de diámetro y se colocaron en bolsitas rotuladas. Luego se llevaron al laboratorio, se pesaron en balanza granataria para determinar la humedad actual y se secaron a estufa a 105°C durante 48 h o hasta peso constante; luego se volvieron a pesar para determinar la humedad gravimétrica (Hg%) (Ecuación 1). Posteriormente, para calcular la lámina de agua fue necesario transformar las determinaciones de humedad gravimétrica (Hg%) en humedad volumétrica (Hv%) y luego multiplicarlo por el espesor del horizonte o capa de suelo (Ecuación 2).

El porcentaje de humedad se determinó de la siguiente manera:

$$Hg(\%) = \left(\frac{(P \text{ cap.} + sh) - (P \text{ cap.} + sse)}{P \text{ sse}} \right) \times 100 \quad [Ec. 1]$$

Donde:

P cap. + sh.: peso de la cápsula con suelo húmedo (g)

P cap. + sse.: peso de la cápsula con suelo seco a estufa (g)

P sse.: peso del suelo seco a estufa (g)

$$Lam(mm) = \frac{Hg(\%) \times DA}{10} \times Prof \quad [Ec. 2]$$

Donde:

Hg: Humedad gravimétrica (%)

DA: densidad aparente (g/cm³)

Prof: espesor del horizonte o capa de suelo (cm).

2.4.3 Eficiencia hídrica del barbecho

La eficiencia hídrica del barbecho (EHB) se calcula para conocer si la recarga de agua en el perfil de suelo durante el barbecho fue eficiente. Esta es la relación entre la lámina de agua almacenada y la precipitación registrada durante el tiempo que duró el barbecho. En este ensayo, para determinar la eficiencia hídrica del barbecho (EHB), se utilizó la siguiente fórmula:

$$EHB(\%) = \frac{\text{mm agua final} - \text{mm agua inicial}}{\text{mm lluvia}} * 100 \quad [Ec. 3]$$

2.4.4 Determinación de densidad aparente (DA)

La densidad aparente del suelo (DA) se define como la masa de suelo seco en una determinada unidad de volumen edáfico (sólidos + poros) y su valor se relaciona con la proporción de poros existente en dicho volumen de suelo.

La DA se determinó por el método del cilindro (Blake & Hartge, 1986), que consistió en introducir un cilindro metálico en el suelo y enrasarlo una vez extraído. Las muestras fueron tomadas el 29/04/19. Se tomaron 3 repeticiones por parcela mediante cilindros de 5 cm de altura y 4,7 cm de diámetro, a distintas profundidades (0-6; 6-12; 12-27; 27-47; 47-60 cm). Las muestras recolectadas se llevaron a estufa a 105°C durante 48 h o hasta peso constante para determinar la DA mediante la siguiente fórmula:

$$DA \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{Psse}{Vol.cil.} \quad [Ec. 4]$$

Donde:

DA: Densidad aparente (g/cm³)

Psse.: Peso suelo seco a estufa (g)

Vol.cil: Volumen del cilindro (cm³)

2.4.5 Distribución de poros por tamaño

La distribución del tamaño de poros se determinó mediante la mesa de tensión y el equipo de tensión de Richards (Klute & Klute, 1986).

Las muestras que se utilizaron fueron las que se obtuvieron para DA (método del cilindro).

En la mesa de tensión, se colocaron las muestras sin disturbar, y se obtuvieron los datos de humedad de saturación, el cual representa la porosidad total del suelo, a esto se lo denomina pF 0 y se hizo otra determinación en el punto pF 1,8, la tensión que se utiliza es de 0,1 atm (Figura 9).

En los equipos de tensión de Richards (1948) se determinó el contenido de agua a pF 2,5 (0,33 atm) equivalente a capacidad de campo (CC) y con muestras disturbadas en anillo de goma a pF 4,2 (15 atm), el punto de marchitez permanente (PMP), (Figura 10).

A partir de los datos obtenidos de la curva de humedad se calculó la distribución del espacio poroso (%). Se consideró la clasificación propuesta por Greenland (1977), citada por Taboada & Micucci (2008): macroporos (> a 50 µm), calculados a partir de los contenidos volumétricos de agua a potenciales de 0 a 0,1 atm, los mismos son los que permiten el flujo primario de agua durante la infiltración y el drenaje siendo los que poseen un mayor control sobre la aireación del suelo, mesoporos mayores (de 50 a 9 µm) y mesoporos menores (de 9 a 0,2 µm) desde los potenciales de 0,1 a 0,33 atm y de

0,33 a 15 atm, respectivamente, son particularmente importantes para el almacenamiento de agua y la actividad microbiana y finalmente se encuentran los microporos ($< 0,2 \mu\text{m}$) desde 15 atm, que se caracterizan por retener el agua en forma no disponible para las plantas.



Figura 9. Mesa de tensión (Tomado de Cirolini, 2016).



Figura 10. Equipos de tensión de Richards.

2.4.6 Cobertura del suelo

Para la determinación de la cobertura del suelo, se utilizó el software CobCal 2.1 desarrollado por el INTA (Ferrari *et al.*, 2006) (Figura 11). Su funcionamiento está basado en un algoritmo especialmente diseñado para el procesamiento de imágenes

digitales mediante colorimetría, es decir mediante la medición y cuantificación de colores. Es por eso, que utiliza como entrada fotos digitales de la superficie muestreada y calcula de forma rápida, sencilla y eficaz, el porcentaje y la superficie cubierta por un cultivo, rastrojo, maleza, o manchas de enfermedades.

Las fotografías para determinar cobertura se tomaron en las siguientes fechas:

- 29/04/19, a la siembra, se tomaron las fotografías por tratamiento y en cada bloque.
- 23/10/19, se tomaron las fotografías en la parcela sin pastoreo, por tratamiento y en cada bloque.
- 1/11/19, se tomaron las muestras correspondientes a la parcela con pastoreo directo, por tratamiento y en cada bloque.

Todas las fotos fueron tomadas a una distancia vertical de aproximadamente 1 metro del suelo, a partir de una unidad muestral de 0,25 m².

Las muestras de materia seca (MS), se tomaron el 23/10/19 en la parcela sin pastoreo, y el día 1/11/19 se muestreo el remanente de MS en la parcela pastoreada. Se tomaron al azar tres muestras (0,25 m²) por parcela, recolectando el material de forma manual a 5 cm del suelo. Las muestras se llevaron al laboratorio, donde se secaron en estufa a 60°C y se pesaron para luego determinar la MS.

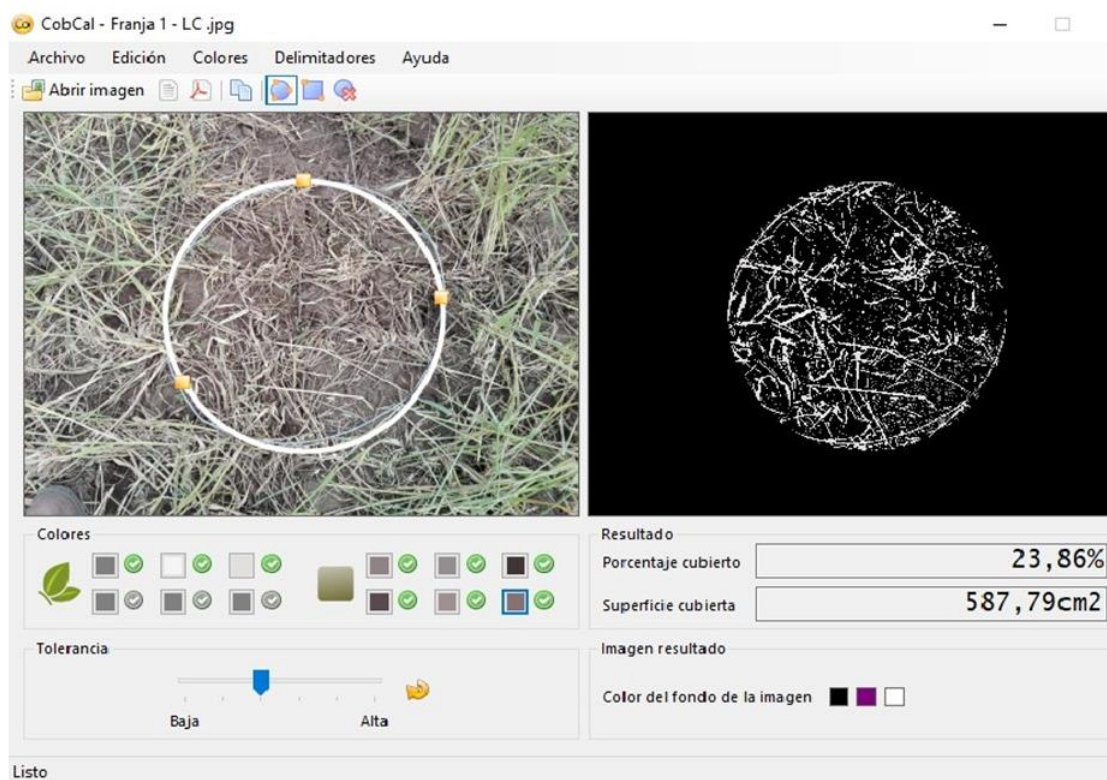


Figura 11. Imagen del software Cobcal 2.1.

2.4.7 Resistencia a la penetración (RP)

La resistencia del suelo a la penetración es la fuerza que éste opone a un instrumento de prueba y su valor es un índice integrado de la compactación del suelo, el contenido de humedad, de la textura, del contenido de materia orgánica y de la estructura del suelo (Ortiz-Cañavate & Hernanz, 1989).

Las mediciones se llevaron a cabo con un penetrómetro de golpes. El mismo consta de un eje metálico con una longitud de recorrido o carrera de 93,5 cm y una punta cónica de 60° (3,01 cm² de diámetro) la cual se desenrosca y es intercambiable; además consta de 3 pesas de 1,985 kg, 0,626 kg y 0,532 kg, que se seleccionaron según la fuerza de impacto que se necesitaba para penetrar el suelo. Para mayor seguridad el muestreo fue llevado a cabo por 3 operarios, en el cual uno contó el número de golpes, otro tomó nota de los datos y el último se encargó del uso del penetrómetro (Figura 12).

Según la metodología se cuenta el número de golpes necesarios para penetrar el suelo a una determinada profundidad y luego se convierte en energía a través de la siguiente fórmula:

$$RP (kg/cm^2) = \left[\frac{(M^2)*H*N}{2*(M+m)*S*\Delta Z} \right] \quad [Ec. 5]$$

Donde:

RP: Resistencia a la penetración (kg/cm²). La ecuación se divide por 10 para convertir kg/cm² a MPa.

M: Masa de las pesas (kg)

H: Longitud de recorrido o carrera (cm)

N: Número de golpes utilizados

M+m: Peso total del penetrómetro (kg)

S: Área basal del cono (cm²)

Δz: Representa la variación de la profundidad (cm), en este caso cada 5 cm.

El 23/10/19 se realizaron las determinaciones en la parcela sin pastorear y el 1/11/19 en la parcela correspondiente a pastoreo directo (el 21/10/19 se realizó un pastoreo, en el cual ingresaron a las parcelas un total de 57 vaquillonas de servicio con un peso promedio de 400 kg).

En cada parcela, se marcó una transecta lineal de 120 cm sobre la cual se posicionó el penetrómetro cada 30 cm y se contabilizó el número de golpes para las profundidades de (0-5; 5-10; 10-15; 15-20; 20-25 y 25-30 cm), (N=270).

Al momento de la determinación también se registró el contenido de humedad a través de la toma de muestras, para poder corregir los resultados del penetrómetro por la misma.



Figura 12. Detalle del uso del penetrómetro de golpe en el ensayo.

2.4.8 Determinación de la biomasa y distribución de raíces en el perfil del suelo

Para la determinación de la biomasa de raíces se utilizó el método del barreno (Frasier *et al.*, 2016), que consistió en tomar muestras con un barreno tubular de 2 cm de diámetro interno, las mismas fueron tomadas el 23/10/19 sólo en la parcela sin pastorear, a diferentes profundidades (0-20, 20-40 y 40-60 cm) en 4 posiciones equidistantes, sobre la línea de siembra del cultivo (LS) y en el entresurco (ES) en cada parcela (Figura 13). Las muestras se rotularon considerando, profundidad y LS ó ES, y se llevaron al laboratorio para realizar la cuantificación de raíces.

Posteriormente, se colocaron las muestras de suelo en botellas de 1,5 L rotuladas y se llenaron con agua hasta $\frac{3}{4}$ parte de las mismas; luego se llevaron a un agitador por aproximadamente 45 minutos. Una vez terminado este paso, con un tamiz de 250 μ m se tamizaron las raíces aplicándole presión con un chorro de agua constante. Las raíces obtenidas en el tamiz se separaron manualmente de posibles impurezas utilizando pinzas metálicas y se llevaron a estufa a 60°C por 24hs. Luego fueron pesadas (Figura 14).

Para realizar los cálculos, primero se debe determinar el porcentaje de influencia del entresurco (Ies) y de la línea de siembra (Ils) a partir de la distancia entre hileras de los cultivos (b) y el diámetro del barreno (D) según las ecuaciones 6 y 7.

$$Ies (\%) = b - \left(\frac{D*2}{b}\right) * 100 \quad [Ec. 6]$$

$$Ils (\%) = \left(D * \frac{2}{b}\right) * 100 \quad [Ec. 7]$$

Donde:

Ies: Influencia del entresurco (%).

Ils: Influencia de la línea de siembra (%).

b: Distancia entre hileras del cultivo (m).

D: Diámetro del barreno (m)

Luego se calcula la biomasa de raíces del entresurco (BRes) y de la línea de siembra (BRls) según ecuaciones 8 y 9.

$$BRes(g/m^2) = \frac{(\Sigma \text{ peso seco de raíces en ES (g)})}{\left(\pi * \frac{D(m)^2}{4}\right)} * \left(\frac{Ies}{100}\right) \quad [Ec. 8]$$

$$BRls(g/m^2) = \frac{(\Sigma \text{ peso seco de raíces en LS(g)})}{\left(\pi * \frac{D(m)^2}{4 * N^{\circ} \text{piques}}\right)} * \left(\frac{Ils}{100}\right) \quad [Ec. 9]$$

Donde:

BRes: Biomasa de raíces del entresurco (g/m²).

BRls: Biomasa de raíces de la línea de siembra (g/m²).

D: Diámetro del barreno (m).

Ies: Influencia del entresurco (%).

Ils: Influencia de la línea de siembra (%).

La biomasa total de raíces (BTR) se obtuvo a partir de la suma de biomasa de raíces en la línea de siembra (LS) y el entresurco (ES) para cada tratamiento (LC-SD-LV).

$$BTR (g/m^2) = BRls + BRes \quad [Ec. 10]$$

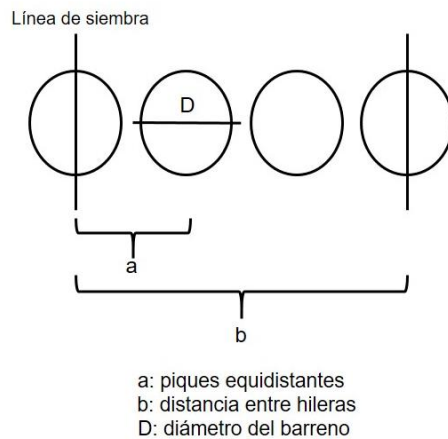


Figura 13. Diagrama representativo de la toma de muestras.

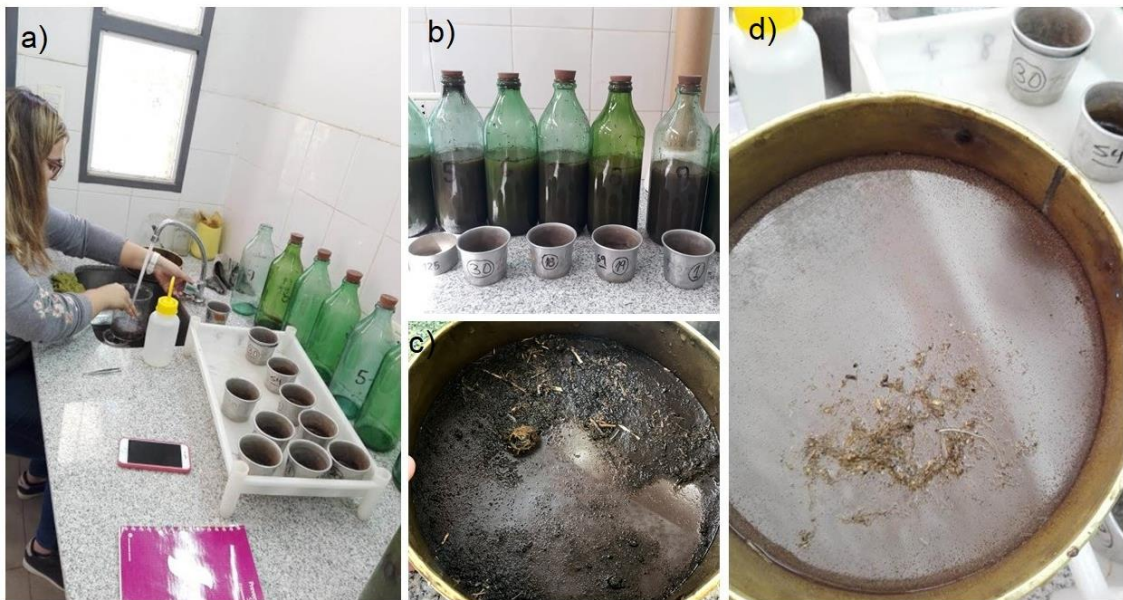


Figura 14. Procedimiento para la separación de raíces. a) Limpiando las muestras para luego separar las raíces. b) Muestras en botellas y cápsulas. c) Raíces sin separar en el tamiz. d) Raíces ya limpias listas para poner en las cápsulas.

Para determinar la distribución de raíces en el perfil del suelo se utilizó el método de la pared (Böhm, 1979). El mismo consistió en la apertura de una calicata de aproximadamente 1m x 1m y posterior nivelación de la pared con una pala, para luego colocar de forma transversal a la línea de siembra una malla metálica o grilla de 50 cm de ancho x 60 cm de longitud. La misma está dividida en celdas de 5 cm de lado para ayudar con el recuento de raíces. Se debe picar aproximadamente 5 mm del perfil con un cuchillo y pulverizarlo con agua para exponer las raíces y así hacer más sencillo el recuento (Figura 15).



Figura 15. Imágenes de la malla metálica y recuento de raíces.

En cada calicata se contabilizaron las raíces de cada cuadrado de la grilla; estos datos se anotaron en una planilla idéntica a la grilla y se señaló en qué posición había plantas. Con estos datos se procedió a calcular la longitud de las raíces (m) y la densidad de raíz expresada en términos de m de raíz/m³ de suelo.

$$DR (m/m^3) = \frac{L (m) * 1m^3}{A (m^2) * p (m)} \quad [Ec. 11]$$

Donde:

DR = densidad de raíces (m/m³)

L= longitud de raíz (m)

$L (m) = N * p$

$N = \sum n^\circ$ de raíces observadas en cada cuadro.

p = profundidad de penetración dentro de la pared de perfil = 0,005 m.

A = área observada en la grilla. Superficie del rectángulo = 0,025 m².

2.5 Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente mediante el programa InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2008). Los resultados se analizaron por ANOVA y se utilizó la prueba de LSD Fisher ($p < 0,05$) para diferenciar promedios entre variables.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Escenario climático del año 2019

En la Tabla 2, se muestran los datos de la precipitación media mensual para Napostá del año en que se realizó el ensayo; también se muestra la precipitación mensual media de Bahía Blanca para el período 1978-2019, estos datos fueron proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2020).

Tabla 2. Precipitaciones (mm) del 2019 ocurridas en Napostá y precipitación mensual media para el período 1978-2019.

	Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total Barbecho
EMA Napostá	2019	19,6	12,3	129,4	13,1	60,8	42,5	0,5	1,5	33,9	89,3	44,1	60	13,1
Climática Bahía Blanca	1978-2019	67,7	65,4	82,3	54,5	43,1	27,4	32,7	32,8	46,6	72,6	57,6	61,7	

En los meses correspondientes al barbecho (marzo-abril) las precipitaciones acumularon 13,1 mm. Si se compara el mismo período con la precipitación mensual media (54,5 mm), se observa que la precipitación caída durante el período antes mencionado es un 76 % inferior al promedio histórico (Figura 16). En general, las precipitaciones ocurridas durante la campaña estuvieron cercanas a la media histórica, algunos meses la superaron y otros estuvieron por debajo, pero no hubo grandes diferencias, excepto en los meses de julio-agosto, donde las precipitaciones fueron 32,2 y 31,3 mm inferiores a la media histórica. Por otra parte, en el período previo al barbecho (enero-febrero), las precipitaciones fueron 71% y 81% inferiores a la media.

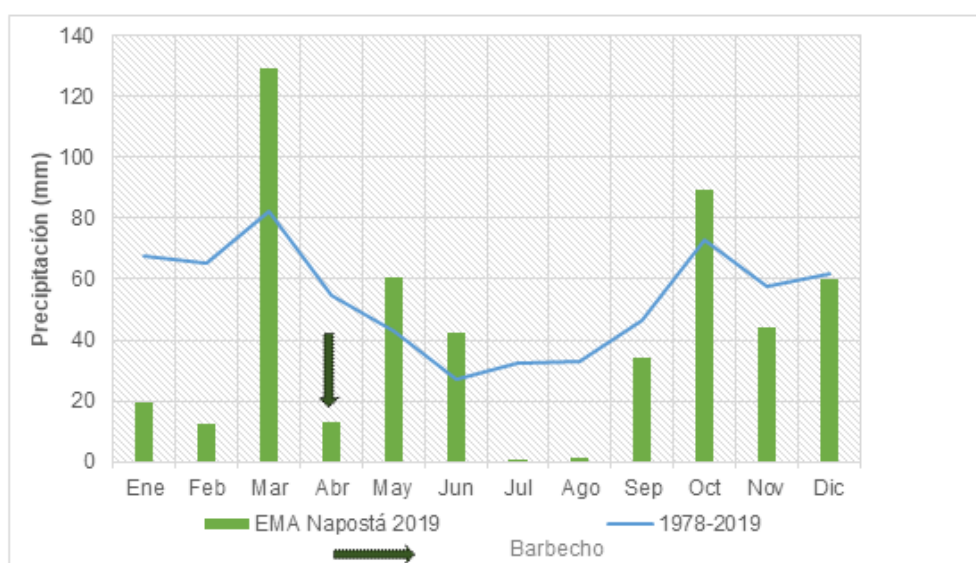


Figura 16. Registro de precipitaciones (mm) de EMA Napostá, período de barbecho y precipitación mensual media de Bahía Blanca para el período de 1978-2019.

3.2 Dinámica del agua

3.2.1 Humedad del suelo

Los datos correspondientes al contenido de humedad promedio se expresan en mm y corresponden a 0-100 cm de profundidad (Figura 17). Los resultados del análisis estadístico se presentan en el Anexo como Tabla A1 y A2. Al inicio del barbecho los contenidos de agua acumulados fueron 227, 202 y 187 mm, para SD, LV y LC, respectivamente. Dichos valores no mostraron diferencias significativas y representaron un 73, 52 y 43 % inicial y 42, 36 y 35 % final para SD, LV y LC, respectivamente, de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo. Debido a las escasas precipitaciones registradas durante el barbecho, se observaron disminuciones en el contenido de agua disponible, con valores promedios de 176 mm, sin diferencias significativas entre tratamientos (Tabla A2).

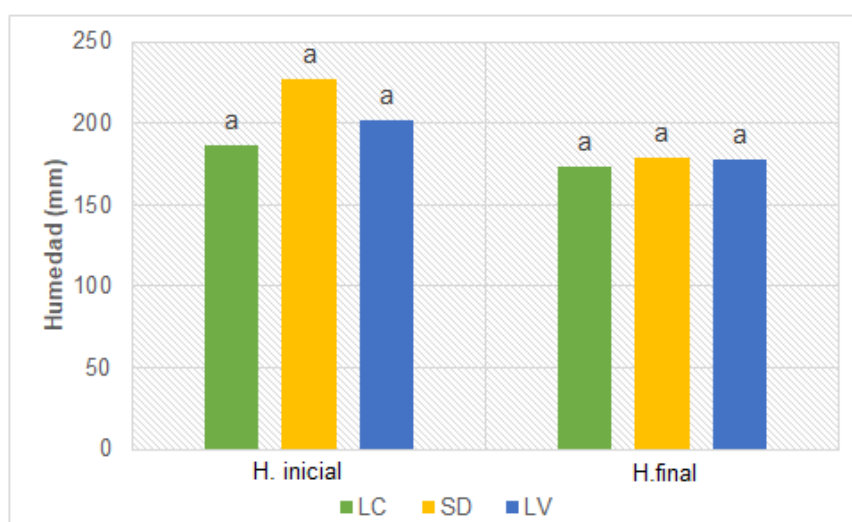


Figura 17. Contenido hídrico promedio (mm) al inicio y al final del barbecho en 0-100 cm de profundidad. Tratamientos con letras iguales no presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

En general, al igual que para 0-100 cm, los contenidos hídricos registrados para las diferentes profundidades (0-10, 10-20, 20-40, 40-60 y 60-100 cm) no reflejaron diferencias significativas entre sistemas de labranza, para los contenidos iniciales y finales de agua (Tabla A3 y A4).

En la Figura 18a, se puede ver que SD sigue con los mayores valores de acumulación de agua respecto a LC y LV, y en cuanto a la Figura 18b, SD no mostró diferencias con LC y LV, pero ambos tratamientos difirieron entre sí, se puede concluir que el tratamiento correspondiente a LC fue el que menos agua acumuló tanto al inicio como al final del barbecho. Este efecto de la acumulación de agua en SD fue observado por Wagner (2019) en el mismo lugar donde se realizó la experiencia. Zhai *et al.* (1990) determinaron

que la mayor acumulación de agua en el perfil de suelos bajo labranzas conservacionistas está estrechamente relacionada con la menor remoción y con la disminución de la evaporación del agua almacenada desde la superficie por la presencia de material vegetal. Otros autores, si bien no encontraron significancia estadística, observaron una tendencia a acumular más agua en suelos bajo siembra directa o mínima labranza cuando se compararon con suelos laboreados convencionalmente (Chang & Lindwall, 1989).

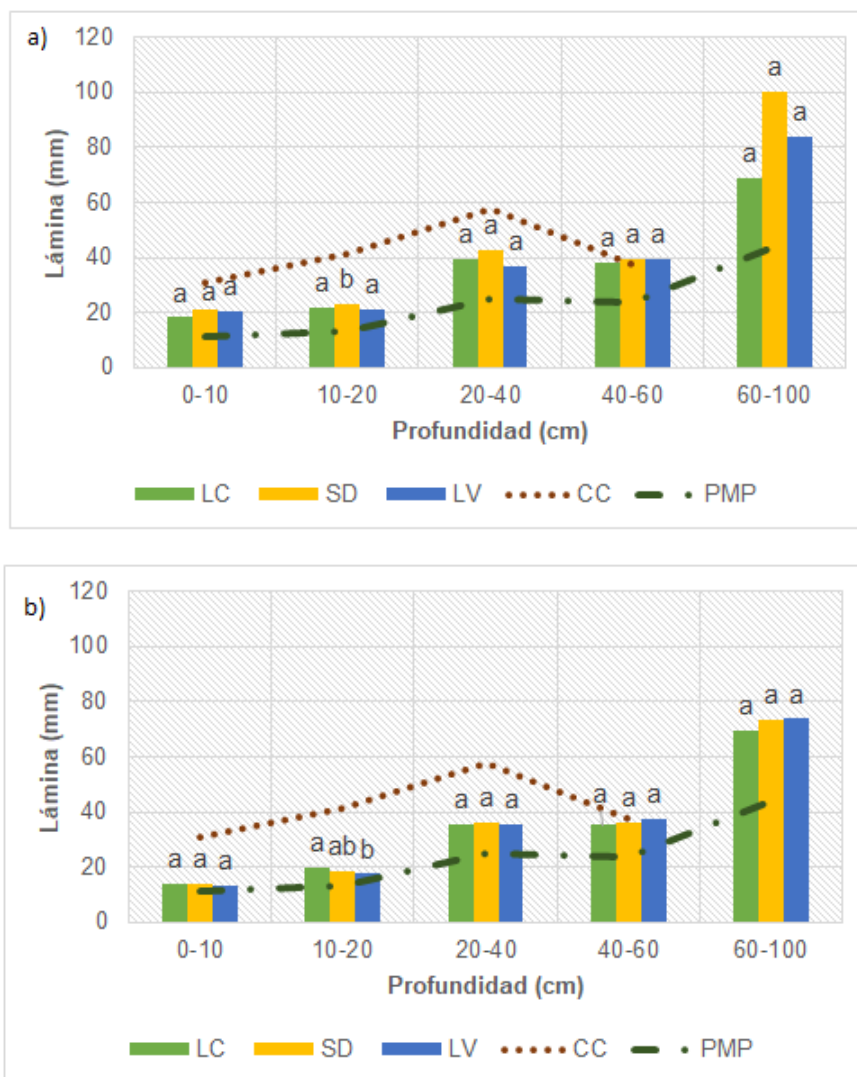


Figura 18. Contenido de humedad (mm), capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) para las distintas profundidades de muestreo. a) Al inicio del barbecho. b) al final del barbecho. Tratamientos con distintas letras difieren entre sí ($p < 0,05$).

3.2.2 Eficiencia hídrica del barbecho

La función principal del barbecho es permitir una adecuada acumulación de agua en el perfil y asegurar así un buen crecimiento en las primeras etapas del cultivo (Echeverría

& Silenzi, 2005). Lampurlanes *et al.* (2002) señalan que la conservación del agua durante el barbecho resulta principalmente dependiente del tipo de suelo, sistema de labranza, probabilidad de precipitaciones y capacidad del suelo para almacenar agua (CRAD).

La lámina inicial para los tres tratamientos fue mayor que la lámina final (Figura 17), dando como resultado una eficiencia hídrica del barbecho negativa. Dicho resultado podría deberse a las escasas precipitaciones durante el período mencionado, las cuales fueron un 76% inferior a la histórica. Quiroga *et al.* (2003) mostraron que tan solo un 34% y 24% de las precipitaciones durante el barbecho en SD y LC, respectivamente, lograron ser transferidas al ciclo de los cultivos. Otros estudios han observado valores entre el 10 y el 40% de la precipitación ocurrida (Peterson *et al.*, 1998), en otros casos no se han encontrado diferencias entre barbecho y no barbecho (Quiroga *et al.*, 2005), y en algunos se han observado eficiencias negativas (Krüger, 1993).

El suelo del ensayo es un Haplustol éntico, con una textura Franco arcillo Arenosa (FaA) con una capacidad de retención de agua (CRAD) de 112 mm/m de perfil de suelo, la cual se encuentra dentro de los rangos aceptables. Lampurlanes *et al.* (2002) comprobaron que en suelos con menor CRAD (80 mm) comparado con el suelo en estudio, la eficiencia de almacenaje del barbecho fue baja y no se registraron diferencias entre sistemas de labranza.

Otros autores citan que, la evaporación es el principal factor de pérdida de agua, estimándose que entre el 50 y 70 % de la precipitación anual retorna directamente a la atmósfera sin intervenir en el proceso productivo (Arkley, 1963). En este trabajo el porcentaje de pérdida de agua fue de: 26% SD, 17% LV y 13% para LC.

Por último, en la Figura 19 se muestran los resultados de cobertura del suelo obtenidos al final del barbecho, observándose diferencias significativas entre los tres sistemas de labranza (Tabla A5). El tratamiento LV fue el que mayor cobertura presentó al final del barbecho (59,5%), SD presentó la mitad de cobertura respecto a LV (25%) y LC fue cuatro veces inferior que LV (15,5%). Este mayor porcentaje de cobertura para LV puede asociarse a que las parcelas presentaban alta cobertura de rastrojo de trigo y también se encontraban enmalezadas. Con estos resultados podría explicarse por qué el tratamiento SD mostró mayor pérdida de agua que LV, esto pudo deberse a que dicho tratamiento presentó un menor porcentaje de cobertura. En cuanto a LC, la pérdida de agua pudo deberse a que en dicho sistema de labranza para dar inicio al barbecho se utilizó una rastra de doble acción, dejando el suelo sin remoción, sumado a esto, comenzó con menos humedad inicial en el perfil (Figura 17), por lo tanto, no acumuló la suficiente cantidad de agua y lo poco que logro acumular, no llegó a retenerlo debido a la baja cobertura del suelo y lo perdió por evapotranspiración.

Todas las causas antes mencionadas, según distintos autores podrían ser las responsables de la ineficiencia del barbecho.

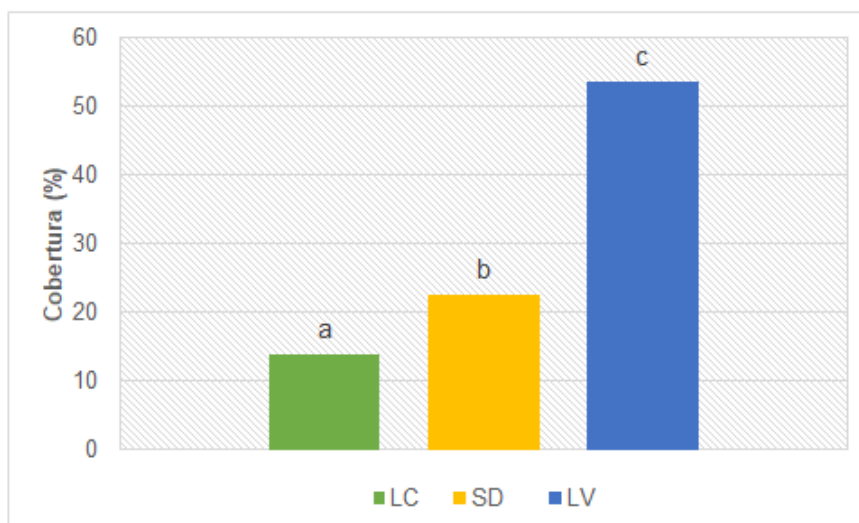


Figura 19. Cobertura (%) de los tratamientos al finalizar el barbecho. Tratamientos con distintas letras difieren entre sí ($p < 0,05$).

3.3 Densidad aparente (DA)

En la Tabla A6 del anexo, se muestra el análisis estadístico para la determinación de la densidad aparente (DA) según los distintos tratamientos a las distintas profundidades. Los valores de DA para 0-60 cm de profundidad no reflejaron diferencias significativas entre tratamientos (LC-SD-LV), pero si existen diferencias significativas ($p < 0,05$) cuando se analizó por profundidad (Figura 20). Las diferencias en DA se observan para las profundidades subsuperficiales (6-12, 12-27 y 47-60 cm).

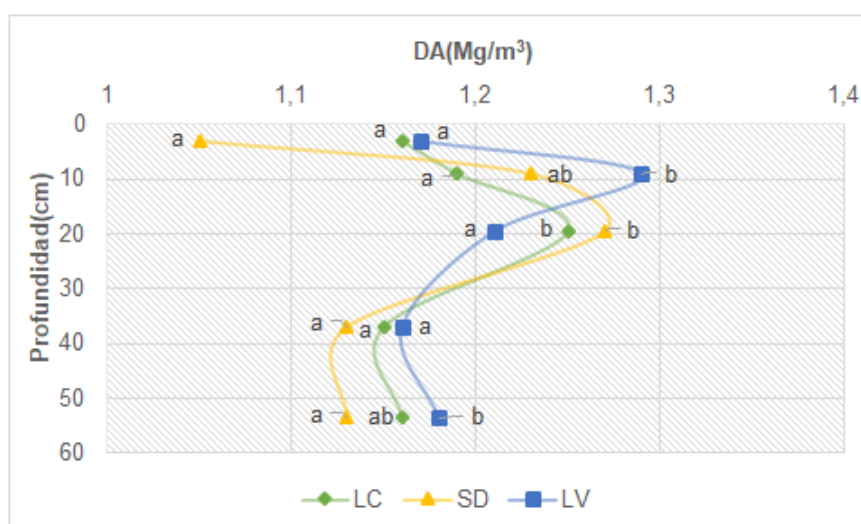


Figura 20. Densidad aparente para los distintos tratamientos (LC-SD-LV) en función de la profundidad de muestreo. Tratamientos con distintas letras difieren entre sí ($p < 0,05$).

En 6-12 cm, LV (1,29 Mg/m³), presentó los mayores valores de DA diferenciándose significativamente de LC (1,19 Mg/m³) sin diferencias con SD (1,23 Mg/m³). En 12-27 cm, SD (1,27 Mg/m³) y LC (1,25 Mg/m³) presentaron valores significativamente mayores a LV (1,21 Mg/m³). Finalmente, para la profundidad 47-60 cm, LC no mostró diferencias con ambos tratamientos, SD y LV, pero estos difirieron entre sí. Morrison *et al.* (1990), no encontraron diferencias entre labranza cero y convencional en la DA después de tres años de manejo. Sin embargo, otros autores como, Cassel (1982), Bolaños (1989), Laffite (1989), Bravo & Andreu (1995) y Secco *et al.* (1997) reportaron una mayor DA en los primeros 15 cm de profundidad en labranza cero comparado con labranza convencional. Por otro lado, Domínguez *et al.* (2000) han registrado una mayor compactación superficial en suelos bajo SD. En el mismo sentido, Carter (1990) informó que los sistemas que no remueven el suelo pueden ayudar a la compactación del mismo.

Cuando se observan los valores mínimos y máximos, se puede determinar que la DA más alta se presentó en LV en la profundidad correspondiente a 6-12 cm, con un valor máximo de 1,29 Mg/m³, mientras que el valor más bajo (1,05 Mg/m³) lo mostró el tratamiento de SD en la profundidad 0-6 cm. La presencia de residuos orgánicos posee un efecto protector frente a la compactación a campo (Ferrerías *et al.*, 2001). Esta es una razón por la que se encuentran menores valores de DA en los primeros centímetros de suelo.

Los valores de DA obtenidos no comprometen el crecimiento y rendimiento del cultivo, ya que, en los suelos de nuestra región, Silenzi *et al.*, (2000) encontraron que se restringe el crecimiento radicular a partir de 1,45-1,55 Mg/m³. Schmidt & Amiotti (2015) encontraron en la Región Pampeana Semiárida Sur valores de hasta 1,48 Mg/m³ en el rango de profundidad de 5-10 y 10-18 cm para Paleustoles petrocálcicos bajo SD.

3.4 Distribución de poros por tamaño

La Tabla 3 muestra los resultados del análisis estadístico de la distribución del tamaño de poros según el tratamiento y profundidad. La porosidad total (PT), no presentó diferencias significativas entre tratamientos para las profundidades analizadas excepto de 12-27 cm donde se encontraron diferencias entre SD y LV. La PT es la sumatoria de todos los poros y responde de distinta manera según el sistema de labranza utilizado (Iglesias *et al.*, 2007). En este caso, SD y LV presentan diferencias, y se puede observar que SD presenta menor porcentaje de poros, esto puede deberse a que el suelo en estudio presenta 8 años de SD continua. Esta baja en la PT de SD, coincide con la baja de los macroporos (MP), para los mismos se encontraron diferencias significativas

($p < 0,05$), para la profundidad de 12-27 cm y 47-60 cm entre los sistemas de labranza SD y LV, y entre SD y LC que difirieron con LV respectivamente.

Estos resultados coinciden con los de Schmidt (2015), donde encontró en la Región Semiárida Pampeana una disminución significativa de los MP en los suelos FA bajo SD respecto a LV. Sasal *et al.* (2006), en suelos de la pampa ondulada, determinaron que la disminución del volumen de MP en lotes con SD continua se debe a su colapso producto del tránsito de las maquinarias, sin regeneración de los mismos. López *et al.* (2016) determinaron en el SOB que la baja de la macroporosidad de los suelos resultaría en una importante disminución de la calidad física, asociada a la disminución de la infiltración, menor aireación del suelo y menor desarrollo radical de los cultivos.

Los mesoporos mayores y menores (mP) no presentaron diferencia entre tratamientos para todas las profundidades. Otros estudios han encontrado mayor cantidad de mP en LC respecto a SD (Iglesias *et al.*, 1998). Respecto a los microporos (μ P) se halló que para la profundidad de 27-47 cm SD se diferenció de LC y LV, presentando menor cantidad de microporos, mientras que para 47-60 cm se encontraron diferencias ($p < 0,05$) entre los tres sistemas de labranza.

La distribución del tamaño de los poros puede afectar la dinámica del agua, los MP son los encargados de que el agua fluya durante la infiltración y drenaje, por lo tanto, son los poros que ejercen un importante control sobre la aireación del suelo, en este ensayo el promedio general de macroporos fue de 16,7% en todo el perfil del suelo. Según distintos autores, valores de macroporosidad ($>50 \mu\text{m}$) de 10 a 25% son considerados necesarios para una adecuada aireación, retención de agua y para permitir una rápida percolación del agua excedente del suelo (Topp *et al.*, 1997), esto nos da una pauta de que el suelo en estudio presenta buena aireación y retención de humedad.

Tabla 3. Resultados del análisis estadístico de la distribución del tamaño de poros para cada tratamiento y profundidad de muestreo.

Prof (cm)	Tratamientos	Tamaño de poros (%)				
		PT	MP	mP>	mP<	μP
0-6	SD	58,4 a	25,3 a	7,5 a	15,1 a	10,5 a
	LC	58,4 a	27 a	5,9 a	15,1 a	10,4 a
	LV	54,1 a	18,3 a	6,7 a	17,7 a	11,3 a
6-12	SD	45,8 a	12,8 a	6,0 a	14,6 a	12,4 a
	LC	49,7 a	15,6 a	4,9 a	16,5 a	12,7 a
	LV	48,7 a	15,5 a	5,6 a	16,3 a	11,3 a
12-27	SD	45,3 a	9,9 a	7,2 a	15,2 a	13,1 a
	LC	49,7 ab	13,2 ab	6,5 a	17 a	12,9 a
	LV	52,9 b	17,9 b	7,8 a	13,8 a	13,4 a
27-47	SD	53,3 a	15,4 a	9,8 a	16,7 a	11,5 a
	LC	53,6 a	14,3a	8,6 a	17,7 a	13 b
	LV	53,0 a	16,6 a	12,2 a	11,6 a	12,5 b
47-60	SD	54,1 a	15,4 a	8,2 a	20,6 a	9,8 a
	LC	55,1 a	15,8 a	10,8 a	17,8 a	10,8 b
	LV	53,3 a	16,8 b	13,3 a	10,5 a	12,7 c

Referencias: SD: siembra directa, LC: labranza convencional, LV: labranza vertical, PT: porosidad total, MP: macroporos, mP>: mesoporos mayores, mP<: mesoporos menores, μP : microporos. Tratamientos con distintas letras difieren entre sí ($p < 0,05$).

3.5 Cobertura del suelo

En las Tablas A7 y A8 del anexo se muestran los resultados obtenidos con el software Cobcal para la determinación de cobertura del suelo en las parcelas pastoreadas (P) y sin pastorear (SP) y el análisis estadístico, respectivamente. En la Figura 21, se representan los valores promedios de cobertura del suelo para las parcelas pastoreadas (P) y sin pastorear (SP) según los distintos tratamientos (LC-SD-LV).

Para cobertura (%), no se encontraron diferencias significativas entre fechas, es decir, SP-P y tampoco diferencias entre tratamientos (LC-SD-LV). Se observó que las parcelas SP presentaron mayor cobertura respecto a las parcelas P, resultando LC-SP el tratamiento con mayor cobertura (22,3%) y en la parte P, SD fue la que presentó la mayor cobertura (16,5%). La ausencia de diferencias estadísticas pudo deberse a la frecuencia del pastoreo ya que sólo se realizó un pastoreo previo a la toma de datos y a la carga animal aplicada (57 vaquillonas de servicio) en dicho pastoreo. Sin embargo, Quiroga *et al.* (2007), encontraron en un Haplustol éntico de la Planicie Medanosa diferencias significativas entre tratamientos con y sin pastoreo en parcelas de SD y LC, resultando el porcentaje de cobertura mayor para el tratamiento sin pastoreo tanto bajo SD como en LC.

En cuanto a la materia seca (MS, Mg/ha), no se encontraron diferencias significativas entre P y SP como así tampoco para los distintos sistemas de labranza (Figura 22).

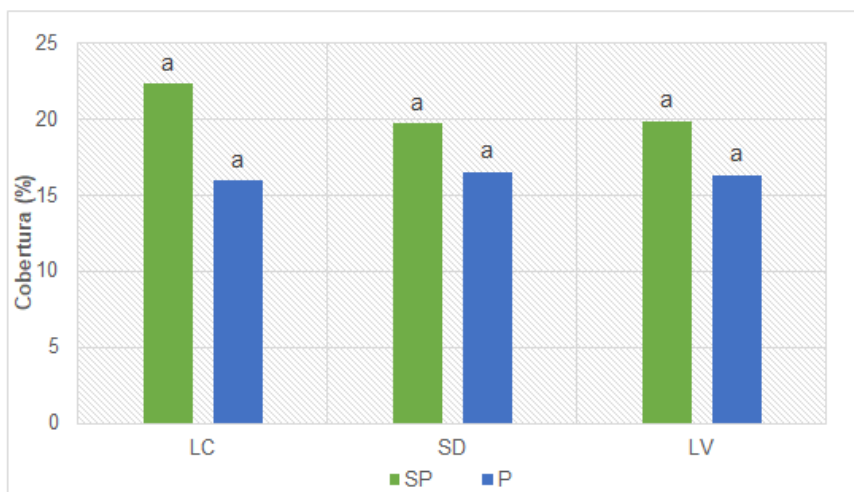


Figura 21. Valores promedio de cobertura (%) del suelo para las parcelas sin pastorear (SP) y pastoreadas (P) para los distintos tratamientos (LC-SD-LV).

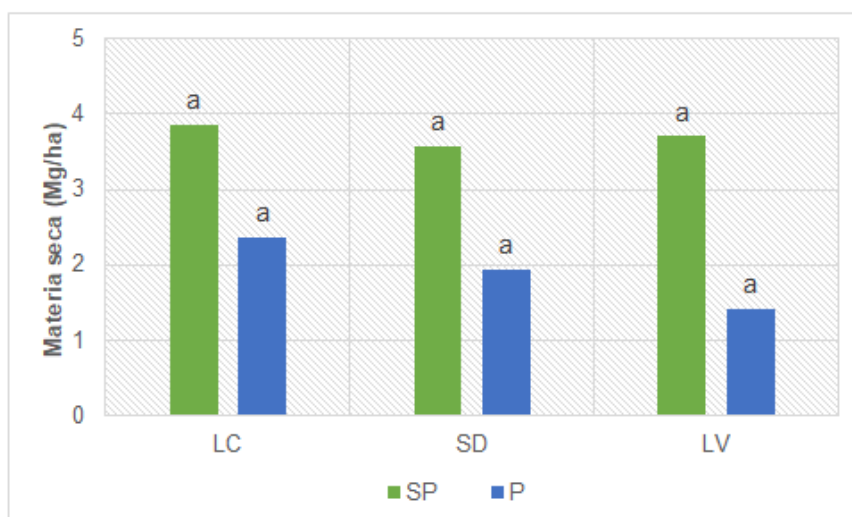


Figura 22. Materia seca del cultivo de avena (Mg/ha) para las parcelas pastoreadas (P) y sin pastorear (SP) para los distintos tratamientos (LC-SD-LV).

3.6 Resistencia a la penetración

En la Tabla A9 del anexo, se muestra el análisis estadístico para la determinación de la resistencia a la penetración (RP) para los distintos tratamientos (LC-SD-LV). Como se observa en la Figura 23, existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre SD y LC tanto para el sector P como SP de 0-30 cm de profundidad. LC fue el tratamiento que presentó mayor RP con un valor de 1,62 MPa respecto a SD (1,46 MPa) en el sector P, mientras que para el sector SP, LC presentó un valor de 2,05 MPa, con respecto a SD (1,40 MPa).

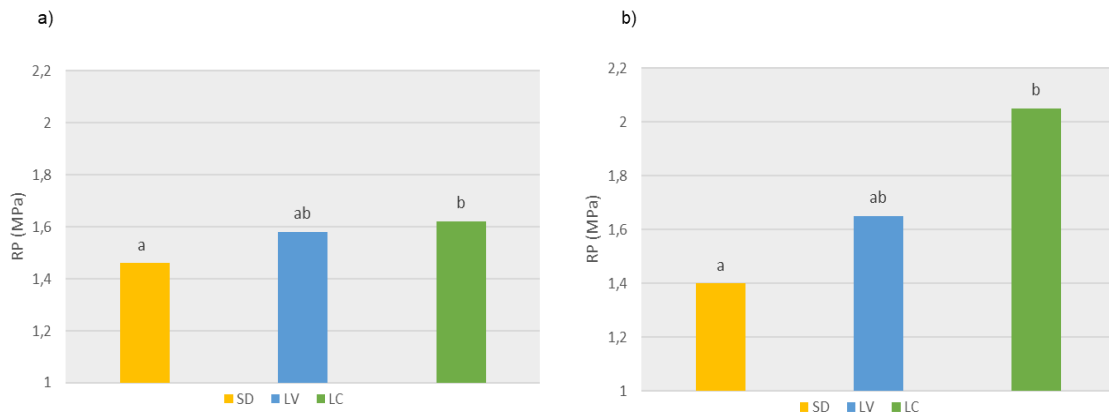


Figura 23. Resistencia a la penetración (MPa) de 0-30 cm de profundidad para los distintos tratamientos en el sector a) pastoreado y b) sin pastorear. Tratamientos con distintas letras difieren entre sí ($p < 0,05$).

Dado que la RP correlaciona negativamente con el contenido de agua del suelo, se ha sugerido que las mediciones deben hacerse con el suelo cercano a capacidad de campo para evitar las variaciones debidas a distintos contenidos de humedad (Krüger *et al.*, 2008). No fue posible comparar estadísticamente las parcelas P y SP debido a que días previos a la toma de datos en la parte P llovieron 60,4 mm, en cambio cuando se tomaron los datos de la parte SP el suelo se encontraba muy seco, debido a la falta de precipitaciones cerca de dicha fecha. Estas condiciones contrastantes de humedad hacen que los resultados no sean comparables.

En la Figura 24, se observa que en las parcelas P para los tres tratamientos no se encontraron diferencias significativas según la profundidad. Sin embargo, en las parcelas SP hasta los 15 cm de profundidad no se encontraron diferencias significativas, pero se pudo observar que SD obtuvo el mayor valor de RP (MPa) respecto a los otros dos tratamientos, este aumento en las capas superficiales coincide con la disminución de la PT y el aumento de la DA. A partir de los 15 cm se encontraron diferencias estadísticas donde, LC se diferenció de SD y LV presentando el máximo valor. Por lo tanto, de 15-20 cm, LC se diferenció de SD-LV; en 20-25 cm LC sólo se diferenció de SD y a los 25-30 cm si bien en LC hay una disminución de la RP, la misma se diferenció sólo de SD.

Distintos autores como, Grant & Lafond (1993) no hallaron diferencias en RP cuando compararon sistemas de labranza conservacionista y convencional. En cambio, otros investigadores encontraron mayor RP en los primeros centímetros del suelo bajo SD y LV que en LC (Ferrerias, 1996; Taboada *et al.*, 1996). Venialgo (2004) también observó una mayor RP en SD de 0 a 20 cm y una mayor RP en LC de 20 a 30 cm. En SD, al no realizarse otra labor a excepción de la siembra, mayores valores de RP en los primeros

centímetros superficiales pueden atribuirse al efecto del tránsito de los implementos agrícolas, que resulta acumulativo luego de ocho años sin remoción. En las parcelas bajo LC, la remoción anual del suelo por las labores produce un aflojamiento de la capa superficial, con lo cual disminuye la RP.

Diversos autores sostienen un generalizado incremento de la RP en los estratos superiores para los planteos bajo SD, en comparación con los sistemas de labranza con arados (Tebrugge & During, 1999; López-Fando *et al.*, 2007; Franzluebbbers & Stuedemann, 2008) y labranza reducida (Vetsch & Randall, 2002; Siri-Prieto *et al.*, 2007; Vetsch *et al.*, 2007).

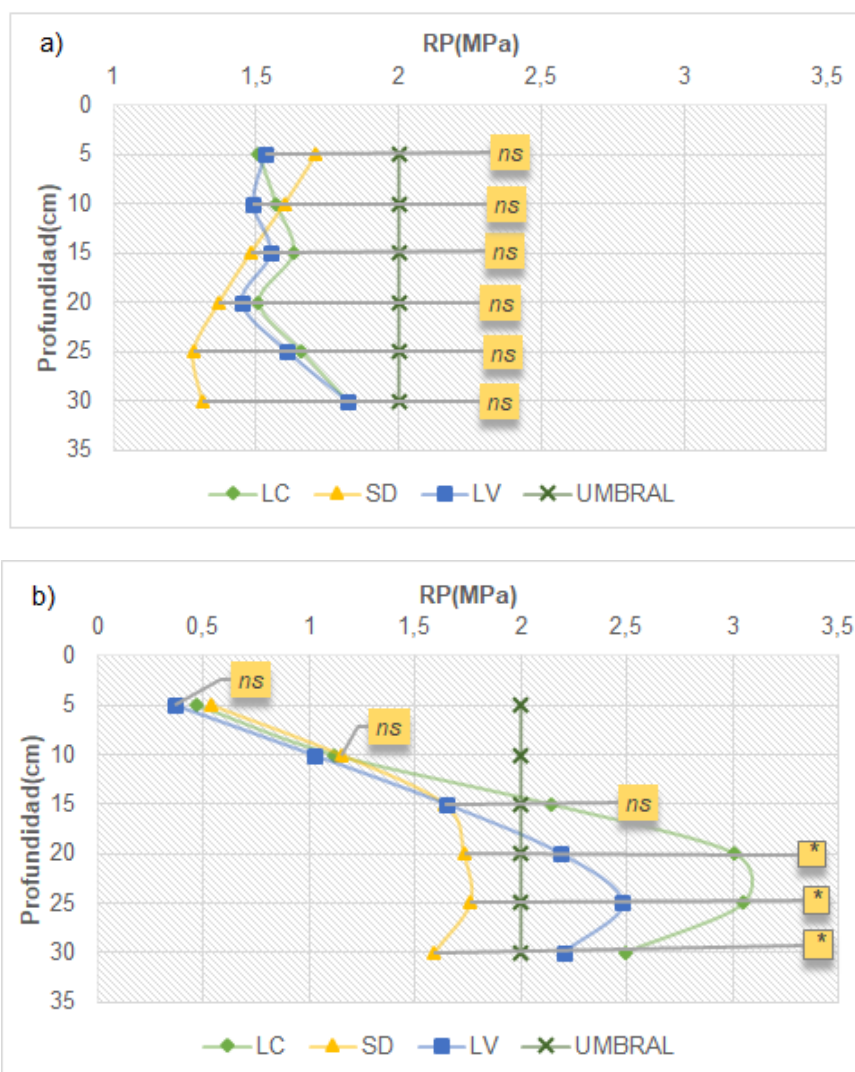


Figura 24. Resistencia a la penetración (MPa) para los distintos tratamientos a las profundidades de muestreo. a) Parcela pastoreada (P) y b) Parcela sin pastorear (SP). ns: diferencias no significativas entre tratamientos para cada profundidad de muestreo, *: diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para cada profundidad de muestreo.

3.7 Biomasa y distribución de raíces

En la Tabla A10 y A11 del anexo, se presentan los resultados del análisis estadístico de la densidad de raíces (m/m^3) para el método de la pared (Böhm, 1979) y el mapa de distribución de raíces y densidad (m/m^3) de las mismas en el perfil para los distintos tratamientos, respectivamente. En la Figura 25, se muestran los resultados obtenidos de densidad de raíces en el perfil del suelo para los tres tratamientos. Bajo SD se observaron densidades de raíces significativamente menores ($2190 m/m^3$) con respecto a los otros dos tratamientos, LC y LV, mientras que dichos tratamientos no difieren entre sí. El tratamiento correspondiente a LC fue el que mostró mayores valores de densidad de raíces ($3417 m/m^3$), seguido por LV con $3260 m/m^3$. Mayores densidades de raíces en LC también fue observado por Wagner (2019) en el mismo lugar donde se realizó la experiencia. Por otra parte, Martínez *et al.* (2008), cuando estudiaron los efectos de la labranza a más largo plazo (4 a 7 años) encontraron que la longitud y densidad de raíces en un cultivo de trigo fueron mayores en SD que en LC.

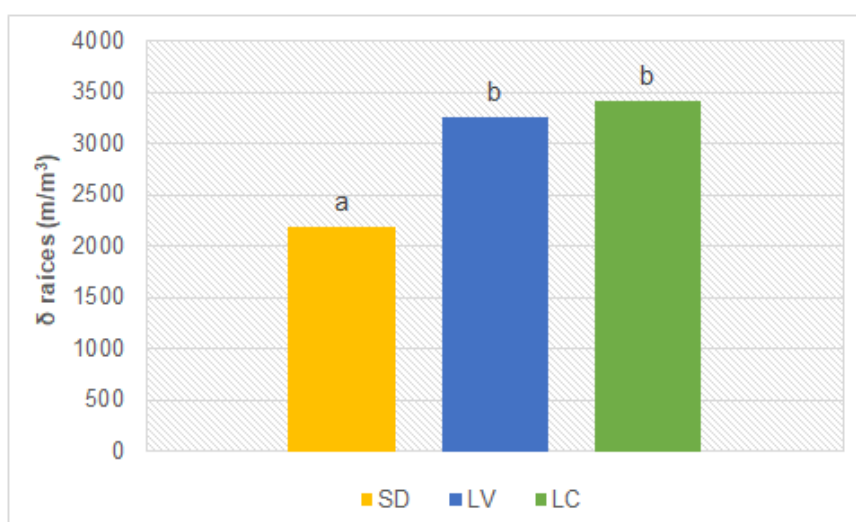


Figura 25. Densidad de raíces (m/m^3) para los distintos tratamientos según la metodología de la pared. Tratamientos con distintas letras difieren entre sí ($p < 0,05$).

Cuando se analizó la densidad de raíces (m/m^3) a distintas profundidades (Figura 26), se observó que en la parte superficial (0-5 cm) hay mayor acumulación de raíces en SD con un total de $6480 m/m^3$, seguida por LV $4640 m/m^3$ y por último LC con un total de $3320 m/m^3$. Pero a mayor profundidad se observa una disminución abrupta en la densidad de raíces, en el tratamiento SD, mientras que en los otros sistemas de labranza la disminución es más gradual. Es de esperarse que en el tratamiento SD, se produzca una disminución de la cantidad de raíces debido a que, al mostrarse una leve tendencia a la compactación, se concentran en la parte subsuperficial del perfil. Molina *et al.* (2012) coinciden con los resultados obtenidos en este trabajo y muestran que LC

y LV proporcionan un ambiente más favorable para el desarrollo radicular de los cultivos en comparación con SD. Esta impedancia física se corrige mediante la utilización adecuada y oportuna de implementos de labranza que produzcan aflojamiento del suelo y disminución de la DA (Arkin & Taylor, 1981; Castro & Amézquita, 1991). Demostrando así que un suelo removido o disturbado opondrá menor resistencia mecánica al desarrollo radicular de los cultivos.

La literatura señala un incremento de la compactación superficial bajo SD, con disminuciones de la PT y aumentos en la DA en la mayoría de los ensayos (Sasal *et al.*, 2006; Mc Vay *et al.*, 2006), e incrementos en la RP con respecto a suelos bajo labranza (Álvarez & Steinbach, 2009). Esta mayor densificación del suelo puede presentar problemas para el desarrollo de las raíces de los cultivos (Lattanzi *et al.*, 2004). En este ensayo se muestran leves tendencias de compactación superficial bajo SD.

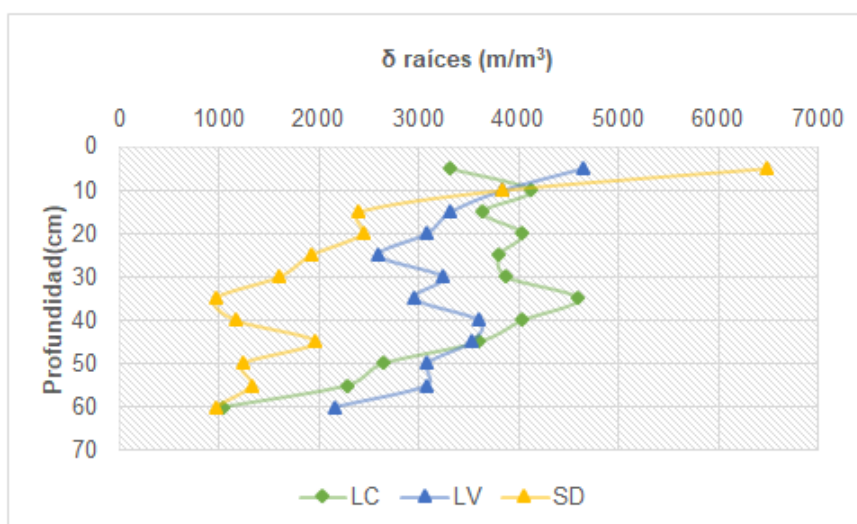


Figura 26. Densidad de raíces (m/m^3) determinada por la metodología de la pared para los distintos tratamientos a las profundidades estudiadas.

En la Tabla A12 del anexo se presenta el análisis estadístico de la biomasa total de raíces (BTR, g/m^2) para los tres tratamientos para el método del barreno (Frasier *et al.*, 2016). En la Figura 28, se puede observar que existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos LC y LV, en tanto que SD no presenta diferencias significativas con los tratamientos ya mencionados.

Los valores de BTR presentaron diferencias entre sistemas de labranza, donde los menores valores se observaron en LC ($764,5 g/m^2$) diferenciándose significativamente de LV ($1258 g/m^2$), sin diferencias significativas con SD ($1076g/m^2$) (Figura 27).

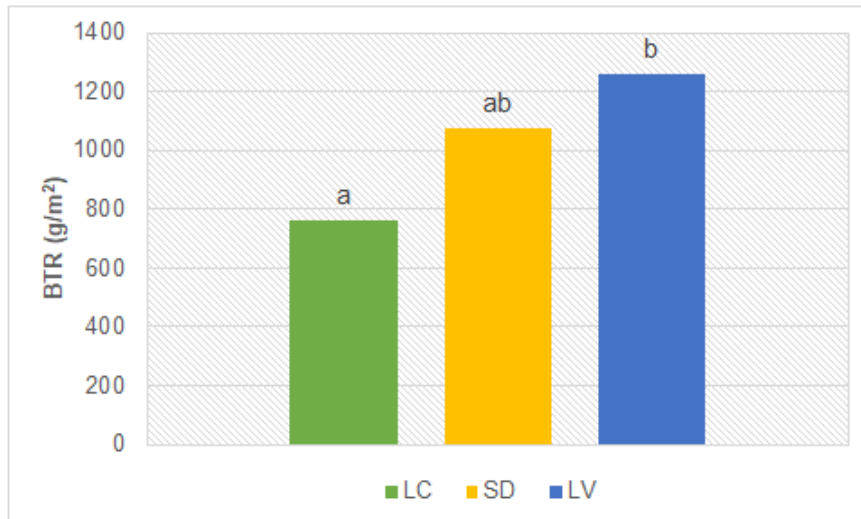


Figura 27. Biomasa total de raíces (BTR, g/m²) de 0-60 cm de profundidad para los distintos tratamientos. Tratamientos con distintas letras difieren entre sí (p<0,05).

Cuando se compararon los tratamientos respecto a cada profundidad, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos y profundidades (Figura 28). La distribución en % de raíces para cada profundidad fue:

- De 0-20 cm, SD y LV 59% y LC 66%.
- De 20-40 cm, SD 31%, LV 25 % y LC 19%.
- Por último, de 40-60 cm, SD 11%, LV 16 % y LC 15 %.

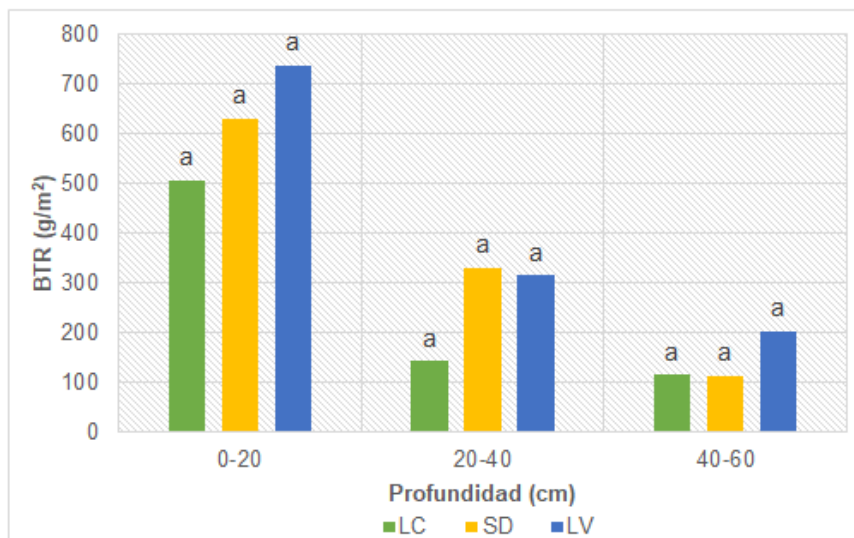


Figura 28. Biomasa total de raíces (BTR, g/m²) para los distintos tratamientos a las profundidades estudiadas.

Varios autores señalan que la mayor abundancia de raíces en el estrato superficial se encontraría asociada no solo con la morfología propia de los sistemas radiculares que

concentran en el mismo una mayor proporción de raíces primarias y secundarias sino también con un mayor contenido de materia orgánica, nutrientes, aireación y disponibilidad de agua comparado con los estratos inferiores del suelo (Stone *et al.*, 2001; Sainju *et al.*, 2005; Fageria & Moreira, 2011).

Cuando se comparan ambas metodologías, se puede decir que el método del barreno tiene una ventaja sobre el método de la pared, debido a que dicho método facilita el muestreo a campo, debido a que no se debe realizar una calicata, por lo tanto, simplifica el trabajo.

4. CONCLUSIONES

Las propiedades físicas del suelo no presentaron valores restrictivos para el normal crecimiento de las raíces, flujo y almacenamiento de agua. En cuanto a las variables analizadas, la porosidad del suelo, la RP, la DA y la distribución/biomasa de raíces, son variables importantes para detectar la compactación de un suelo. En este ensayo dichas variables muestran una leve tendencia a la compactación superficial en SD. Es de suma importancia seguir usando técnicas conservacionistas para no llegar a que se produzca la compactación del área en estudio.

Según las condiciones en las que fue realizado este trabajo se puede concluir que:

- Las precipitaciones durante el barbecho fueron muy inferiores respecto a la media histórica (76 % menos), por lo tanto la eficiencia hídrica del barbecho resultó negativa.
- Durante el periodo del barbecho, los sistemas conservacionistas, SD y LV, fueron los que presentaron una mayor cobertura del suelo.
- La DA mostró valores dentro de los rangos normales ($1,2 \text{ Mg/m}^3$) para el crecimiento del cultivo y para el área de estudio. El tratamiento LV fue el que presentó el mayor valor ($1,29 \text{ Mg/m}^3$) a los 6-12 cm de profundidad.
- La PT subsuperficial (6-12 cm) en SD fue menor respecto a LC y LV, asociado a un menor porcentaje de MP.
- La RP en los primeros cm del suelo fue mayor en SD tanto para la parcela P como para la SP.
- Las diferencias en las variables físicas (DA, PT, MP y RP) entre sistemas de labranza, repercutieron sobre la producción y distribución de raíces del cultivo de avena, sin embargo, no influyeron sobre la producción de biomasa aérea.
- La densidad de raíces fue mayor en LC (3417 m/m^3) y la biomasa total de raíces (BTR) fue mayor en LV (1258 g/m^2). Cuando se analizó la densidad de raíces en profundidad, SD fue el que presentó mayor cantidad de raíces en el horizonte superficial, produciéndose un brusco descenso de las mismas después de los 15 cm del perfil del suelo.

Consideraciones finales

Dadas las condiciones climáticas y edáficas de esta región y según los resultados presentados en este trabajo, es de suma importancia manejar el suelo con técnicas conservacionistas adecuadas, entre las cuales se destaca mantener el suelo cubierto por más tiempo para: un mejor aprovechamiento de las precipitaciones, controlar los procesos de erosión que puedan llegar a existir y utilizar sistemas de labranza que se adecúen a estas especificaciones y a la zona.

5. BIBLIOGRAFIA

- AAPRESID. 2012. Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa. www.aapresid.com.ar (último acceso octubre 2020).
- Aliev K. 2001. Current problems with regard to mechanization and greening of farming in Azerbaijan. *Mezhdunarodnyi Sel'skokhozyaistvennyi Zhurnal* 5: 57-61.
- Álvarez, R & HS Steinbach. 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crop yield in the Argentine Pampas. *Soil Till. Res.*104: 1-15.
- Amiotti, N; MC Blanco; ME Bouza; O Bravo; MP De Lucia; S Grill; R Kiessling; E Schmidt & P Zalba. 2014. Libro de la Gira Edafológica en el marco del XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del suelo. Ed. Asociación Argentina de la ciencia del suelo con auspicio de ACES- Universidad de Illinois. Imprenta grafimax, Bahía Blanca.44 pp (ISBN Actas: 978-987-24771-6-5).
- Aparicio, V & JL Costa. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 96: 155-165.
- Arkin, GF & HM Taylor. 1981. Modifying the root environment to reduce crop stress. ASAE Monograph, number 4.
- Arkley, R. 1963. Relationships between plant growth and transpiration. *Hilgardia* 34:559-584.
- Blake, GR & KH Hartge. 1986. Bulk Density. In: A Klute (ed). *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods.* Pp. 363 -375. Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA.
- Böhm, W. 1979. *Methods of studying root systems.* Ecological Studies 33. Ed. SpringerVerlag. Berlin, Germany. 188 p.
- Bolaños, J. 1989. Suelos en relación con labranza de conservación: Aspectos físicos. pp. 19-42. In: *Labranza de conservación de maíz.* Documento de trabajo. CIMMYTPROCIANDINO. México.
- Bravo, C & E Andreu. 1995. Propiedades físicas y producción de maíz (*Zea mays* L.) en un Alfisol del estado Guárico, Venezuela, bajo dos sistemas de labranza. *Revista de la Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo y del Instituto de Edafología:* 10-15.
- Buschiazzo, DE; JL Panigatti & PW Unger.1998. Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas. *Soil Till Res.* 49(1-2): 105-116.
- Cantamutto, M; C Bertucci & D Huarte. 2016. El trigo en el sudoeste bonaerense. INTA. 76 pp.
- Carter, MR. 1990. Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine sandy loams. *Canadian Journal of Soil Science, Ottawa* 70. 425-433.
- Cassel, DK. 1982. Tillage effects on soil bulk density and mechanical impedance. pp. 45-69. In: *Predicting tillage effects on soil physical properties and processes.* American Society of Agronomy. Soil Science Society of America. Special Publication 44. Madison, Wisconsin.
- Castro, H & E Amézquita. 1991. Sistemas de labranza y producción de cultivos en suelos con limitantes físicos. *Revista Suelos Ecuatoriales.* 21(1):21-28.
- Chang, C & CW Lindwall. 1989. Effect of long-term minimum tillage practices on some physical properties of a Chernozemic clay loam. *Can. J. Soil Sci.* 69:443-449.

- Cirolini, E. 2016. Efecto de labranza diferencial para un sistema de agricultura continúa en el sudoeste bonaerense. Trabajo de intensificación de la carrera Ingeniería Agronómica. Departamento de Agronomía Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca.
- Corbella, R; J Tonatto; G Courel & A Plasencia. 2016. Informe estudios propiedades edáficas, Jornadas Grupo Crea, Los Cevilares, Tucumán, noviembre de 2016.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Domínguez, J; JM Ressia; D Jorajuría; R Balbuena & G Mendivil. 2000. Reología del suelo bajo tres diferentes tratamientos mecánicos. Avances en Ingeniería Agrícola. II Congreso Americano de Ingeniería Agrícola: 110-115.
- Donkor, NT; JV Gedir; RJ Hudson; EW Bork; DS Chanasyk & MA Naeth. 2002. Impacts of grazing systems on soil compaction and pasture production in Alberta. Canadian Journal of Soil Science. 82(1):1-8.
- Doran, JW & TB Parkin. 1994. Defining and Assessing Soil Quality. In DoranJW, Coleman DC, Bezdicek DF and Stewart BA (ed.): Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Sci. Soc. Am., Inc. Madison, WI, USA. SSSA Sp. Pub. N° 35: 3-21.
- Echeverría, NE & JC Silenzi. 2005. Barbecho. Rev. Asociación de Ganaderos y Agricultores. Nov/dic. Año 4. N°30.
- Erenstein, O. 2003. Smallholder Conservation Farming in the Tropics and Sub-tropics: A Guide to the Development and Dissemination of Mulching with Crop Residues and Cover Crops. Agriculture, Ecosystems and Environment 100:17-37.
- Fadda, GS. 2002. Acciones Antrópicas. Guías de estudio. www.edafologia.com.ar
- Fageria, NK & A Moreira. 2011. The Role of Mineral Nutrition on Root Growth of Crop Plants. In: DL Sparks (ed). Advances in Agronomy. Vol. 110. 1er ed. Pp. 251-331. Academic Press.
- FAO. 1993. Soil Tillage in Africa: Needs and challenges. Boletín N° 69. Roma, Italia.
- FAO-UNEP-UESCO. 1980. Metodología Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos. 86 pp. ISBN 92-5-300869-5.
- Ferrari, H; C Ferrari & F Ferrari. 2006. CobCal v 2.1. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Paraguay. <http://www.cobcal.com.ar> (último acceso octubre 2020).
- Ferreras, L. 1996. Efecto de los sistemas de labranza sobre las propiedades físicas de un suelo del sudeste bonaerense. Tesis MS. Facultad de Agronomía. UBA.
- Ferreras, L; JJ De Battista; A Ausilio & C Pecorari. 2001. Parámetros físicos del suelo en condiciones no perturbadas y bajo laboreo. Pesq. Agrop. Bras. 36, 161–170.
- Franzluebbers, AJ & JA Stuedemann. 2008. Soil physical responses to cattle grazing cover crops under conventional and no tillage in the Southern Piedmont USA. Soil Till. Res. 100: 141–153.
- Frasier, I; E Noellemeyer; R fernandez & A Quiroga. 2016. Direct field method for root biomass quantification in agroecosystems. MethodsX 1–7.

- Glave, AE. 2006. Influencia climática en el sudoeste bonaerense y sudeste de la pampa. En: www.produccion-animal.com.ar/clima_y_ambientacion/29_clima_sudoeste_bonaerens_e.pdf (último acceso octubre 2020).
- Glinski, J & J Lipiec. 1990. Soil Physical conditions and plant roots. CRC Press Inc. Boca Ratón, Florida, USA. 250 pp.
- Grant, CA & GP Lafond. 1993. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on clay soil in southern Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 73:223-232.
- Greenwood, KL & BM McKenzie. 2001. Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: a review. *Aust. J. Exp. Agric.* 41:1231-1250.
- Gupta, SC & RR Allmaras. 1987. Models to assess the susceptibility of soils to excessive compaction. *Adv. Soil Sci.* 6: 65-100.
- Hamza, MA & WK Anderson. 2005. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Tillage Res.* 82: 121-145.
- Herrick, JE & TL Jones. 2002. A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration on resistance. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66, 1320–1324.
- Iglesias, JO; JA Galantini; AM Miglierina; MR Landriscini & RA Rosell. 1998. Cambios en la distribución del espacio poroso debidos al sistema de labranza y al tránsito en un hapludol típico de la región subhúmeda Argentina.
- Iglesias, JO; JA Galantini & L Santiago. 2007. Cambios en la distribución y orientación de diferentes tamaños de poros. En: *La Siembra directa en los sistemas productivos del sur y sudoeste bonaerense*. Pp. 24-27. AAPRESID. 85 pp.
- INTA & SAGyP. 1989. Proyecto PNUD ARG 85/019. Instituto Nacional de tecnología Agropecuaria. CIRN-Instituto de evaluación de tierras. Mapa de suelos de la Provincia de Buenos Aires. 525 p.
- Izaurrealde, R; NJ Rosemberg & R Lal. 2000. Mitigation of climate change by soil carbon sequestration: Issues of science, monitoring, and degraded lands. *Adv. Agron.* 70:1-75
- Jones, CA. 1983. Effect of soil texture on critical bulk densities for root growth. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47. 1208-1211.
- Karlen, DL & DE Stott. 1994. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Doran J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F. & Stewart, B. A. (Eds.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, Soil Sci. Soc. A. pp.: 53-72.
- Kassam, A; T Friedrich; F Shaxson & J Pretty. 2009. The spread of conservation agriculture: justification, sustainability and uptake. *Int. J. Agric. Sustain.* 7:292–320.
- Klingebiel, AA & PH Montgomery. 1961. *Land Capability Classification*, USDA Agriculture Handbook No. 210. Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture, Washington, DC.
- Klute, A & A Klute. 1986. Water Retention: Laboratory Methods, In: *Methods of Soil Analysis: Part 1-Physical and Mineralogical Methods*. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, pp. 635-662.
- Krüger HR. 1993. Barbecho para cultivos de verano y humedad del suelo en Bordenave (Pcia.de Bs.As.). Resúmenes XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mendoza, (245-296).

- Krüger, HR; S Venanzi & E Sa Pereira. 2008. Efecto del pastoreo sobre la resistencia mecánica del suelo en sistemas de producción bajo siembra directa continúa. *Ciencia del suelo*. 26(2):211-217.
- Krüger, HR; JP Zilio & FD Frolla. 2019. Criterios básicos para la producción agropecuaria sustentable en el sudoeste bonaerense. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina. p. 5-10.
- Laffite, HR. 1989. Efecto de la labranza mínima en el crecimiento y rendimiento de maíz. pp. 71-90. In: *Labranza de conservación en maíz*. Documento de trabajo.
- Lal, R. 1994. Manejo de suelos y producción sustentable de tierras de regadío. Curso internacional de capacitación "Manejo de suelos y producción sustentable de tierras de regadío". FAO, Roma, Italia.
- Lampurlanes, J; P Angás & C Cantero-Martínez. 2002. Tillage effects on water storage during fallow, and on barley root growth and yield in two contrasting soils of the semi-arid Segarra region Spain. *Soil Till. Res.* 65:207-220.
- Lattanzi, A; H Marelli; O Signorile; J Aragón & S Distefano. 2004. La siembra directa: presente y futuro. Información recopilada para INTA Expone 2004 en la Pampa Húmeda.
- López, FM; ME Duval; JM Martínez & J Galantini. 2014. Cobertura en el sudoeste bonaerense en suelos bajo siembra directa. XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca.
- López, FM; ME Duval; JM Martínez & J Galantini. 2016. Porosidad de suelos bajo Siembra Directa en el Sudoeste Bonaerense. *Ciencia Del Suelo* 34 (2): 173-184.
- López-Fando, C; J Dorado & MT Pardo. 2007. Effects of zone-tillage in rotation with no-tillage on soil properties and crop yields in a semi-arid soil from central Spain. *Sol Till. Res.* 95: 266–276.
- Martínez, E; JP Fuentes; SP Silva; M Valle & E Acevedo. 2008. Soil physical properties and wheat root growth as affected by no-tillage and conventional tillage systems in a Mediterranean environment of Chile. *Soil Tillage Res.* 99:232-244.
- Mc Vay, KA; JA Budde; K Fabrizzi; MM Mikha; CW Rice; AJ Schlegel; DE Peterson; DW Sweeney & C Thompson. 2006. Management effects on soil physical properties in long-term tillage studies in Kansas. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 434-438.
- Ministerio de Agroindustria. 2016. <http://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/estimaciones/distribucion/cf2015-16/buenosaires/pigue.php>
- Molina, G; MC Zapata; SG Campos Magaña; A Zermeño González & F Sánchez Pérez. 2012. Efectos de tres sistemas de labranza y mejoradores de suelo en la disponibilidad de humedad y volumen de exploración de raíces. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Pub. Núm. 4. 1 de noviembre - 31 de diciembre, 2012 p. 719-727
- Montagu, KD; JP Conroy & GS Francis. 1998. Root and shoot response of field-grown lettuce and broccoli to a compact subsoil. *Aust. J. Agric. Res.* 49: 89-97.
- Mormeneo, I & R Díaz. 2003. Método para clasificar la anomalía de las lluvias. *Rev. Brasileira de Agrometeorología*, Santa María, v.11, n1, p.159-167.
- Morrison, JE; TJ Gerik; FW Chichester; JR Martin & JM Chandler. 1990. A no-tillage farming system for clay soils. *J. Prod. Agric.* 3: 219-227.

- Munkholm, LJ; P Schjonning; KJ Rasmussen & K Tanderup. 2003. Spatial and temporal effects of direct drilling on soil structure in the seedling environment. *Soil Tillage Res.* 71:163-173.
- Mwendera, E & M Saleem. 1997. Hydrologic response to cattle grazing in the Ethiopian highlands. *Agriculture, ecosystems & environment.* 64(1):33-41.
- Oliva, G. 2019. Manejo de pastizales naturales en Argentina. XXV Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en mejoramiento y utilización de los recursos forrajeros del área Tropical y Subtropical.
- Ortiz-Cañavate, J & JL Hernanz. 1989. Técnica de la mecanización agraria. 3ª ed. Mundi-Prensa, Madrid, España. p. 133-154.
- Peterson, GA; A Halvorson; J Havlin; O Jones; D Lyon & D Tanaka. 1998. Reduced tillage and increasing cropping intensity in the Great Plains conserves soil C. *Soil & Tillage Research* 47:207-218.
- Quiroga, A; D Funaro & O Ormeño. 2003. Aspectos del manejo del agua del suelo para el cultivo de trigo. En: Trigo actualización 2003, INTA Anguil, Bol. Tec. 76:33-44.
- Quiroga, A; D Funaro; R Fernández & E Noellemeyer. 2005. Factores edáficos y de manejo que condicionan la eficiencia del barbecho en la Región Pampeana. *Ci. Suelo* 23 (1) 79-86.
- Quiroga, A; R Fernández; O Ormeño; E Manera & N Fuentes. 2007. Efectos del sistema de labranza y la ganadería sobre propiedades de un Haplustol Entico. *Boletín técnico N° 69.* EEA INTA Anguil. p: 3-18.
- Quiroga, A; R Fernández; D Riestra; E Noellemeyer & N Peinemann. 2008. Influencia del manejo sobre la distribución del tamaño y estabilidad de agregados de suelos influenciados por variaciones en la granulometría y contenidos de materia orgánica. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, San Luis, Argentina.
- Rasmussen, PE & HP Collins. 1991. Long-term impacts of tillage, fertilizer and crop residue on soil organic matter in temperate semiarid regions. *Adv. Agron.* 45: 93-134.
- Richards, LA.1948. Porous plate apparatus for measuring moisture retention and transmission by soil. *Soil Science* 66(2):105-110.
- Sainju, UM; BP Singh & WF Whitehead. 2005. Tillage, cover crops and nitrogen fertilization effects on cotton and sorghum root biomass, carbon and nitrogen. *Agron. J.* 97(5): 1279-1290.
- Sasal, MC; AE Andriulo & MA Taboada. 2006. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinean Pampas. *Soil Tillage Res.* 87: 9-18.
- Schmidt, E. 2015. Modificaciones estructurales y funcionales de epipedones mólicos en suelos de la región pampeana semiárida bajo siembra directa continúa. Tesis de magister en ciencias agrarias. Departamento de Agronomía Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca.
- Schmidt, ES & NM Amiotti. 2015. Propiedades edáficas superficiales en sistemas de agricultura de conservación en la región pampeana semiárida sur. *Ciencia del Suelo* 33 (1), 79-88.
- Scian, B. 2001. Fases del SOI y su relación con los corrimientos de la mediana de precipitación mensual en la Pampa argentina. Resúmenes extendidos CLIMET IX/ CONGREGMET VIII, Buenos Aires.

- Scian, B. 2010. Clima-Bahía Blanca y Sudoeste Bonaerense. En: Paoloni JD, editor. *Ambientes y Recursos Naturales del Partido de Bahía Blanca: Clima, Geomorfología, Suelos y Aguas (Sudoeste de la provincia de Bs. As.)*. 1º Edición Bahía Blanca, Universidad Nacional del Sur, EdiUNS. p. 27-67.
- Secco, D; CO Ros; JE Fiorin; CV Pautz & L Pasa. 1997. Effect of soil management on soil physical properties of an oxisol. *Ciencia Rural* 27: 57–60.
- Servicio Meteorológico Nacional. 2020. Boletín Agrometeorológico Mensual. Disponible en: <http://repositorio.smn.gob.ar/handle/20.500.12160/376>
- Silenzi, JC; CA Puricelli; NE Echevarría; T Grossi & AG Vallejos. 2000. Degradación y recuperación de dos suelos de la región semiárida Argentina como resultado de distintos usos y manejos. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, CD, Comisión IV.
- Silva, VR; DJ Reinert & JM Reichert. 2000. Soil density, chemical attributes and maize root distribution as affected by grazing and soil management. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* 24: 191–199.
- Siri-Prieto, G; D Wayne Reeves & RL Raper. 2007. Tillage systems for a cotton– peanut rotation with winter-annual grazing: impacts on soil carbon, nitrogen and physical properties. *Soil Till. Res.* 96: 260–268.
- Soil Survey Staff. 2010. *Keys to Soil Taxonomy*, 11th ed. USDA-Natural Resources 22 Conservation Service, Washington, DC.
- Stone, LR; DE Goodrum; MN Jaafar & AH Khan. 2001. Rooting front and water depletion depths in grain sorghum and sunflower. *Agron. J.* 93 (5): 1105-1110.
- Taboada, MA; F Micucci & DJ Cosentino. 1996. Evaluación de la siembra directa como causante de la compactación en dos suelos de la pampa ondulada. *Actas XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Santa Rosa, La Pampa. p. 217-218.
- Taboada, MA & SN Micucci. 2008. Aireación del suelo: parámetros e influencia sobre los cultivos. En: Taboada MA y CR Álvarez (ed) *Fertilidad Física de los Suelos 2 da edn*. 126-130 p. Facultad Agronomía (UBA).
- Tebbrugge, F & RA During. 1999. Reducing tillage intensity—a review of results from a long-term study in Germany. *Soil Till. Res.* 53: 15–28.
- Topp, G; W Reynolds; F Cook; J Kirby & M Carter. 1997. Physical attributes of soil quality. In: Gregorich, EG & MR Carter (ed). *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health*. Developments in Soil Science, vol. 25. Elsevier, New York, NY, pp. 21-58.
- Venialgo, C. 2004. Índice de Cono, humedad presente y densidad aparente en diferentes labranzas y rotaciones. Universidad Nacional del Noroeste. Corrientes. Argentina.
- Venialgo, C; N Gutiérrez; A Corrales; D Drganc & A Asselborn. 2005. Estabilidad de agregados y resistencia a la penetración en series de suelos con distintos usos en el Sudoeste del Chaco. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*. Universidad Nacional del Nordeste. Argentina.
- Vetsch, JA & GW Randall. 2002. Corn production as affected by tillage systems and starter fertilizer. *Agron. J.* 94: 532–540.
- Vetsch, JA; GW Randall & JA Lamb. 2007. Corn and soybean production as affected by tillage systems. *Agron. J.* 99: 952–959.

- Wagner, J. 2019. Respuesta de un cultivo de trigo y dinámica del agua en el suelo bajo diferentes sistemas de labranza y fertilización. Trabajo de intensificación de la carrera Ingeniería Agronómica. Departamento de Agronomía Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca.
- Zhai, R; RG Kachanoski & RP Voroney. 1990. Tillage effects on the spatial and temporal variation of soil water. Soil Sci. Soc. Am. J. 54:186- 192.
- Zotelo, C. 2011. Variabilidad Climática y Ciclos Naturales. En: Anales de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/27824> (último acceso octubre 2020).

6. ANEXO

Tabla A1. Análisis estadístico para el agua acumulada (mm) al inicio del barbecho.

Análisis de la varianza					
Prof.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
0-100	Lám.	9	0,45	0,00	17,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4005,16	4	1001,29	0,82	0,5729
Trat.	1485,74	2	742,87	0,61	0,5872
Bloque	2519,42	2	1259,71	1,03	0,4344
Error	4870,81	4	1271,70		
Total	8875,98	8			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=79,10686

Error: 1217,7034 gl: 4

Trat.	Medias	n	E.E.	
LC	186,79	3	20,15	A
LV	201,69	3	20,15	A
SD	227,31	3	20,15	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Tabla A2. Análisis estadístico para el agua acumulada (mm) al final del barbecho.

Análisis de la varianza					
Prof.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
0-100	Lám.	9	0,78	0,55	4,38

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	827,28	4	206,82	3,46	0,1285
Trat.	787,26	2	393,63	6,58	0,0544
Bloque	40,02	2	20,01	0,33	0,7341
Error	239,43	4	59,86		
Total	1066,70	8			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=17,53878

Error: 59,8566 gl: 4

Trat.	Medias	n	E.E.	
LC	173,81	3	4,47	A
LV	177,57	3	4,47	A
SD	178,76	3	4,47	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Tabla A3. Análisis estadístico para el agua acumulada (mm) al inicio del barbecho para las distintas profundidades de muestreo.

Prof.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
0-10	Lám.	9	0,62	0,25	7,66

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	15,6	4	3,9	1,66	0,317
Trat.	14,76	2	7,38	3,15	0,1509
Bloque	0,84	2	0,42	0,18	0,8422
Error	9,38	4	2,34		
Total	24,98	8			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3,47094

Error: 2,3443 gl: 4

Trat.	Medias	n	E.E.	
LC	18,27	3	0,88	A
LV	20,36	3	0,88	A
SD	21,34	3	0,88	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Prof.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
10-20	Lám.	9	0,92	0,84	3,06

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	20,6	4	5,15	11,38	0,0185
Trat.	9,77	2	4,89	10,8	0,0244
Bloque	10,83	2	5,41	11,97	0,0205
Error	1,81	4	0,45		
Total	22,41	8			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,52493

Error: 0,4525 gl: 4

Trat.	Medias	n	E.E.	
LV	20,93	3	0,39	A
LC	21,57	3	0,39	A
SD	23,39	3	0,39	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Prof.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
20-40	Lám.	9	0,71	0,42	7,17

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	79,64	4	19,91	2,44	0,204
Trat.	54,24	2	27,12	3,33	0,1409
Bloque	25,4	2	12,7	1,56	0,3158
Error	32,59	4	8,15		
Total	112,24	8			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=6,47106

Error: 8,1482 gl: 4

Trat.	Medias	n	E.E.	
LV	36,97	3	1,65	A
LC	39,47	3	1,65	A
SD	42,95	3	1,65	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Prof.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
40-60	Lám.	9	0,55	0,1	6,64

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	33,09	4	8,27	1,23	0,4226
Trat.	1,97	2	0,99	0,15	0,8679
Bloque	31,12	2	15,56	2,32	0,2148
Error	26,88	4	6,72		
Total	59,97	8			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=5,87684

Error: 6,7205 gl: 4

Trat.	Medias	n	E.E.	
LC	38,38	3	1,5	A
SD	39,34	3	1,5	A
LV	39,41	3	1,5	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Prof.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
60-100	Lám.	9	0,38	0	38,31

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2610,64	4	652,66	0,62	0,6709
Trat.	1459,61	2	729,8	0,7	0,5499
Bloque	1151,03	2	575,52	0,55	0,6153
Error	4188,1	4	1047,03		
Total	6798,74	8			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=73,35370

Error: 1047,0256 gl: 4

Trat.	Medias	n	E.E.	
LC	69,1	3	18,68	A
LV	84,03	3	18,68	A
SD	100,28	3	18,68	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla A4. Análisis estadístico para el agua acumulada (mm) al final del barbecho para las distintas profundidades de muestreo.

Análisis de la varianza					
Prof.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
0-10	Lám.	9	0,47	0	6,47

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,85	4	0,71	0,89	0,545
Trat.	1,48	2	0,74	0,92	0,4701
Bloque	1,38	2	0,69	0,86	0,4902
Error	3,22	4	0,8		
Total	6,07	8			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,03333

Error: 0,8045 gl: 4

Trat.	Medias	n	E.E.	
LV	13,3	3	0,52	A
LC	14,08	3	0,52	A
SD	14,21	3	0,52	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Prof.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
10-20	Lám.	9	0,86	0,72	4,63

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	17,98	4	4,5	6,04	0,0548
Trat.	6,87	2	3,43	4,62	0,0914
Bloque	11,11	2	5,56	7,47	0,0446
Error	2,98	4	0,74		
Total	20,96	8			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,95530

Error: 0,7439 gl: 4

Trat.	Medias	n	E.E.		
LV	17,61	3	0,5	A	
SD	18,57	3	0,5	A	B
LC	19,75	3	0,5		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Prof.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
20-40	Lám.	9	0,54	0,08	9,22

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	50,31	4	12,58	1,16	0,4438
Trat.	1,88	2	0,94	0,09	0,9183
Bloque	48,43	2	24,21	2,24	0,2227
Error	43,28	4	10,82		
Total	93,59	8			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=7,45693

Error: 10,8201 gl: 4

Trat.	Medias	n	E.E.	
LV	35,28	3	1,9	A
LC	35,46	3	1,9	A
SD	36,33	3	1,9	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Prof.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
40-60	Lám.	9	0,68	0,37	7,17

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	58,36	4	14,59	2,15	0,2377
Trat.	8,73	2	4,37	0,64	0,5718
Bloque	49,63	2	24,81	3,66	0,1247
Error	27,08	4	6,77		
Total	85,44	8			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=5,89889

Error: 6,7710 gl: 4

Trat.	Medias	n	E.E.	
LC	35,17	3	1,5	A
SD	36,11	3	1,5	A
LV	37,57	3	1,5	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Prof.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
60-100	Lám.	9	0,65	0,3	6,28

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	154,64	4	38,66	1,88	0,2785
Trat.	37,65	2	18,82	0,91	0,4712
Bloque	116,99	2	58,5	2,84	0,1708
Error	82,41	4	20,6		
Total	237,05	8			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=10,28961

Error: 20,6021 gl: 4

Trat.	Medias	n	E.E.	
LC	69,35	3	2,62	A
SD	73,55	3	2,62	A
LV	73,81	3	2,62	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla A5. Análisis estadístico de cobertura (%) para los distintos tratamientos al final del barbecho.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% Cobertura	27	0,91	0,89	20,03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7907,12	4	1976,78	54,59	<0,0001
Bloque	68,04	2	34,02	0,94	0,4059
Trat.	7839,08	2	3919,54	108,24	<0,0001
Error	796,62	22	36,21		
Total	8703,75	26			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=5,88289

Error: 36,2102 gl: 22

Trat.	Medias	n	E.E.	
LC	13,96	9	2,01	A
SD	22,55	9	2,01	B
LV	53,63	9	2,01	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla A6. Análisis estadístico de densidad aparente (Mg/m^3) para los tratamientos (LC-SD-LV) a las distintas profundidades.

Prof.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
0-6	DA	27	0,14	0	19,77

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,18	4	0,05	0,93	0,4644
Bloque	0,1	2	0,05	1,04	0,3692
Trat.	0,08	2	0,04	0,82	0,4543
Error	1,09	22	0,05		
Total	1,27	26			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,21743

Error: 0,0495 gl: 22

Trat.	Medias	n	E.E.	
SD	1,05	9	0,07	A
LC	1,16	9	0,07	A
LV	1,17	9	0,07	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Prof.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
6-12	DA	27	0,29	0,16	6,58

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,06	4	0,01	2,2	0,1023
Bloque	0,01	2	4,00E-03	0,6	0,5571
Trat.	0,05	2	0,03	3,8	0,0382
Error	0,15	22	0,01		
Total	0,2	26			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,07959

Error: 0,0066 gl: 22

Trat.	Medias	n	E.E.		
LC	1,19	9	0,03	A	
SD	1,23	9	0,03	A	B
LV	1,29	9	0,03		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Prof.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
12-27	DA	27	0,43	0,32	3,46

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,03	4	0,01	4,11	0,0123
Bloque	0,01	2	5,00E-03	2,69	0,0898
Trat.	0,02	2	0,01	5,53	0,0113
Error	0,04	22	1,90E-03		
Total	0,07	26			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,04209

Error: 0,0019 gl: 22

Trat.	Medias	n	E.E.		
LV	1,21	9	0,01	A	
LC	1,25	9	0,01		B
SD	1,27	9	0,01		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Prof.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
27-47	DA	27	0,2	0,06	3,78

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,01	4	2,60E-03	1,39	0,271
Bloque	0,01	2	3,40E-03	1,81	0,1867
Trat.	3,60E-03	2	1,80E-03	0,96	0,3981
Error	0,04	22	1,90E-03		
Total	0,05	26			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,04236

Error: 0,0019 gl: 22

Trat.	Medias	n	E.E.		
SD	1,13	9	0,01	A	
LC	1,15	9	0,01	A	
LV	1,16	9	0,01	A	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Prof.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
47-60	DA	27	0,33	0,2	3,34

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,02	4	4,00E-03	2,66	0,0596
Bloque	4,70E-03	2	2,30E-03	1,56	0,2324
Trat.	0,01	2	0,01	3,77	0,0392
Error	0,03	22	1,50E-03		
Total	0,05	26			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,03774

Error: 0,0015 gl: 22

Trat.	Medias	n	E.E.		
SD	1,13	9	0,01	A	
LC	1,16	9	0,01	A	B
LV	1,18	9	0,01		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla A7. Resultados obtenidos del software Cobcal para la determinación de cobertura del suelo en las parcelas pastoreadas (P) y sin pastorear (SP).

Bloque	Trat.	Past.	% Cobertura
B1	LC	SP	24,08
B1	SD	SP	17,16
B1	LV	SP	19,87
B2	LV	SP	19,92
B2	SD	SP	19,71
B2	LC	SP	17,7
B3	LV	SP	19,82
B3	SD	SP	22,18
B3	LC	SP	25,12
B1	LC	P	21,11
B1	SD	P	14,85
B1	LV	P	19,41
B2	LV	P	16,11
B2	SD	P	16,14
B2	LC	P	9,97
B3	LV	p	13,35
B3	SD	p	18,48
B3	LC	p	16,69

Tabla A8. Análisis estadístico de cobertura del suelo (%) para las parcelas pastoreadas (P) y sin pastorear (SP).

Análisis de la varianza						
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV		
% Cobertura	18	0,98	0,93	5,25		

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	229	13	17,62	18,82	0,0059	
Bloque	30,35	2	15,17	16,21	0,0121	
Trat.	4,23	2	2,12	0,1	0,9066	(Bloque*Trat.)
Bloque*Trat	84,17	4	21,04	22,48	0,0053	
Past.	86,46	1	86,46	11,73	0,0757	(Bloque*Past.)
Bloque*Past.	14,74	2	7,37	7,88	0,041	
Trat*Past.	9,05	2	4,53	4,84	0,0856	
Error	3,74	4	0,94			
Total	232,74	17				

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=7,35321

Error: 21,0425 gl: 4

Trat.	Medias	n	E.E.	
LV	18,08	6	1,87	A
SD	18,09	6	1,87	A
LC	19,11	6	1,87	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=5,50673

Error: 7,3710 gl: 2

Past.	Medias	n	E.E.	
P	16,23	9	0,9	A
SP	20,62	9	0,9	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Tabla A9. Análisis estadístico de resistencia a la penetración (MPa) de 0-30 cm de profundidad para los distintos tratamientos (LC-SD-LV) y para los dos sistemas de pastoreo (P-SP).

Análisis de la varianza				
Variable	N	R²	R² Aj	CV
RP-P	54	0,11	0,04	13,61

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,28	4	0,07	1,55	0,2033
Trat.	0,24	2	0,12	2,73	0,0753
Bloque	0,03	2	0,02	0,37	0,6949
Error	2,18	49	0,04		
Total	2,46	53			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,14130

Error: 0,0445 gl: 49

Trat.	Medias	n	E.E.		
SD	1,46	18	0,05	A	
LV	1,58	18	0,05	A	B
LC	1,62	18	0,05		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Análisis de la varianza				
Variable	N	R²	R² Aj	CV
RP-SP	54	0,18	0,11	47,83

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6,89	4	1,72	2,6	0,0471
Bloque	3,07	2	1,54	2,32	0,1086
Trat.	3,82	2	1,91	2,89	0,0654
Error	32,41	49	0,66		
Total	39,3	53			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,54480

Error: 0,6615 gl: 49

Trat.	Medias	n	E.E.		
SD	1,4	18	0,19	A	
LV	1,65	18	0,19	A	B
LC	2,05	18	0,19		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Tabla A10. Análisis estadístico de la densidad de raíces (m/m³) para los distintos tratamientos.

Análisis de la varianza				
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Dens.raíces	36	0,2	0,15	38,34

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	10696622,2	2	5348311,11	4,16	0,0244
Trat.	10696622,2	2	5348311,11	4,16	0,0244
Error	42384266,7	33	1284371,72		
Total	53080888,9	35			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=941,30566

Error: 1284371,7172 gl: 33

Trat.	Medias	n	E.E.	
SD	2190	12	327,16	A
LV	3260	12	327,16	B
LC	3416,67	12	327,16	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Tabla A11. Mapa de distribución de raíces y densidad de las mismas en el perfil para los distintos tratamientos. Método de la pared.

Franja 4 (Labranza Vertical)													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Suma Fila	Long (m)	Densidad de raíces (m/m ³)
1	14	10	13	14	12	12	6	13	10	12	116	0,58	4640
2	10	11	4	8	8	7	13	16	11	8	96	0,48	3840
3	8	10	6	7	9	8	9	11	8	7	83	0,415	3320
4	9	6	9	7	7	6	8	6	9	10	77	0,385	3080
5	3	7	5	8	7	9	5	8	7	6	65	0,325	2600
6	4	7	6	7	8	10	7	8	13	11	81	0,405	3240
7	7	6	7	9	5	6	8	7	9	10	74	0,37	2960
8	11	12	8	9	10	8	9	8	6	9	90	0,45	3600
9	8	9	7	11	10	7	12	10	8	6	88	0,44	3520
10	8	9	3	8	12	7	8	8	6	8	77	0,385	3080
11	9	7	6	7	12	6	8	9	6	7	77	0,385	3080
12	5	7	5	6	8	5	6	3	4	5	54	0,27	2160
Franja 5 (Siembra Directa)													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Suma Fila	Long (m)	Densidad de raíces (m/m ³)
1	14	22	36	19	17	8	13	12	10	11	162	0,81	6480
2	12	8	12	10	7	7	9	12	12	7	96	0,48	3840
3	5	7	6	5	5	7	6	10	8	1	60	0,3	2400
4	5	5	6	8	6	9	5	7	6	4	61	0,305	2440
5	3	6	2	5	6	5	3	5	7	6	48	0,24	1920
6	6	5	2	3	6	4	4	3	4	3	40	0,2	1600
7	3	1	2	4	2	2	3	2	3	2	24	0,12	960
8	2	2	3	4	2	5	4	3	1	3	29	0,145	1160
9	4	7	3	4	6	7	4	2	4	8	49	0,245	1960
10	5	2	1	4	3	4	4	1	1	6	31	0,155	1240
11	6	6	2	1	4	3	2	3	2	4	33	0,165	1320
12	3	1	2	2	3	4	3	2	1	3	24	0,12	960
12	3	1	2	2	3	4	3	2	1	3	24	0,12	960
Franja 6 (Labranza Convencional)													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Suma Fila	Long (m)	Densidad de raíces (m/m ³)
1	10	13	7	6	7	7	8	8	10	7	83	0,415	3320
2	10	12	11	10	8	9	10	11	13	9	103	0,515	4120
3	11	14	10	6	11	9	8	7	9	6	91	0,455	3640
4	10	11	7	12	10	6	13	11	12	9	101	0,505	4040
5	12	12	17	8	6	8	9	10	7	6	95	0,475	3800
6	8	7	9	12	10	11	12	9	11	8	97	0,485	3880
7	12	10	9	16	14	10	15	11	12	6	115	0,575	4600
8	11	15	8	10	14	8	7	11	9	8	101	0,505	4040
9	10	13	9	8	9	10	11	9	6	5	90	0,45	3600
10	7	6	8	6	7	6	5	5	7	9	66	0,33	2640
11	5	6	6	7	5	6	5	7	4	6	57	0,285	2280
12	1	2	1	4	4	4	1	3	2	4	26	0,13	1040

Tabla A12. Análisis estadístico de la biomasa total de raíces (BTR, g/m²) para los distintos tratamientos. Método del barreno.

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
BTR (g/m ²)	27	0,74	0,66	46,12	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1419653,39	6	236608,9	9,38	0,0001
Bloque	169116,71	2	84558,36	3,35	0,0555
Trat.	124525,81	2	62262,91	2,47	0,1101
Prof.	1126010,86	2	563005,43	22,33	<0,0001
Error	504344,01	20	25217,2		
Total	1923997,39	26			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=156,15243					
Error: 25217,2003 gl: 20					
Trat.	Medias	n	E.E.		
LC	254,86	9	52,93	A	
SD	358,82	9	52,93	A	B
LV	419,3	9	52,93		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)