



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

Trabajo de Intensificación del Ciclo profesional de la carrera Ingeniería Agronómica

“Influencia de la variabilidad edáfica sobre la productividad de cebada (*Hordeum vulgare* L) en el sudoeste bonaerense”



Ferreyra, Gerardo Damián

Tutor: Ing. Agr. Mariana Bouza

Consejero 1: Ing. Agr. Matías Duval

Consejero 2: Ing. Agr. Adrián Vallejos

Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur
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

A mi mama Cristina, que me brindo la confianza y todo el apoyo para llevar adelante mis estudios.

A mi novia Marina, por ser quien genere un cambio importante en mi vida y me ayudara a nunca bajar los brazos.

A Mariana Bouza y Matías Duval por tener siempre un espacio libre para el análisis de datos, corrección de mi tesis y sobre todo por el gran trato.

A Martin De Lucia y Emiliano Rodríguez por ayudarme a realizar muestreos a campo y laboratorio.

RESUMEN

En regiones donde la calidad de las tierras presenta grandes variaciones en escalas espaciales a nivel de lote, el manejo diferencial por ambientes cobra especial interés.

El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto de ambientes edáficos contrastantes: loma (Lo), ladera (La) y cañadón (Ca) sobre la productividad del cultivo de cebada (*Hordeum vulgare* L.) con dos cultivos antecesores diferentes en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, con el propósito de elaborar estrategias de manejo conservacionistas. Las variables evaluadas fueron: densidad aparente (DA; g cm^{-3}), contenido de humedad (H^0) en dos momentos (inicio barbecho y siembra) comparando dos metodologías (estufa y horno microondas), eficiencia hídrica del barbecho (EHB, %), distribución y tamaño de poros (%), cobertura del suelo (%), biomasa de raíces (g m^{-2}), materia orgánica (MO; %), pH, índices hídricos y rendimiento del cultivo (kg ha^{-1}). El total de las lluvias para la campaña fue de 539 mm; este dato representa un 37 % por encima del valor medio histórico para los meses evaluados (433 mm). El agua almacenada durante el barbecho varió entre 121 y 37 mm. La EHB, mostró valores medios de 10%, 22 % y 28 % para Lo, La y Ca respectivamente. Los valores encontrados de DA, porosidad y biomasa de raíces no comprometen significativamente el crecimiento y rendimiento del cultivo. Respecto a la relación entre la determinación de humedad por estufa y microondas, presentó una correlación estrecha ($R^2 > 0,8$; $p < 0,05$) considerando todas las muestras y rango de humedades. En cuanto al rendimiento del cultivo de cebada, se observaron valores que se encuentran muy por debajo de los rendimientos medios de la región. Este comportamiento fue el esperado considerando tanto la profundidad efectiva (Pe), agua útil (AU), capacidad de retención de agua (CRA) y el índice de productividad (IP) de cada ambiente. Se encontraron diferencias significativas en los rendimientos ($p < 0,05$) entre los tratamientos Lo y Ca, las cuales fueron de 1968 y 2895 kg ha^{-1} respectivamente. En cuanto al factor ambiente, la profundidad efectiva del suelo ($R^2 > 0,8$; $p < 0,05$) y el agua útil ($R^2 > 0,75$, $p < 0,05$) mostraron una clara relación positiva con la producción del cultivo.

ÍNDICE

PREFACIO	I
AGRADECIMIENTOS	II
RESUMEN	III
INDICE TEMATICO	IV
1. INTRODUCCION	1
1.1 OBJETIVO.....	2
2. MATERIALES Y MÉTODOS	3
2.1 Sitio experimental.....	3
2.1.1 Caracterización climática	3
2.1.2 Características edáficas.....	5
2.2 Tratamientos	13
2.3 Diseño experimental.....	13
2.4 Variables evaluadas	14
2.4.1 Estacion meteorológica.....	14
2.4.2 Densidad aparente (DA)	14
2.4.3 Humedad.....	15
2.4.4 Eficiencia hídrica del barbecho (EHB).....	16
2.4.5 Distribución del tamaño de poros	17
2.4.6 Cobertura del suelo.....	18
2.4.7 Biomasa de raíces.....	19
2.4.8 pH.....	21
2.4.9 Materia orgánica (M.O).....	22
2.5 análisis estadístico.....	24
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
3.1 Condiciones climáticas del año 2018.....	25
3.2 Densidad aparente (DA).....	26
3.3 Relación entre la determinación de humedad por estufa y microondas	27
3.4 Humedad del suelo y Eficiencia hídrica del barbecho (EHB)	28
3.5 Distribución de poros	30
3.6 Cobertura de rastrojo.....	32
3.7 Biomasa de raíces.....	34
3.8 Reacción del suelo.....	35
3.9 Materia orgánica (MO).....	36
3.10 Rendimiento.....	37
3.11 Relación entre agua útil (AU) y profundidad efectiva (Pe) con el rendimiento....	38

4. CONCLUSIONES	41
5. BIBLIOGRAFÍA	43
6. ANEXO	47

1. INTRODUCCION

En regiones donde la calidad de las tierras presenta grandes variaciones en escalas espaciales a nivel de lote, las condiciones agro-ecológicas imponen diferentes grados de limitaciones para la producción de cultivos. En este contexto, el manejo diferencial por ambientes o sitio-específico cobra especial interés, principalmente en regiones marginales como la Semiárida Pampeana (Álvarez et al., 2011).

Los efectos de la variación de suelos combinados con las prácticas de manejo sobre el rendimiento de los cultivos son reconocidos (Mulla & Mc Bratney, 2002). Sin embargo, la mayor parte de los cultivos son manejados en forma uniforme, basados en requerimientos promedio que ignoran esta variabilidad, generando ineficiencias económicas y procesos de degradación de los suelos (Quiroga, 2012). Para evitar la degradación físico-química y biológica de los suelos, y la contaminación del ambiente, es necesario el uso criterioso de la tierra, incluyendo la elección de sistemas de manejo adecuados en el largo plazo que permitan mantener la producción de alimentos y, a la vez, restaurar y proteger las propiedades del suelo y de otros recursos naturales (Lal, 2010). Para una correcta elección de las prácticas de manejo a emplear se requieren indicadores que permitan evaluar el grado de impacto sobre la salud del suelo y contribuir así a la toma de decisiones (Doran & Parkin, 1996).

En la Región Semiárida Pampeana, además del factor climático, la productividad de los cultivos está vinculada a atributos edáficos estables, relacionados con la acumulación y dinámica del agua (Terra et al., 2006). En este sentido, la textura del suelo, la profundidad efectiva, determinantes de la capacidad de almacenamiento de agua, y la profundidad de la capa freática, han sido asociados con parámetros productivos de los cultivos (Quiroga, 2004). Cabe destacar que la porosidad del suelo ejerce una influencia muy importante en la productividad biológica e hidrológica de los suelos agrícolas, determinando la entrada, circulación y retención de agua, la disponibilidad de oxígeno, la penetración y desarrollo de las raíces, que aportan residuos al suelo impactando sobre el ciclado de nutrientes y la formación de materia orgánica, entre otros procesos (Dexter et al., 2008). Por otro lado, si bien los indicadores edáficos no determinan por sí solos la calidad del suelo, la mayoría de los estudios coinciden en que la materia orgánica (MO) es el principal indicador y el que mayor influencia presenta sobre la calidad del suelo y su productividad. La producción del cultivo está ligada a la capacidad del mismo de capturar los recursos que estén disponibles (agua, nutrientes, radiación, CO₂). El momento durante el ciclo del cultivo en que esos recursos estén disponibles determinará las variaciones en el rendimiento, dado que afectará de diferente manera la definición del principal componente del rendimiento: número de granos por unidad de área como así también el peso potencial de los mismos (Miralles et al., 2014).

Dentro de la Región Semiárida Pampeana con aptitud agrícola, el trigo (*Triticum aestivum* L.) y la cebada (*Hordeum vulgare* L.) son los cultivos predominantes (Martínez et al., 2012), siendo este último más difundido actualmente, en parte, por las ventajas ecofisiológicas que le otorgan mayor productividad y fundamentalmente estabilidad respecto al cultivo de trigo, ante condiciones ambientales limitantes (Zamora, 2001).

La gran expansión de la agricultura en el sudoeste bonaerense (SOB) estuvo asociada a la difusión de la siembra directa (SD) hacia la zona subhúmeda y semiárida de dicha región (Schmidt & Amiotti, 2015; Zilio, 2015). En estos ambientes, la adopción masiva de la SD se ha debido a menores costos de producción, mayores rendimientos y la posibilidad de incorporar áreas con mayores limitaciones para la producción agrícola (Derpsch et al., 2010).

En relación con la productividad y desde el punto de vista de la sustentabilidad, con el fin de elaborar estrategias de manejo conservacionistas, Quiroga (2012) plantea que el paso inicial para diferenciar ambientes con distinto potencial productivo es reconocer los factores que generan variación del rendimiento. Por lo tanto, en regiones como el SOB, donde la disponibilidad de agua es una limitante, debería considerarse como el factor principal para la toma de decisiones, como así también la textura del suelo, la profundidad de la tosca y la profundidad de la capa freática.

1.1 Objetivo

El objetivo general de este trabajo fue estudiar el efecto de ambientes edáficos contrastantes sobre la productividad del cultivo de cebada con distintos cultivos antecesores en el sudoeste de Buenos Aires.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Sitio experimental

El trabajo se llevó a cabo en el campo experimental y educativo del Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur, ubicado en Napostá, en el km 35 de la Ruta Nacional N°33 ($38^{\circ} 26' 30''$ LS, $62^{\circ} 15' 59''$ LW; 150 msnm), (Figura 1).

El mismo posee una superficie de 711 ha y se ubica en el sector medio de la llanura subventánica occidental, dentro del (nivel de planación general) Dominio Morfoestructural del Positivo de Ventania. El paisaje donde se encuentra el campo se define como una planicie alta (50 msnm) que se extiende hasta 60-70 msnm. El área se encuentra disectada por una acción hídrica correspondiente a un periodo anterior, la que ha conformado dos valles con orientación Norte a Sur, y que en la actualidad corresponden a interfluvios del Arroyo Saladillo o Dulce. Esta situación ha definido las geformas dominantes: lomadas, laderas de valle y terraza/llanura de inundación (Amiotti et al., 2014). Las pendientes son del orden del 3 al 6% en las laderas y menores al 0,5% en los planos interfluviales y planicies aluviales.



Figura 1. Ubicación geográfica y límites del establecimiento Napostá.

2.1.1 Caracterización climática

El clima de la región es templado, con estaciones térmicas bien diferenciadas. A pesar de la proximidad al océano Atlántico, el efecto de continentalidad se pone de manifiesto al analizar las oscilaciones térmicas mensuales. La temperatura media anual es de

15,4°C, siendo la temperatura media del mes más cálido (enero) de 23,3°C y la del mes más frío (julio) de 8,2°C. El número medio de días con heladas es de 35, siendo junio, julio y agosto los meses con mayor frecuencia, aunque los eventos otoñales y primaverales sean los más perjudiciales para los cultivos. El periodo libre de heladas abarca los meses de verano (diciembre, enero y febrero), y en los meses de marzo y noviembre existe una posibilidad de que ocurra una helada cada 10 años. La fecha media de la primera helada es el 20 de abril y de la última el 8 de octubre, con una variación de ± 23 días (Donnari & Torre, 1974). Desde el punto de vista térmico el área es apta para el cultivo de pasturas perennes y cultivos de invierno y verano.

Los vientos dominantes provienen del noroeste (NO), siendo la estación más ventosa el verano con una velocidad media de viento de 24 km/h. En el trimestre abril-mayo-junio se registran las menores velocidades, acercándose a la categoría de vientos leves. En el período primavero-estival existe una mayor probabilidad de alcanzar vientos erosivos (Bouza, 2014).

Las lluvias otorgan a la zona un carácter sub-húmedo o de transición. La precipitación media anual es de 649,8 mm (1961-2018). Los meses más cálidos son los que presentan los mayores desbalances de agua, esto es debido a las marcas térmicas más elevadas, a la mayor duración del día y a la importante velocidad del viento (Mormeneo, 2003) (Figura 2).

Según el balance hídrico de Thornthwaite, durante los meses de verano (noviembre a febrero) hay una marcada deficiencia hídrica. A partir de abril, comienza el período de reposición de agua en el suelo, situación que se extiende prácticamente hasta el mes de octubre. Posteriormente existe un consumo de agua hasta el mes de febrero, donde comienzan las deficiencias.

Utilizando la Clasificación climática de Thornthwaite (basada en la efectividad hídrica y térmica), el clima de la región se encuentra dentro del grupo subhúmedo seco, mesotermal frío, con nulo o pequeño exceso de agua (Donnari & Torre, 1974). De tal forma, la región se presenta como apta para el desarrollo de cultivos de invierno y pasturas perennes y moderadamente aptas para cultivos de verano en condiciones de secano.

Algunos aspectos del componente climático a los que debe prestársele singular atención para una adecuada planificación del uso de los recursos naturales son: el extendido período de deficiencia hídrica estival, la erraticidad de las precipitaciones, el escaso período libre de heladas y la ocurrencia de vientos erosivos, particularmente durante el verano.

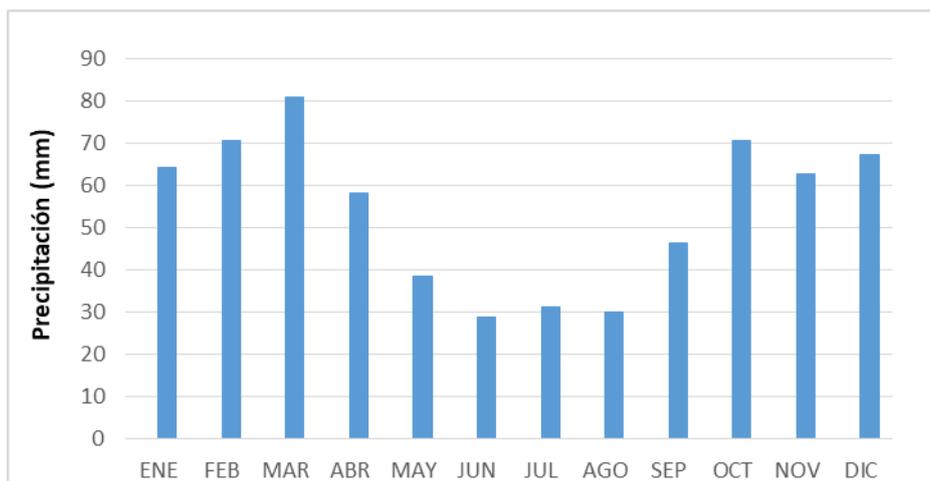


Figura 2. Distribución de la precipitación mensual media de Bahía Blanca (1961-2018), (SMN, 2020).

2.1.2 Características edáficas

El ensayo se llevó a cabo con un levantamiento a escala detallada, (Cavallaro, 2015) sobre un lote de 18 hectáreas del campo Naposta, compuesto por 3 unidades cartográficas diferentes, representadas por el cañadón (Ca), la ladera (La) y la loma (Lo) conformando tres ambientes contrastantes.

Descripción morfológica de los ambientes:

Ambiente 1: Cañadón (Ca)

Se distinguen dos tipos de series de suelos, serie Cañadones (80%) con inclusiones de la serie Aguaviva (20%).

La serie Aguaviva se ubica a $38^{\circ} 25'20,3''$ LS y $62^{\circ} 16'24, 0''$ LW, presentando un relieve normal, plano inclinado, ladera baja con pendientes complejas y largas (5 al 6%), algo excesivamente drenado, con signos de erosión hídrica laminar.

La clasificación taxonómica del suelo lo define como un Haplustol típico, franco grueso, térmico (Soil Survey Staff, 2014).

La clase por capacidad de uso (Klingebiel & Montgomery, 1961), fue determinada como Illes, presentando las siguientes limitantes: alta susceptibilidad a la erosión eólica por su estructura débil – moderada y elevado porcentaje de arenas erodibles, alta susceptibilidad a la erosión hídrica por el gradiente, baja capacidad de retención hídrica y condiciones climáticas ligeramente desfavorables.

El índice de productividad (INTA & SAGyP, 1989) es bueno (47%).

Descripción morfológica de la Serie Aguaviva:

Horizonte	Descripción morfológica del perfil
Ap 0-10 cm	Gris muy oscuro (10 YR 3/1) en húmedo, en seco pardo grisáceo (10 YR 5/2); franco arenoso; bloques subangulares, medios y finos, débiles; friable, ligeramente duro, no plástico y no adhesivo; poco consolidado; no presenta reacción al HCl 10%; comunes pellets fecales; raíces comunes; limite claro y plano.
A2 10-25 cm	Gris muy oscuro (10 YR 3/1) en húmedo, en seco pardo grisáceo (10 YR 5/2); franco arenoso; bloques subangulares, medios y gruesos, moderados, friable a firme; ligeramente duro, no plástico y no adhesivo; consolidado; no presenta reacción al HCl 10%; abundantes pellets fecales; raíces comunes; limite claro y plano.
AC 25-43 cm	Pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en húmedo, en seco pardo grisáceo claro (10 YR 5/2); franco arenoso; bloques subangulares, medios, débiles; muy friable; blando, no plástico y no adhesivo; poco consolidado a consolidado; no presenta reacción al HCl 10%; escasos pellets fecales; raíces comunes; limite abrupto y plano.
Ck1 43-88 cm	Pardo oscuro (10 YR 4/3) en húmedo, en seco pardo grisáceo (10 YR 6/2); franco arenoso; bloques subangulares, medios, muy débiles; muy friable, blando, no plástico y no adhesivo; poco consolidado; fuerte reacción al HCl 10%; escasos calcitanes finos y escasas concreciones finas de CaCO ₃ alóctonas; raíces comunes; limite claro y ondulado.
Ck2 88-180 cm	Pardo oscuro (10 YR 4/3) en húmedo, en seco pardo claro (10 YR 6/3); franco arenoso; bloques subangulares, finos muy débiles; muy friable, blando, no plástico y no adhesivo; consolidado; fuerte reacción al HCl 10%; abundantes calcitanes y comunes concreciones medias de CaCO ₃ alóctonas; raíces comunes.

Características físicas:

Horizonte		Ap	A2	AC	Ck1	Ck2	
Profundidad		cm	0 - 10	10 - 25	25 - 43	43 - 88	88 - 180
Diámetro de partículas	Arcilla < 0,002 mm	g kg ⁻¹	150	160	134	92	66
	Limo 0,002 – 0,05 mm		299	290	268	301	247
	Arena 0,05 – 2 mm		551	549	598	607	687
Clase textural por granulometría			FA	FA	FA	FA	FA

Características químicas:

Horizonte		Ap	A2	A3	AC	C
Profundidad	cm	0 - 10	10 - 25	25 - 43	43 - 88	88 - 180
pH en suspensión		6,9	7,7	7,7	8,4	8,4
Carbono orgánico total	g kg ⁻¹	20	12	8	5	2
Materia orgánica		34	21	14	9	4
Nitrógeno total		1,8	-	-	-	-
Fósforo disponible	mg kg ⁻¹	27	-	-	-	-
Conductividad eléctrica	μS cm ⁻¹	0,58	0,44	0,41	0,36	4,19

La serie Cañadones se ubica 38° 25'42,3'' LS y 62° 16'36,1'' LW, presentando un relieve normal, con pendientes bajas (2%), bien drenado y sin presencia de erosión.

La clasificación taxonómica de suelo lo define como Haplustol páquico, franco grueso, mixto, térmico (Soil Survey Staff, 2014) con una clase por capacidad de uso (Klingebiel & Montgomery, 1961) determinada como Ilec, siendo sus limitantes la susceptibilidad a la erosión hídrica y las condiciones climáticas ligeramente desfavorables.

El índice de productividad (INTA & SAGyP, 1989) es bueno (68%).

Descripción de la serie Cañadones:

Horizonte	Descripción morfológica del perfil
Ap 0-13 cm	Pardo muy oscuro (10 YR 2/2) en húmedo, en seco pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2); franco limoso; bloques subangulares, medios y finos, moderados a débiles; poco consolidado; friable, ligeramente duro; plástico y adhesivo; raíces abundantes; comunes a abundantes pellets fecales; no presenta reacción al HCl 10%; limite claro y plano.
A2 13-50 cm	Pardo muy oscuro (10 YR 2/2) en húmedo, en seco pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2); franco limoso; bloques subangulares, medios y finos que rompen a gránulos; poco consolidado; firme, ligeramente duro, plástico y adhesivo; raíces abundantes; abundantes pellets fecales; no presenta reacción al HCl 10%; limite gradual y plano.
A3 50-77 cm	Pardo oscuro (10 YR 3/3) en húmedo, en seco pardo oscuro a pardo (10 YR 4/3); franco limoso; bloques subangulares, medios, débiles; consolidado; friable, blando; plástico y adhesivo; raíces comunes; comunes pellets fecales; no presenta reacción al HCl 10%; limite gradual y plano.
AC	Pardo oscuro (10 YR 3/3) en húmedo, en seco pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4); franco limoso; bloques subangulares, medios y finos, débiles

77-115 cm	a muy débiles; poco consolidado; friable, blando; plástico y adhesivo; raíces escasas; comunes pellets fecales; no presenta reacción al HCl 10%; limite gradual y plano.
C 115-160 cm	Pardo oscuro a pardo (10 YR 4/3) en húmedo, en seco pardo amarillento claro (10 YR 6/4); franco; bloques subangulares, finos, débiles; poco consolidado; friable blando; plástico y adhesivo; raíces escasas; ligera reacción al HCl 10%.

Características físicas:

Horizonte		Ap	A2	A3	AC	C	
Profundidad		cm	0 - 13	13 - 50	50 - 77	77 - 115	115 - 160
Diámetro de partículas	Arcilla < 0,002 mm	g kg ⁻¹	168	183	119	106	153
	Limo 0,002 – 0,05 mm		537	582	585	552	481
	Arena 0,05 – 2 mm		295	235	296	342	366
Clase textural por granulometría			FL	FL	FL	FL	FL

Características químicas:

Horizonte		Ap	A2	A3	AC	C	
Profundidad		cm	0 - 13	13 - 50	50 - 77	77 - 115	115 - 160
pH en suspensión			7,1	7,3	7,6	7,9	8,4
Carbono orgánico total	g kg ⁻¹		22,8	-	-	-	-
Materia orgánica			37	31	24	12	4
Nitrógeno total			2,2	-	-	-	-
Relación C/N			10	-	-	-	-
Fósforo disponible	mg kg ⁻¹		14	13	-	-	-
Conductividad eléctrica	μS cm ⁻¹		0,36	0,45	0,63	2,1	2,35

Ambiente 2: Ladera (La)

Se distinguen las siguientes series de suelo, serie Napostá (60%) y serie Aguaviva (30%), e inclusiones de series La Alicia y Crestas (10%).

La serie Napostá se ubica a 38° 25'26,8'' LS y 62° 16'24, 7'' LW, presentando un relieve normal, plano inclinado, ladera media con pendientes complejas y largas (6%), algo excesivamente drenado, con signos de erosión hídrica y eólica.

La clasificación taxonómica del suelo lo define como un Paleustol petrocálcico, franco grueso, mixto, térmico, somero (Soil Survey Staff, 2014), con una clase por capacidad de uso (Klingebiel & Montgomery, 1961) determinada como IVes, presentando las

siguientes limitantes: marcada susceptibilidad a erosión hídrica y eólica, débil desarrollo de la estructura, degradada por cultivos agrícolas repetidos y limitada profundidad efectiva. El índice de productividad (INTA & SAGyP, 1989) es bueno (37%).

Debido a que uno de los principales inconvenientes que tiene esta unidad cartográfica es el gradiente de su pendiente, es indispensable realizar prácticas que tiendan a la conservación del suelo y agua: cultivos en contornos, terrazas de absorción, mantenimiento de la cobertura por labranzas mínimas o siembra directa. Realizando estas prácticas la unidad cartográfica puede utilizarse para la implantación de pasturas perennes (pasto llorón, festuca) pudiéndose rotar con verdeos de invierno e inclusive con algún cultivo de cosecha. Dentro de estos el centeno (*Secale cereale*) sería el más apto por su rusticidad, además de cebada (*Hordeum vulgare*), trigo (*Triticum aestivum*) o inclusive cultivos alternativos como quínoa o amaranto.

Descripción morfológica de la serie Napostá:

Horizonte	Descripción morfológica del perfil
Ap 0-8 cm	Pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en húmedo, en seco pardo oscuro a pardo (10 YR 4/3); franco arenoso (fino); bloques subangulares, finos, débiles; poco consolidado; muy friable, blando, ligeramente plástico y adhesivo; raíces comunes; pellets fecales; escasas concreciones de CaCO ₃ ; no presenta reacción al HCl 10%; limite claro y plano.
A2 8-19 cm	Pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en húmedo, en seco pardo oscuro a pardo (10 YR 4/3); franco arenoso (fino); bloques subangulares, finos y medios, moderados a débiles; poco consolidado ha consolidado; friable, blando, ligeramente plástico y adhesivo; raíces escasas; pellets fecales, escasas concreciones de CaCO ₃ ; no presenta reacción al HCl 10%; limite claro y plano.
Ck1 19-34 cm	Pardo amarillo (10 YR 5/4) en húmedo a pardo amarillo claro (10 YR 6/4) en seco; franco arenoso (fino); bloques subangulares, finos, moderados a débiles; poco consolidado ha consolidado; friable, blando, ligeramente plástico y adhesivo; raíces comunes; abundantes concreciones de CaCO ₃ ; moderada reacción al HCl 10%; limite gradual y ondulado.
Ck2	Pardo amarillo (10 YR 5/4) en húmedo a pardo amarillo claro (10 YR 6/4) en seco; franco arenoso (fino); bloques subangulares, finos, débiles, poco consolidado ha consolidado; muy friable, blando,

34-62 cm	ligeramente plástico y adhesivo; raíces comunes a escasas; abundantes concreciones de CaCO ₃ ; fuerte reacción al HCl 10%; limite abrupto y ondulado.
2Ckm + 62 cm	Horizonte petrocálcico (capa de tosca).

Características físicas:

Horizonte		Ap	A2	Ck1	Ck2	2Ckm	
Profundidad		cm	0 - 8	8 - 19	19 - 34	34 - 62	62
Diámetro de partículas	Arcilla < 0,002 mm	g kg ⁻¹	167	184	152	133	-
	Limo 0,002 – 0,05 mm		285	273	284	305	-
	Arena 0,05 – 2 mm		548	543	564	562	-
Clase textural por granulometría			FA	FA	FA	FA	FA

Características químicas:

Horizonte		Ap	A2	Ck1	Ck2	2Ckm	
Profundidad		cm	0 - 8	8 - 19	19 - 34	34 - 62	62
pH en suspensión			7,1	7,2	7,7	7,9	-
Carbono orgánico total	g kg ⁻¹		15	12	5	4	-
Materia orgánica			26	21	8	7	-
Nitrógeno total			2,2	1,9	-	-	-
Relación C/N			12	11	-	-	-
Fósforo disponible	mg kg ⁻¹		14	13	-	-	-
Conductividad eléctrica	μS cm ⁻¹		19	20	18	16	-

Ambiente 3: Loma (Lo)

Se distinguen dos tipos de series de suelos, serie La Alicia (50%) y serie Crestas (50%). La serie La Alicia, se ubica a 38° 25' 21,1'' LS y 62° 16' 12,2'' LW, presentando un relieve ondulado e inclinado, con pendientes bajas (1-2%), bien drenado o algo excesivamente drenado, sin evidencia de erosión actual, y con alta susceptibilidad a la erosión hídrica y eólica.

La clasificación taxonómica de suelo lo define como Calciustol petrocálcico, franco grueso, térmico, somero (Soil Survey Staff, 2014), con una clase por capacidad de uso (Klingebiel & Montgomery, 1961) determinada como Vles. Sus principales limitantes son la profundidad efectiva (32 cm) y su alta susceptibilidad a la erosión eólica.

El índice de productividad (INTA & SAGyP, 1989) es bajo (22%).

Descripción morfológica de serie La Alicia:

Horizonte	Descripción morfológica del perfil
Ap 0-11 cm	Pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en húmedo, pardo grisáceo (10 YR 5/2) en seco; franco arenoso; bloques subangulares, finos, débiles; friable, blando, no plástico, no adhesivo; poco consolidado; presenta ligera a moderada reacción al HCl 10%; raíces abundantes; limite claro y plano.
A2 11-21cm	Pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en húmedo, pardo grisáceo (10 YR 5/2) en seco; franco arenoso; bloques subangulares, finos, débiles; friable, blando, no plástico, no adhesivo; poco consolidado; presenta ligera a moderada reacción al HCl 10%; raíces abundantes; limite claro y plano.
Ck 21-32 cm	Pardo oscuro a pardo (10 YR 4/3) en húmedo, pardo amarillo claro (10YR 6/4) en seco; franco arenoso; bloques subangulares, finos y medios, muy débil; muy friable, blando, no plástico, no adhesivo; poco consolidado; abundantes concreciones de CaCO ₃ ; fuerte reacción al HCl 10%; raíces abundantes; limite abrupto y ondulado.
2Ckm + 32 cm	Horizonte petrocálcico (Capa de tosca).
Presencia de concreciones finas y medias de CaCO ₃ alóctonas distribuidas uniformemente en todo el perfil.	

Características físicas:

Horizonte		Ap	A2	Ck	2Ckm	
Profundidad		cm	0 - 11	11 - 21	21 - 32	32
Diámetro de partículas	Arcilla < 0,002 mm	g kg ⁻¹	80	76	74	-
	Limo 0,002 – 0,05 mm		275	270	282	-
	Arena 0,05 – 2 mm		645	654	644	-
Clase textural por granulometría			FA	FA	FA	-

Características químicas:

Horizonte		Ap	A2	Ck	2Ckm	
Profundidad		cm	0 - 11	11 - 21	21 - 32	32
pH en suspensión			7,3	7,3	7,4	-
Carbono orgánico total	g kg ⁻¹	16	13	4	-	
Materia orgánica		28	23	7	-	
Fósforo disponible	mg kg ⁻¹	7,9	-	-	-	
Conductividad eléctrica	μS cm ⁻¹	0,32	0,29	0,33	-	

La serie Crestas se ubica a 38° 25' 21,8" LS, 62° 16' 52,9" LO, presentando un relieve normal, plano inclinado, con pendientes bajas (1-2%), bien drenado, sin evidencia de erosión actual, y con moderada a alta susceptibilidad a la erosión eólica.

La clasificación taxonómica de suelo lo define como Paleustol petrocálcico, franco grueso, mixto, térmico, somero (Soil Survey Staff, 2014), con una clase por capacidad de uso (Klingebiel & Montgomery, 1961) determinada como VI. Sus principales limitantes son la reducida profundidad efectiva (oscila entre los 20 y los 50 cm), su alta susceptibilidad a la erosión eólica, asociada a su estructura débil y elevado contenido de arenas erodibles, su baja capacidad de retención hídrica y las condiciones climáticas desfavorables.

El índice de productividad (INTA & SAGyP, 1989) es bajo (20%).

Descripción morfológica de la serie Crestas:

Horizontes	Descripción morfológica del perfil
Ap 0-12 cm	Pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en húmedo, pardo grisáceo (10 YR 4,5/2) en seco; franco arenoso; bloques subangulares, medios, finos, débiles; muy friable; blando, no plástico y no adhesivo; poco consolidado; no presenta reacción al HCl 10%; escasas concreciones de CaCO ₃ finas y muy finas alóctonas; raíces abundantes; claro y plano.
A2 12-28 cm	Pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en húmedo, pardo grisáceo (10 YR 5/2) en seco; franco arenoso; bloques subangulares, medios, moderados; friable, ligeramente duro, no plástico no adhesivo; consolidado; moderadamente húmedo, muy ligera reacción al HCl 10%; escasas concreciones de CaCO ₃ finas alóctonas, raíces abundantes, claro y plano.
2Ckm +28 cm	Horizonte petrocálcico (Capa de tosca).

Características físicas:

Horizontes		Ap	A2	2Ckm	
Profundidad		cm	cm	cm	
Diámetro de partículas	Arcilla < 0,002 mm	g kg ⁻¹	0-12	12-28	+28
	Limo 0,002 – 0,05 mm		115	100	-
	Arena 0,05 – 2,0 mm		231	238	-
Clase textural por granulometría			554	662	-
			FA	FA	-

Características químicas:

Horizonte		Ap	A2	2Ckm
Profundidad	cm	0-12	12-28	+28
pH en suspensión		7,3	7,3	-
Carbono orgánico total	g kg ⁻¹	16	15	-
Materia orgánica		28	26	-
Nitrógeno total		1,1	-	-
Fósforo disponible	mg kg ⁻¹	18	-	-
Conductividad eléctrica	μS cm ⁻¹	0,66	0,49	-

2.2 Tratamientos

El estudio se realizó en un lote bajo un sistema de siembra directa. El mismo se inició en el año 2018 con el objetivo de analizar el comportamiento de parámetros edáficos y variables de rendimiento en ambientes contrastantes. En este trabajo se determinaron y analizaron variables correspondientes al año 2018/19.

Este ensayo consistió en la evaluación de tres ambientes:

- Cañadón (Ca),
- Ladera (La),
- Loma (Lo).

El ensayo se inició con un barbecho químico el 10/04/2018 utilizando glifosato 48% más 2,4-D (2 L ha⁻¹ y 350 cc ha⁻¹, respectivamente) para controlar diversas malezas presentes.

Para las tareas de siembra (13/07/2018) se utilizó una sembradora de granos finos marca Juber 3500, con abresurcos de doble disco, espaciados a 17,5 cm, rueda limitadora de profundidad y una rueda tapadora sobre la línea de siembra. Se utilizó la variedad de cebada Maltería Pampa (MP 1012) con una densidad de siembra de 60 kg ha⁻¹.

2.3 Diseño experimental

El diseño experimental se realizó en parcelas divididas completamente aleatorizado (DCA) donde se consideró como factor principal a los distintos ambientes: Loma (Lo), Ladera (La) y Cañadón (Ca), mientras que como factor secundario se consideraron a los antecesores (verdeos de verano): sorgo forrajero (So) y mijo anual (Mi), conformando 6 unidades experimentales con 3 repeticiones (n=18).

2.4 Variables evaluadas

Climáticas

2.4.1. Estación meteorológica

Se utilizó una estación meteorológica automática marca Davis Vantage Pro II (Figura 3), que registra precipitación, temperatura máxima, mínima y media, velocidad del viento, humedad, presión atmosférica entre otras variables. Para este trabajo se usaron sólo los datos de lluvia. Además, se utilizaron registros climáticos provistos por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN,2020).



Figura 3. Estación Meteorológica Automática- EMA Napostá.

Edáficas

2.4.2. Densidad aparente

El muestreo para densidad aparente (DA) se realizó al inicio del barbecho (10/04/2018) por el método del cilindro (Blake & Hartge, 1986), (Figura 4) que consistió en introducir en el suelo cilindros de acero, biselado, de volumen conocido (100 cm^3), enrasando el suelo con los bordes y colocando tapas en el lado superior e inferior.

Se muestrearon los tres ambientes (Lo, La y Ca) con sus respectivos antecesores (Mi y So) y se tomaron distintas profundidades (0-5, 5-10, 10-20, 20-40 y 40-60 cm) realizándose en cada una tres repeticiones (N=72). Para la obtención de los resultados se procedió a pesar las muestras con la humedad actual, luego se secaron a estufa a 105°C hasta peso constante o por un periodo no menor a 48 hs, tomando los datos de

peso del cilindro más suelo húmedo, peso del cilindro vacío y peso del cilindro más el suelo seco a estufa, para cada profundidad analizada, obteniendo su valor de la siguiente manera:

$$DA (g\ cm^{-3}) = \frac{(P.\ cil (g) + S.S.E) (g)) - P.\ cil (g)}{100\ cm^3}$$

Donde:

DA: densidad aparente.

P.cil +SSE: peso del cilindro más el suelo seco a estufa.

P.cil vacío: peso del cilindro vacío.



Figura 4. Cilindros utilizados en la medición de densidad aparente.

2.4.3. Humedad

La humedad se determinó por el método gravimétrico al inicio del barbecho (10/04/2018) y a la siembra (13/07/2018) del cultivo de cebada. Las profundidades estudiadas fueron cinco para el Ambiente 1 (0-10; 10-20; 20-40; 40-60; 60-100 cm), cuatro para el Ambiente 2 (0-10; 10-20; 20-40; 40-60 cm) y tres para el Ambiente 3 (0-10; 10-20; 20-40 cm). En cada profundidad se realizaron 3 piques para hacer la muestra compuesta, con barreno de 3 cm de diámetro y 1 m de largo (Figura 7). Para la determinación de la humedad por el método gravimétrico se compararon dos metodologías de secado: horno de microondas y estufa.

Horno Microondas

Se colocó en el horno microondas durante 4 minutos a potencia máxima (900 watts), 40 g de suelo húmedo en un vaso de precipitado de peso conocido. Transcurrido el tiempo, se secó todo tipo de condensación generada en las paredes del microondas y se dejó

reposar la muestra durante 2 minutos. Luego se repitió una vez más el procedimiento, tomando la muestra del peso del suelo seco una vez enfriada.

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{(P. vaso + S.H)(g) - (P. vaso + S.S.M)(g)}{P.S.S.M(g)} * 100$$

Donde:

P. vaso + S.H: peso del vaso más el suelo húmedo.

P. vaso + S.S.M: peso del vaso más el suelo seco en microondas.

P.S.S.M: peso del suelo seco en microondas.

Estufa

Se pesaron las muestras con la humedad actual, luego se secaron a estufa a 105°C hasta peso constante para expresarlas en porcentaje gravimétrico de humedad (Hg%). También se calculó el porcentaje volumétrico de humedad (Hv %) utilizando la densidad aparente. Para la profundidad de 60-100 cm se utilizó el valor de densidad aparente de la profundidad 40-60 cm, considerando que se encuentra dentro del mismo horizonte y que su variación no será significativa.

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{(P. cap + S.H)(g) - (P. cap + S.S.E)(g)}{P.S.S.E(g)} * 100$$

Donde:

P. cap + S.H: peso de la cápsula más el suelo húmedo.

P. cap + S.S.E: peso de la cápsula más el suelo seco a estufa.

P.S.S.M: peso del suelo seco a estufa.

2.4.4. Eficiencia hídrica de barbecho

Para el cálculo de la eficiencia hídrica de barbecho (EHB) se utilizaron los valores obtenidos de humedad al inicio y finalización del barbecho, calculando la cantidad de agua acumulada durante ese periodo, a las distintas profundidades. La misma fue expresada como humedad volumétrica (Hv%) a través de la densidad aparente, para luego transformarla en lámina de agua expresada en milímetros. La sumatoria de la lámina de agua calculada en cada profundidad, determinó la cantidad de agua acumulada en el perfil del suelo.

Para el cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$$E.H.B(\%) = \frac{(mm\ de\ agua\ final - mm\ de\ agua\ inicial)}{mm\ de\ lluvia} * 100$$

2.4.5. Distribución del tamaño de poros

Para la determinación de la porosidad total (PT) y distribución del tamaño de poros se tomaron de forma aleatoria en cada ambiente tres muestras de suelo sin disturbar mediante cilindros de acero de volumen conocido, a 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 y 40-60 cm de profundidad (N=78).

Mediante el método de Richards (1948) se determinó el contenido de agua a pF 2,5 (-33 KPa), equivalente a capacidad de campo (CC) y con muestras disturbadas en anillos de goma a pF 4,2 (-1500 KPa), el punto de marchitez permanente (PMP), (Figura 5). Con la mesa de tensión se sometieron las muestras no disturbadas de suelo saturado a diferentes succiones (pF 0 y 1,8).

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 y -6,3 KPa, mesoporos mayores (de 50 a 9 μm) y mesoporos menores (de 9 a 0,2 μm) desde los potenciales de -6,3 y -33 KPa y de -33 a -1500 KPa, respectivamente y microporos (< 0,2 μm) desde -1500 KPa.

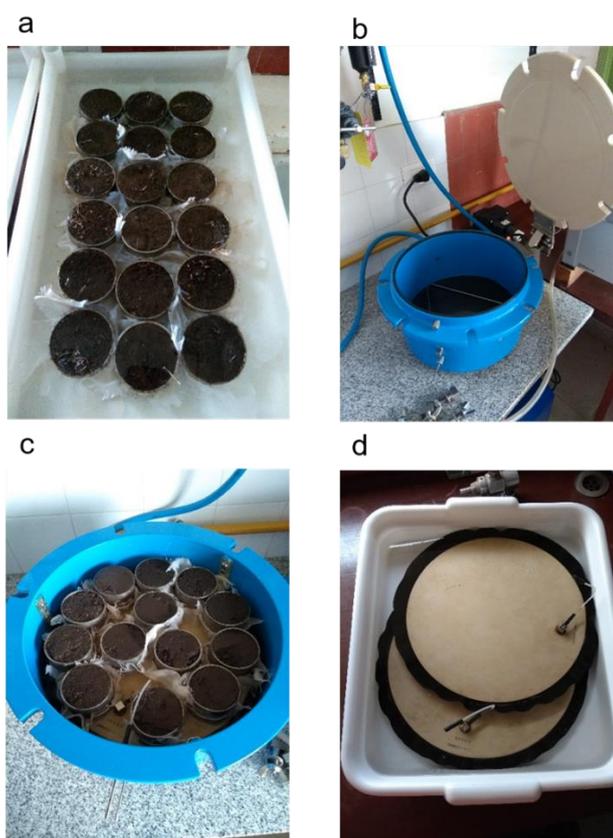


Figura 5. a) Muestras en saturación no disturbadas. b) Olla de Richards de 15 bares. c) Muestra no disturbada en olla de 5 bares. d) Placas de cerámica saturadas.

2.4.6. Cobertura del suelo

Para la determinación de la cobertura se utilizó el software CobCal 2.1 (Ferrari et al., 2008). El método basa su funcionamiento en la colorimetría, medición y cuantificación de colores, utilizando como entrada fotos digitales de la superficie muestreada y calcula, de manera sencilla, el porcentaje y superficie cubierto por el cultivo, rastrojo, malezas y suelo.

Las fotos fueron tomadas al inicio del barbecho (Figura 6a) y en el momento de la siembra (Figura 6b), tomando una distancia vertical de un metro y realizando 3 repeticiones por cada unidad de muestreo.

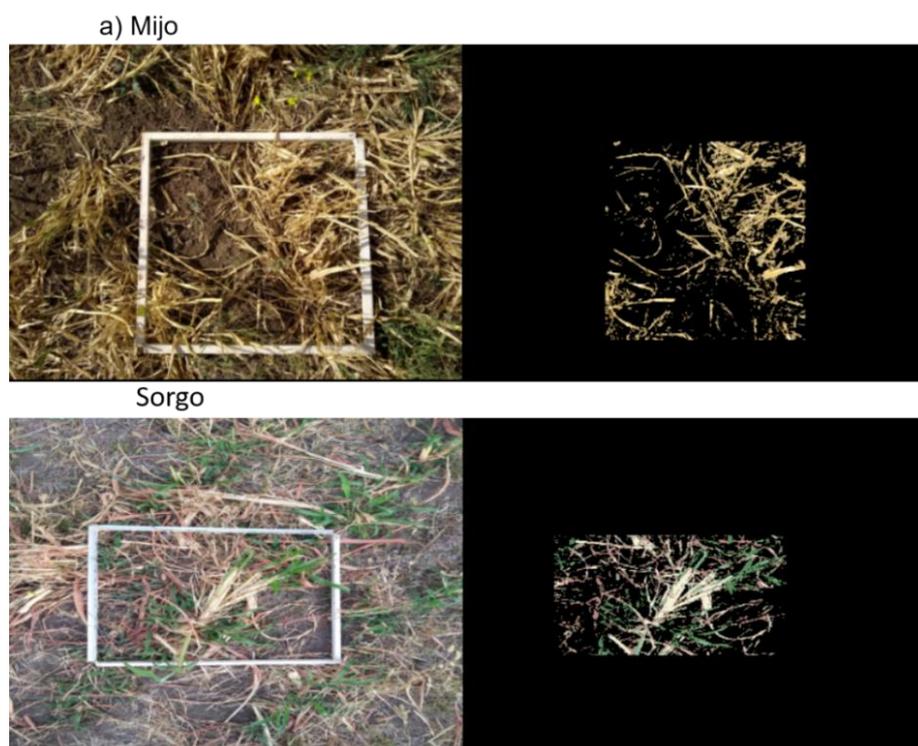


Figura 6. a) cobertura al inicio del barbecho.

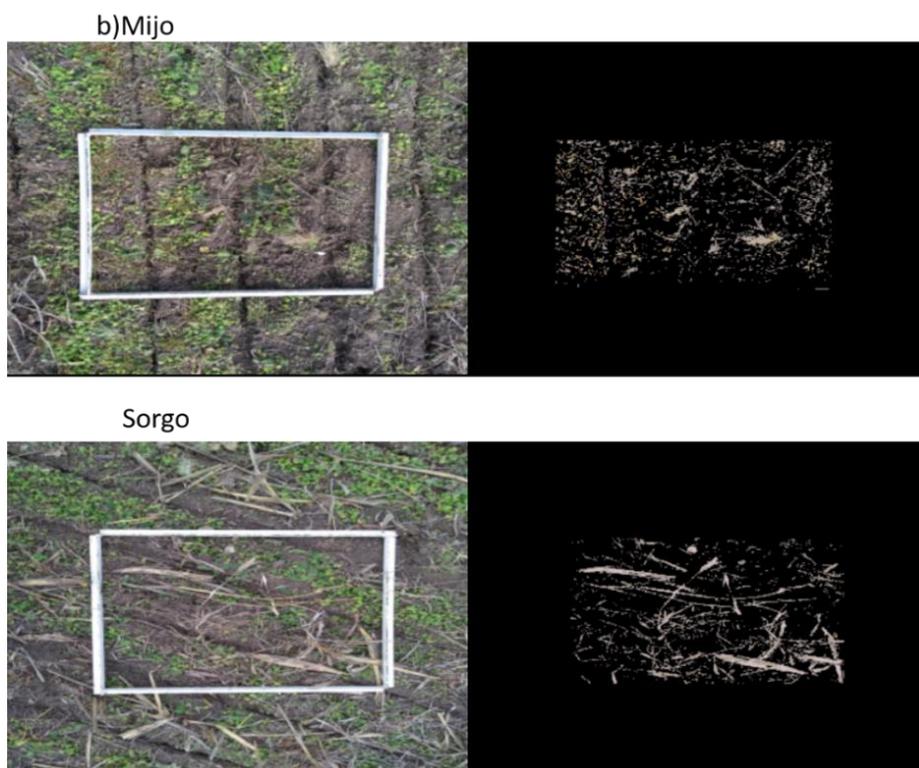


Figura 6. b) cobertura al momento de la siembra.

2.4.7 Biomasa de raíces

Para la determinación de la biomasa de raíces se utilizó la metodología propuesta por Frasier et al., (2016 a) que consistió en realizar cuatro piques equidistantes sobre el suelo, dos en la línea del surco y dos en el entresurco. Para ello se utilizó un barreno tubular de 1 metro de largo por 3 cm de diámetro (Figura 7).

Las muestras de raíces se tomaron en cada ambiente (Lo, La y Ca) y a tres profundidades (0-20; 20-40 y 40-60 cm) para cada antecesor (So y Mi) diferenciando las correspondientes al surco del entresurco.

En el laboratorio se colocó cada muestra en una botella con aproximadamente 1,5 litros de agua, se tapó y se colocó en un agitador durante 45 min. Una vez homogeneizada la muestra se pasó por un tamíz de 250 μm , con abundante agua y se retiraron con pinza todas las raíces que quedaban sobre el mismo. Las mismas se introdujeron en una cápsula, se pesaron en húmedo y se llevó a estufa (60°C) hasta peso constante (Figura 8), obteniendo su peso en seco.

Luego se realizaron los cálculos del porcentaje de influencia del surco y entresurco (I_{CR} e I_{BR}) para luego calcular la biomasa de raíces del surco (CR), entresurco (BR) y por último la biomasa total (TRB).

Para dichos cálculos se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$I_{CR}(\%) = \left(D(m) * \frac{2}{b(m)} \right) * 100$$

$$I_{BR}(\%) = \left[\frac{b(m) - (D(m) * 2)}{b(m)} \right] * 100$$

$$BR(g\ m^2) = \left[\frac{\Sigma\ peso\ seco\ BR(g)}{\left(\pi * \frac{D^2(m)}{4} \right)} \right] * \left(\frac{I_{BR}}{100} \right)$$

$$CR(g\ m^{-2}) = \left[\frac{\Sigma\ peso\ seco\ CR(g)}{\left(\pi * \frac{D^2(m)}{4} * numero\ de\ piques\ CR \right)} \right] * \left(\frac{I_{CR}}{100} \right)$$

$$TRB(g\ m^2) = BR + CR$$

Donde:

I_{CR} : porcentaje de influencia de raíces en el surco o fila del cultivo.

I_{BR} : porcentaje de influencia de raíces en el entresurco del cultivo.

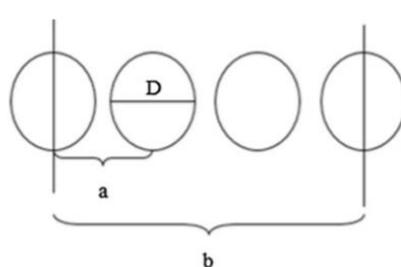
BR: biomasa de raíces en el entresurco del cultivo.

CR: biomasa de raíces en la hilera o fila del cultivo.

TRB: biomasa total de raíces del cultivo.

D: diámetro del barreno.

b: distancia entre hileras.



a: equidistancia entre puntos de muestreo.
b: distancia entre hileras (crop rows)
D: diámetro del barreno.



Figura 7. A la izquierda se muestran los piques con barreno en el surco y entresurco, al centro el esquema de muestreo y a la derecha el barreno tubular utilizado.



Figura 8. Tamiz de 250 μm y agitador utilizados en el muestreo de raíces.

Químicas

Al momento de la siembra del cultivo de cebada, sobre las muestras de suelo superficiales (0-5, 5-10 y 10-20 cm) secadas al aire y tamizadas por 2 mm se determinaron las siguientes variables:

2.4.8. pH

El pH es una de las principales propiedades químicas del suelo que controla la movilidad de iones, la disolución y precipitado de minerales, las reacciones redox, el intercambio iónico, la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes (Sainz Rozas et al., 2011).

La determinación del pH se llevó a cabo por el método potenciométrico, con un multímetro electroquímico (CONSORT C231). El método consistió en mezclar en un vaso de precipitado 20 g de suelo con 50 mL de agua destilada dejándolo reposar durante una hora. Dentro del vaso se colocó un imán que giraba sobre sí mismo estabilizando la muestra, para que el bulbo sensible del electrodo de pH capte la diferencia de potencial y arroje un valor estimado del mismo (Figura 9).



Figura 9. Electrochemical multimeter.

2.4.9. Materia orgánica

La materia orgánica (MO) es el parámetro más reportado en el mundo como indicador de la calidad del suelo y la sustentabilidad agronómica, por su influencia sobre variables físicas, químicas y biológicas (Reeves, 1997). La mayoría de los métodos estiman la MO a partir de la cuantificación del Carbono Orgánico (CO), utilizando factores de conversión adecuados para cada suelo (Galantini et al., 1994).

La MO se determinó por el método de Walkley-Black (1934) que consiste en la oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) en ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado durante 20 minutos, titulando luego el exceso del agente oxidante con sulfato amónico ferroso (Sal de Mohr 0,3 N). En un tubo de ensayo y por triplicado se pesaron con balanza analítica aproximadamente 200 mg de suelo seco previamente tamizado por 0,5 mm. Con una pipeta graduada, dosificador o micropipeta se agregaron 1,5 mL de $K_2Cr_2O_7$ y luego 3 mL de H_2SO_4 concentrado. Luego de 20 minutos se colocó agua destilada hasta la mitad del tubo cortando la reacción y se dejó enfriar (Figura 10).

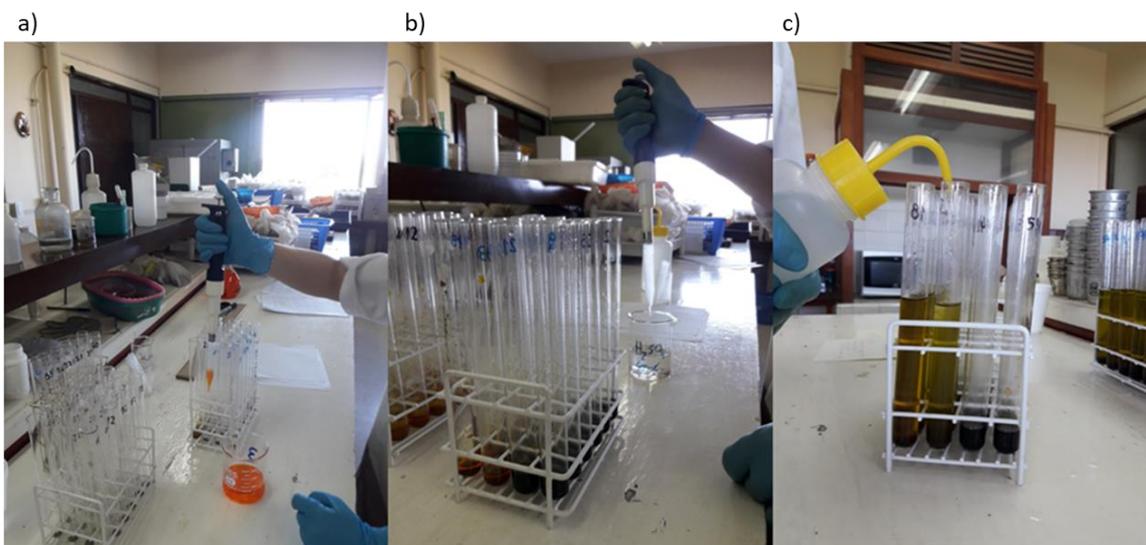


Figura 10. a) Preparación de muestras con $K_2Cr_2O_7$, b) incorporación del H_2SO_4 , c) corte de la reacción con agua destilada.

Para la titulación se agregaron 3 gotas de indicador (ferroína) produciendo un viraje al color púrpura que indica los mL gastados (Figura 11).



Figura 11. a) Preparación del $K_2Cr_2O_7$ b) Preparación de la sal de Mohr. c) Bureta electrónica utilizada para titulación.

2.5 Análisis estadístico

Los resultados fueron analizados mediante ANOVA utilizando la prueba LSD Fisher ($p < 0,05$), previo análisis de cumplimiento de supuestos básicos y detección de interacciones entre factores para la comparación de medias. Por último, las relaciones entre variables se analizaron mediante regresiones lineales simples. Los análisis estadísticos se realizaron con el software InfoStat (Di Rienzo et al., 2012).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN¹

3.1 Condiciones climáticas del año 2018

En la tabla 1 se muestran las precipitaciones mensuales registradas durante el año 2018 por la estación meteorológica automática ubicada en el campo Napostá (E.M.A. Napostá) y la precipitación mensual media para el periodo 1978-2018 (S.M.N). El total de lluvias para esta campaña fue de 539 mm; este dato representa un 37 % por encima del valor medio histórico para los meses evaluados (433 mm). Si bien se evidencia una marcada variabilidad entre los meses que duró la experiencia, cabe destacar que en los meses de enero, febrero y marzo el registro de precipitaciones (52 mm) estuvo muy por debajo del valor medio histórico (219 mm) y que durante el tiempo que el suelo estuvo bajo barbecho (10/4/18 al 13/7/18) la lluvia caída fue superior al registro de precipitación mensual media, registrándose un 68% más de lluvia en el mes de mayo, favoreciendo a esta práctica (Figura 12).

Tabla 1. Registro de precipitaciones (mm) ocurridas en Napostá durante el ensayo y precipitación media mensual para el período 1978-2018.

	Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
EMA Napostá	2018	6,0	11,0	35,0	49,0	72,7	38,1	23,1	18,8	48,3	83,1	162,8	70,1	618,0
SMN	1978-2018	69,0	66,9	82,9	54,5	43,1	27,2	33,5	33,5	47,3	72,7	58,2	62,8	651,4
Barbeho	10-04-2018				49,0	72,7	38,1	5,2						165,0
Campaña	2018-2019				49,0	72,7	38,1	23,1	18,8	48,3	83,1	162,8	43,4	539,3

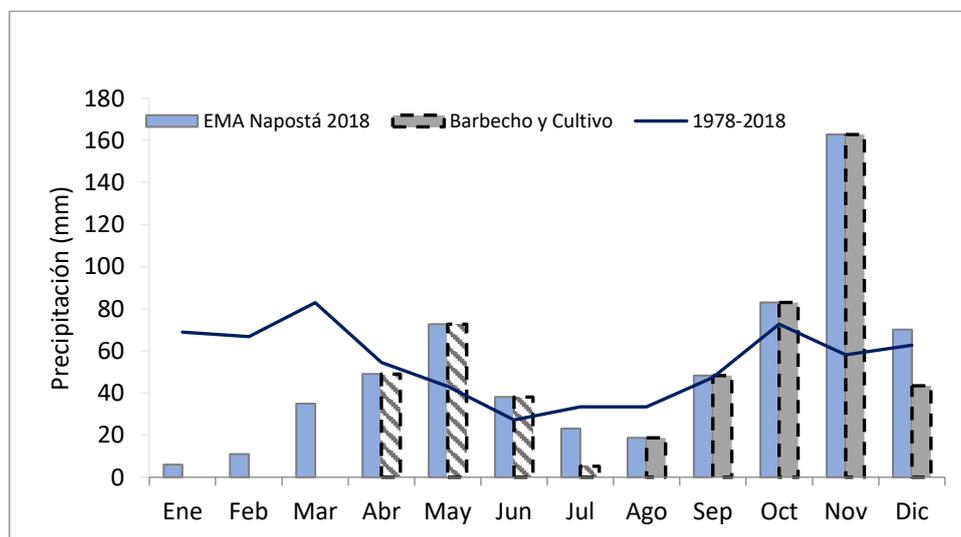


Figura 12. Registro de precipitaciones (mm) ocurridas en Napostá durante el ensayo y precipitación mensual media para el período 1978-2018 (SMN,2020).

¹ Parte de este trabajo ha sido publicado en: G.Ferreyra, M.Bouza, M.Duval, M.De Lucia, A.Padilla, E.Rodriguez & L.Rodriguez. Variabilidad edáfica sobre la productividad de cebada en el SOB. Actas del XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Corrientes 2020.

3.2 Densidad aparente

Los resultados obtenidos en el análisis estadístico de la DA muestran que no se encontraron diferencias significativas entre antecesores, pero sí entre ambientes para la profundidad de 0-40 cm (Tabla A1 del Anexo). El cañadón (Ca) fue el ambiente que arrojó los valores más bajos de DA ($1,11 \text{ Mg m}^{-3}$) encontrándose diferencias significativas ($p < 0,05$) con la loma (Lo) ($1,18 \text{ Mg m}^{-3}$) y la ladera ($1,21 \text{ Mg m}^{-3}$), (Figura 13).

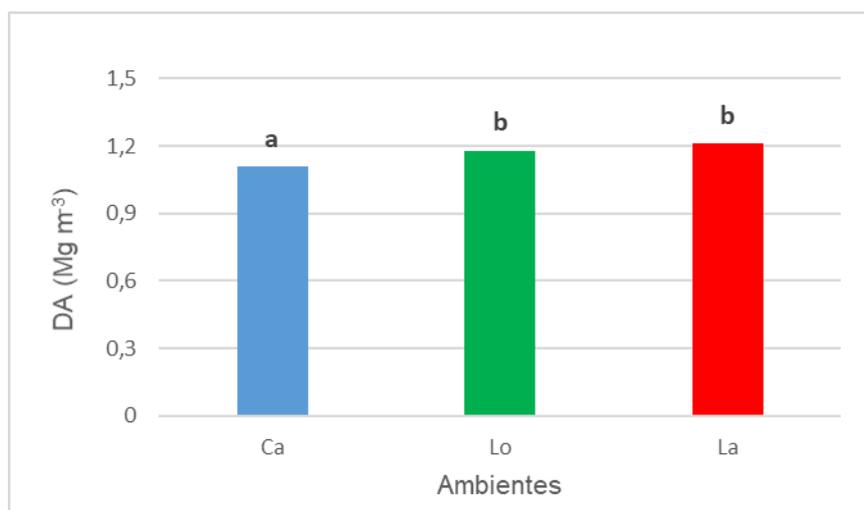


Figura 13. Promedio de densidad aparente (DA) para los ambientes Cañadón (Ca), Loma (Lo) y Ladera (La). *Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).*

En la figura 14 se muestran los valores de densidad aparente obtenidos en el barbecho para los tres ambientes a diferentes profundidades. El ambiente (Lo) fue el que presentó valores de DA significativamente superiores en 0-5 cm, mientras que no se aprecian diferencias entre (Ca) y (La). Cañadón (Ca) se diferenció significativamente con el ambiente Loma (Lo) en todas las profundidades consideradas, mientras que con la Ladera (La) sólo se encontraron diferencias en 5-10 y 20-40 cm.

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 $1,45-1,55 \text{ Mg m}^{-3}$.

Cabe destacar que, si bien, Schmidt & Amiotti (2015) encontraron en la Región Pampeana Semiárida Sur valores de hasta $1,48 \text{ Mg m}^{-3}$ en el rango de profundidad de 5-10 y 10-18 cm para Paleustoles petrocálcicos bajo SD, en el ambiente La, que corresponde al mismo suelo, los valores obtenidos a igual profundidad fueron de hasta $1,27 \text{ Mg m}^{-3}$.

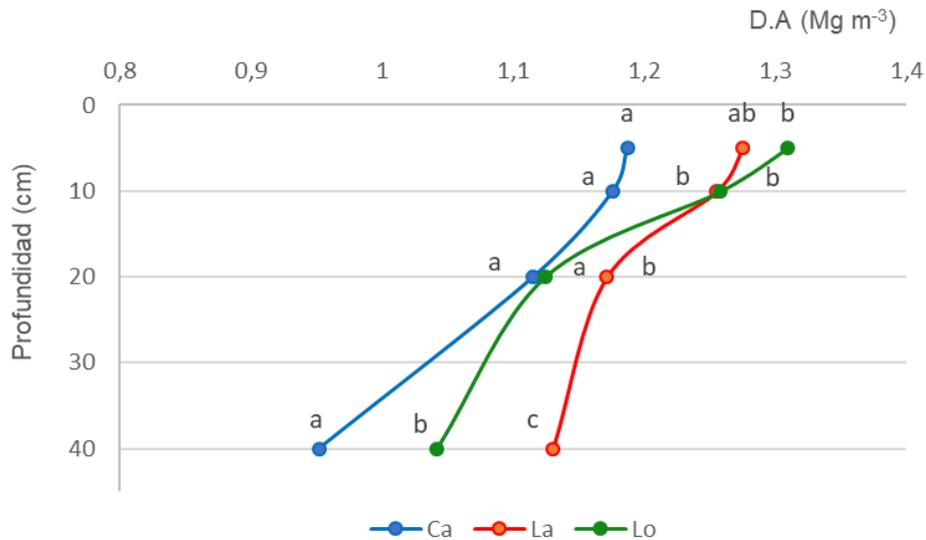


Figura 14. Valores medios de la densidad aparente para los distintos ambientes y a diferentes profundidades. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para cada profundidad ($p < 0,05$).

3.3 Relación entre la determinación de humedad por estufa y microondas

Los valores de humedad mínimos y máximos registrados fueron 8,6 y 21 %, respectivamente utilizando el método convencional, mientras que con horno de microondas fueron 7,4 y 18,4 %. Se encontró una correlación altamente significativa entre ambos métodos de secado ($R^2 = 0,88$, $p < 0,001$) considerando todas las muestras y humedades (Figura 15). Si bien estos datos son preliminares y subestiman entre un 12-14 % aproximadamente al secado convencional (secado por estufa), el secado con horno de microondas aventaja al anterior en la optimización del tiempo y en la cantidad de muestra a utilizar. De Lucía et al., (2017) determinaron que sobre muestras de suelos franco y francos arenosos el tiempo de secado necesario, utilizando horno de microondas, fue de 16 minutos, independientemente del contenido de humedad, con respecto al secado por estufa.

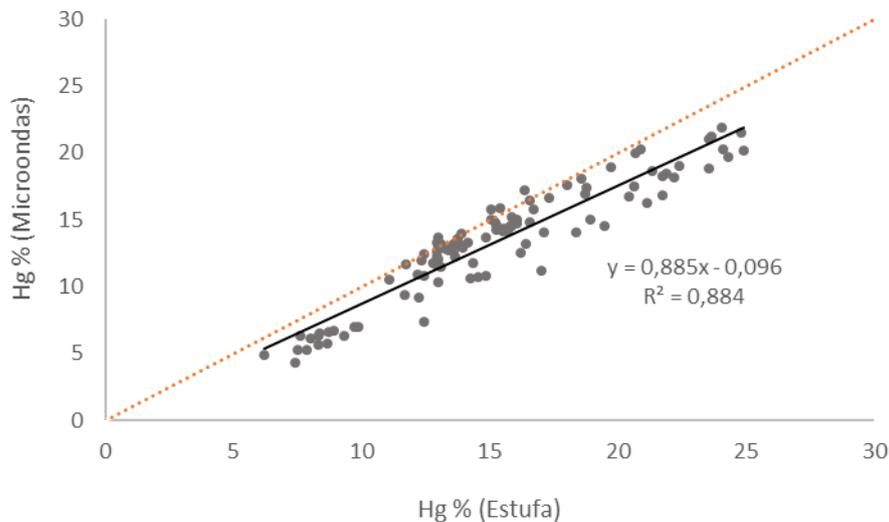


Figura 15. Relación entre métodos para determinar humedad gravimétrica para todos los ambientes y profundidades. La línea punteada representa la relación 1:1.

3.4 Humedad del suelo y 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).

El agua almacenada durante el barbecho (Tabla 2) fue variable según los ambientes. Se observó que La y Ca fueron los que acumularon más agua mientras que Lo presentó el valor más bajo. La humedad al inicio y finalización del barbecho mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) entre ambientes. El ambiente Ca presentó contenidos hídricos significativamente mayores tanto al inicio como al final del barbecho, valores medios se registraron para La, mientras que Lo fue el ambiente que presentó los menores contenidos de agua. El contenido de agua en Ca, fue 4,3 veces y 3,3 veces superior al inicio y final que el ambiente Lo, respectivamente; por otra parte, el ambiente La superó al ambiente Lo en un 175 % en ambas fechas. Estas diferencias se deben a las propiedades de los suelos, básicamente la profundidad efectiva y la textura de los horizontes.

Tabla 2. Precipitación (Ppt), lámina total (mm) al inicio y final del barbecho y la eficiencia con la que cada tratamiento almacenó (%).

Ambiente	Ppt	Inicio	Final	Diferencia	Eficiencia
AMB 1 (Cañ)	165	85,2 a	121,4 a	36,2 a	22 a
AMB 2 (Lad)	165	55,7 b	101,7 b	46,0 a	28 a
AMB 3 (Lo)	165	20,0 c	37,2 c	17,1 a	10 a

Letras diferentes indican diferencias significativas entre ambientes para cada fecha ($p < 0,05$).

El ambiente Ca presentó 33,5 mm más que el punto de marchitez permanente (PMP, 51,5 mm), la La se encontró cercano a PMP y Lo 31,5 mm menos que el PMP al inicio del barbecho. Esto podría deberse a la escasez de precipitaciones registradas antes de comenzar el barbecho, las cuales fueron un 76% inferior que la media histórica, y a que, si bien estadísticamente no se encontraron diferencias significativas, el residuo de sorgo en relación al de mijo, pudo haber ofrecido mayor protección al suelo tanto por su disposición como cantidad.

Por otra parte, en los ambientes Ca y La, el contenido de agua disponible (AD) hasta los 60 cm fue de 72 y 44 mm (Tabla 3), lo cual representa el 57 y 47% de la capacidad de retención en ese espesor de suelo, respectivamente. En cuanto al ambiente Lo, fue sólo de un 40%. Este comportamiento podría deberse a la profundidad y textura del suelo Franco limosa (Serie Cañadones) con más del 70% de arcilla + limo y textura Franco arenosa (Series Napostá y La Alicia) con 45% y menos del 30% de arcilla + limo.

Según Quiroga et al., (2003, 2005) ambos parámetros son principales condicionantes de la capacidad de retención de agua disponible (CRAD), de la eficiencia de los barbechos y de la producción de los cultivos en las regiones semiárida.

La eficiencia hídrica, que fue definida como la proporción de agua almacenada en relación con la precipitada, mostró valores que pueden considerarse medios de acuerdo a las mediciones durante varios años de la Cátedra de Conservación y Manejo de Suelos (com.pers.). Para la región, un barbecho de 4 a 5 meses para trigo alcanza algo más del 40% de EHB con cobertura abundante (> 80%) y menos del 25% con cobertura reducida (< 20-30%). Diferentes estudios han reportado valores entre 10 y 40 % (Quiroga et al., 2003, 2005), mientras que Miranda et al., (2012) registraron valores cercanos al 50 % evaluando diferente longitud de barbecho.

Respecto a los resultados obtenidos en el análisis estadístico no se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la EHB entre ambientes ni antecesores (Tabla 2), (Tabla A2 del Anexo).

Tabla 3. Constantes hídricas del suelo de los distintos ambientes y a diferentes profundidades al momento de la siembra.

CAÑADÓN (mm)						
Profundidad (cm)	PMP	CC	AU	Hf	AD	% CRAD
0-5	5,9	18,5	12,6	11,9	6,0	4,8
5-10	5,7	16,8	11,0	11,8	6,0	4,8
10-20	13,6	33,1	19,5	25,6	12,1	9,7
20-40	26,2	64,2	38,0	50,0	23,8	19,1
40-60	26,0	69,7	43,7	49,8	23,9	19,1
Total	77,4	202,3	124,8	149,2	71,8	57,5
LADERA (mm)						
0-5	4,6	13,6	9,0	7,8	3,2	3,5
5-10	5,0	12,5	7,5	8,9	4,0	4,2
10-20	9,2	24,6	15,4	15,8	6,6	7,1
20-40	17,4	47,4	30,0	34,8	17,4	18,5
40-60	17,2	49,2	32,0	29,7	12,5	13,3
Total	53,3	147,2	93,9	97,1	43,8	46,6
LOMA (mm)						
0-5	6,3	19,1	12,8	10,0	3,7	8,6
5-10	6,1	16,6	10,4	10,5	4,3	10,1
10-20	11,5	31,3	19,9	20,9	9,4	21,9
20-40	-	-	-	-	-	-
40-60	-	-	-	-	-	-
Total	23,9	67,0	43,1	41,4	17,5	40,6

Referencias: Punto de marchitez permanente (PMP, mm), Capacidad de campo (CC, mm), Agua útil (AU, mm), Humedad final (Hf, mm), Agua disponible (AD, mm), % CRAD: relación entre el AD y la CRAD.

3.5 Distribución de poros

La porosidad total promedio para 0-60 cm de profundidad correspondiente a Ca y La, y 0-20 cm de profundidad correspondiente a Lo, fue de 55, 51 y 50% respectivamente, encontrándose en el horizonte superficial (0-10 cm) un promedio de 13 % de macroporos (MP), 26,4% de mesoporos (mP > y <) y 11,2% de microporos (μ P). En el horizonte subsuperficial, los porcentajes medios de MP, mP (> y <) y μ P presentaron valores similares (15,2; 25,2 y 11,4%).

Según Topp et al., (1997), la porosidad del suelo regula la aireación y retención de agua, siendo necesario valores de macroporos de 10 a 25% para una adecuada aireación y percolación del agua. Por lo tanto, los valores obtenidos de macroporos nos dan la pauta que los suelos en estudio presentaron buena aireación y movimiento de agua.

El análisis de la PT (%) (Tabla 4) y los resultados obtenidos en el análisis estadístico (Tablas A3 del Anexo) indican que no se detectaron diferencias entre tratamientos en 0-5 cm, mientras que esta variable en el ambiente La fue significativamente menor ($p < 0,05$) respecto al (Ca) tanto en la capa de 5-10 cm (47 y 51%) como en la capa de

20-40 cm (51 y 58%). Respecto a la distribución del tamaño de poros se observaron diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$) para la capa de 0-5 cm, en mesoporos mayores y para la capa de 5-10 cm, en mesoporos mayores y menores.

Tabla 4. Valores promedios de la porosidad total y distribución por tamaño de los poros a distintas profundidades y en los tres ambientes en estudio.

Prof (cm)	Ambientes	Tamaño de poros (%)				
		PT	MP	mP>	mP<	μP
0-5	A1	55,3 a	14,7 a	3,6 ab	25,2 a	11,9 a
	A2	50,4 a	16,6 a	6,8 b	18,0 a	9,1 a
	A3	51,6 a	11,2 a	2,3 a	25,6 a	12,6 a
5-10	A1	50,9 b	11,4 a	5,9 a	22,1 b	11,5 a
	A2	47,0 a	13,4 a	8,6 b	15,0 a	9,9 a
	A3	48,1 ab	10,6 a	4,3 a	20,8 ab	12,3 a
10-20	A1	53,6 a	14,4 a	6,1 a	19,5 a	13,6 a
	A2	51,0 a	18,0 a	8,5 a	15,4 a	9,2 a
	A3	51,0 a	13,3 a	6,4 a	19,9 a	11,4 a
20-40	A1	58,3 a	16,2 a	10,0 a	19,0 a	13,1 a
	A2	51,0 b	15,1 a	12,2 a	15,0 a	8,7 a
	A3					
40-60	A1	58,5 a	16,9 a	6,8 a	21,9 a	13,0 a
	A2	54,5 a	17,8 a	12,1 a	16,0 b	8,6 a
	A3					

Referencias: A1: Amb.Cañadón, A2: Amb.Ladera, A3: Amb.Loma; PT: porosidad total; MP: macroporos; mP>: mesoporos mayores; mP<: mesoporos menores; μP : microporos. *Para cada profundidad letras distintas indican diferencias significativas entre ambientes ($p < 0,05$).*

Curva Hídrica

La Figura 16 muestra la curva de retención hídrica para los distintos ambientes según la profundidad. En general, los contenidos de agua en el ambiente La fueron inferiores a los ambientes Ca y Lo, sin diferencia entre estos últimos, para todas las tensiones y profundidades evaluadas. Esto puede deberse a que la textura del ambiente (Ca) es franco limosa mientras que en los suelos del ambiente (La) es franco arenosa. Por otra parte, si bien la textura de los ambientes La y Lo son las mismas, la diferencia encontrada puede ser atribuida a que el horizonte A del ambiente (La) ha perdido CaCO_3 , tiene una estructura débil a moderada, baja retención de humedad y fertilidad química y física, haciéndolo más inestable que el ambiente Lo.

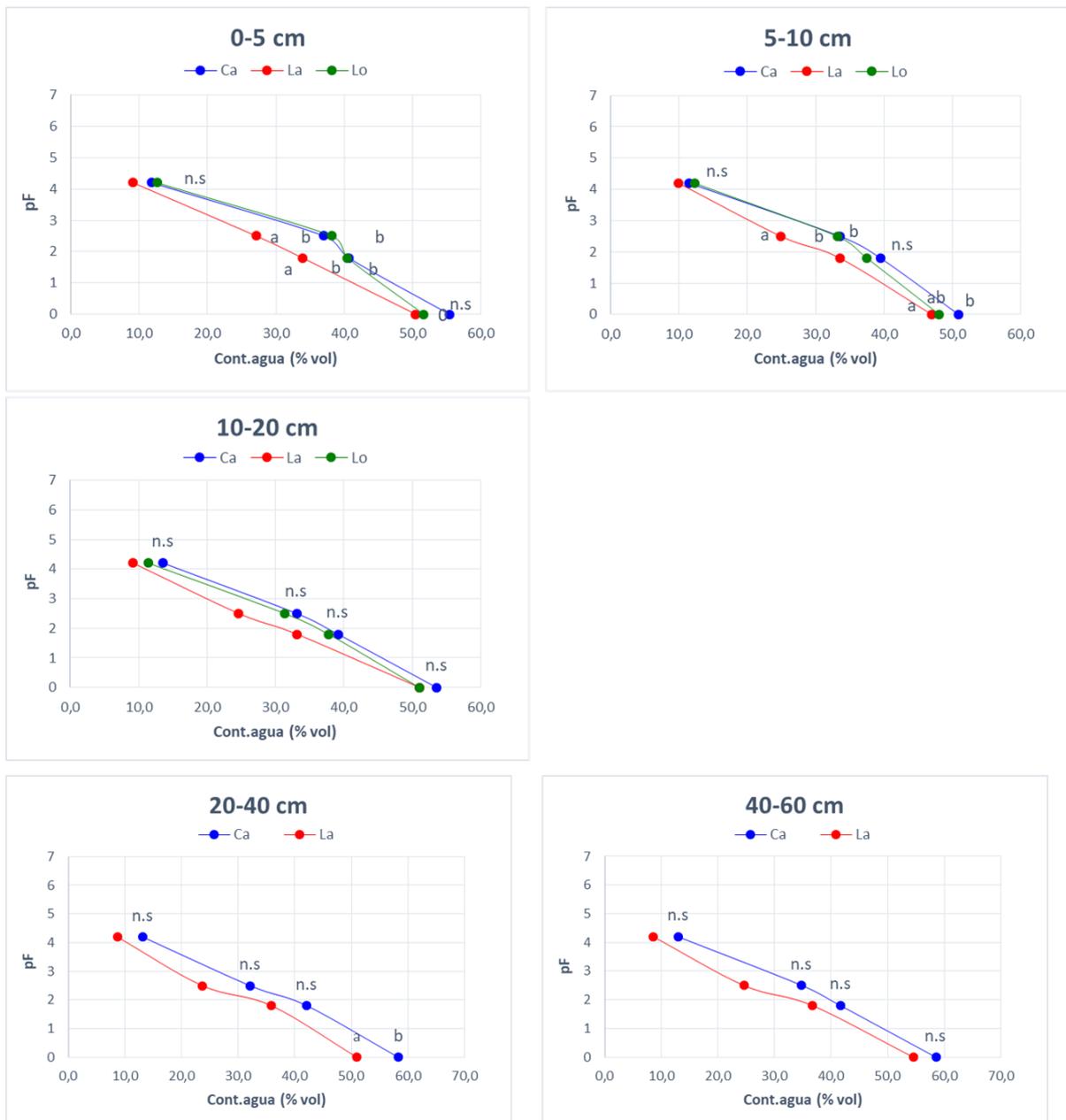


Figura 16. Curva de retención hídrica para todos los ambientes en las distintas profundidades. Letras diferentes indican diferencias significativas entre ambientes para cada tensión ($p < 0,05$).

3.6 Cobertura de rastrojo

En las Tablas A4 y A5 del Anexo se muestran los resultados obtenidos del análisis digital de las fotos, mediante el software CobCal 2.1, para la determinación de la cobertura del suelo. Al inicio del barbecho el porcentaje de cobertura fue del 16% y 22% para mijo y sorgo, mientras que a la siembra los porcentajes fueron 12 y 15%, respectivamente,

presentando una reducción del porcentaje de cobertura durante el período de barbecho del 25% para mijo y 32% para sorgo.

Según la FAO (2014) valores por debajo de los 30% de cobertura no son considerados como agricultura de conservación. En un trabajo llevado a cabo por López et al., (2015) gran parte de los lotes analizados del SOB, presentaban menos del 30% de cobertura en el suelo, demostrando un bajo aporte de rastrojo. Esto pudo deberse, al igual que en este ensayo, a los bajos aportes de residuos de los cultivos de cosecha en la zona Semiárida Pampeana, debido a los bajos rendimientos de los cultivos, lo que resulta en un efecto negativo sobre la materia orgánica del suelo (Duval et al., 2013).

En relación a los ambientes, el menor porcentaje de cobertura al inicio del barbecho, correspondió al ambiente Lo con un valor promedio del 12%, diferenciándose estadísticamente ($p < 0,05$) de los ambientes La y Ca los cuales presentaron valores promedios de 22,5 y 23%, respectivamente (Figura 17). En este caso, la escasa profundidad presente en el ambiente Lo, sumado a las características climáticas de la zona, inciden en el porcentaje de cobertura.

A la siembra solo se encontraron efectos significativos según el antecesor (Tablas A6 y A7 del Anexo). En un estudio realizado por De Lucia et al., (2018) bajo las mismas condiciones de este trabajo detectaron que la producción media de materia seca (MS) de mijo y sorgo oscilaron entre 105,5 y 289,5 kg ha⁻¹, valores que se encuentran por debajo de los rendimientos en la región; los autores concluyeron que si bien las dos especies respondieron a las propiedades de los suelos, la profundidad efectiva mostró una clara relación con la producción del cultivo pues en el ambiente somero la producción fue insignificante mientras que en los otros la producción fue baja. Cruz (2012) observó valores que superaban los 5000 kg ha⁻¹ en una experiencia realizada en el mismo establecimiento donde midió la eficiencia de prácticas estructurales para el control de erosión hídrica en un cultivo de sorgo. Según Kent (2019) características como alta productividad, resistencia a la sequía, gran desarrollo y penetración del sistema radicular le otorgan al sorgo ventajas sobre el mijo al momento de evaluar la cobertura del suelo.

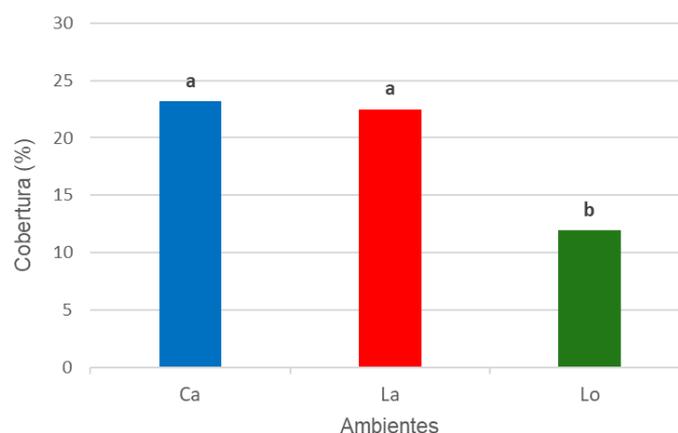


Figura 17. Porcentaje de cobertura para los diferentes ambientes al momento del barbecho. Ca: cañadón, La: ladera, Lo: loma. *Letras distintas indican diferencias significativas entre ambientes ($p < 0,05$).*

3.7 Biomasa de raíces

Las raíces cumplen funciones vitales como, por ejemplo, el anclaje al suelo, la absorción de agua y nutrientes, que determinan la productividad aérea de los cultivos (Clark et al., 2005), participan en el ciclado de nutrientes y formación de materia orgánica producto de su descomposición y la agregación de partículas como consecuencia de cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas de la rizósfera (Czarnes et al., 2000).

Respecto a la determinación de la biomasa total de raíces (BTR), los resultados del análisis estadístico (Tabla A8 del Anexo) indicaron que no se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el barbecho, entre antecesores ni ambientes. Sin embargo, a la siembra en los primeros 20 cm se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) sólo entre antecesores (Figura 18) (Tabla A9 del Anexo).

Por otra parte, analizando los valores para la profundidad de 40-60 cm, no se encuentran diferencias entre antecesores ni entre los ambientes considerados (La y Ca).

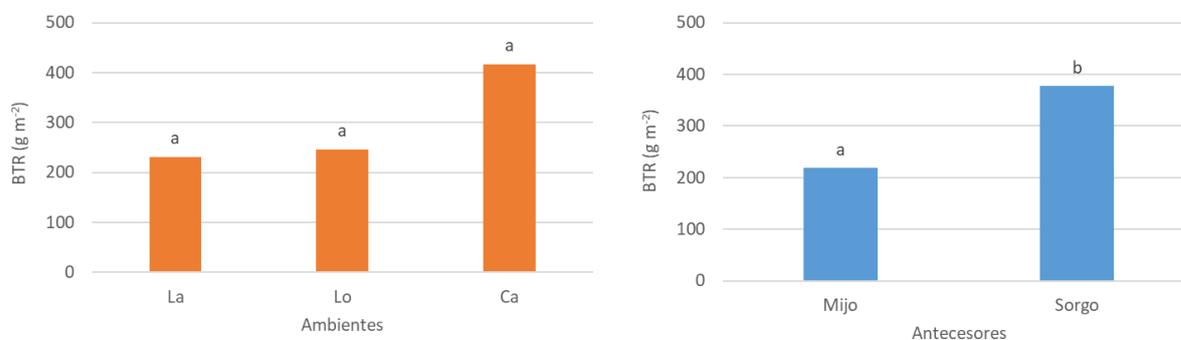


Figura 18. Biomasa total de raíces en los primeros 20 cm de profundidad a la siembra, para los tres ambientes y los antecesores sorgo y mijo. *Letras distintas indican diferencias significativas entre antecesores y ambientes ($p < 0,05$).*

La biomasa promedio de raíces (0-20 cm) al inicio del barbecho para los tres ambientes fue de 552 g m⁻² para Ca, 720 g m⁻² para La y 787 g m⁻² para Lo. Al momento de la siembra el valor promedio de biomasa de raíces descendió un 24% para Ca, 68% para La y 69% para Lo (Figura 19).

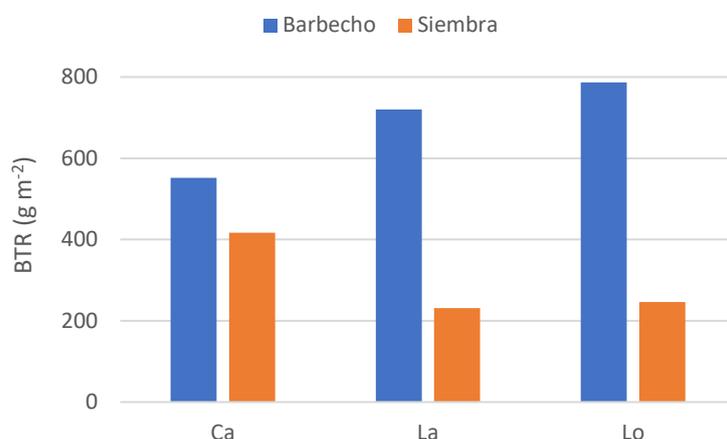


Figura 19. Variación del total de raíces en los primeros 20 cm al barbecho y a la siembra para los tres tratamientos.

De acuerdo con el trabajo de Frasier et al., (2016 b), el incremento en la biomasa de raíces puede estar asociado a que, en texturas más gruesas, hay un mayor porcentaje de macroporos, favoreciendo el crecimiento y desarrollo de las raíces, y dejando en evidencia que los valores más altos de biomasa se registraron en los ambientes La y Lo. Si bien el ambiente La en 0-20 cm presenta mayor cantidad de macroporos podría explicar en parte lo expuesto por los autores mencionados, sin embargo, la correlación entre el % de poros y BTR en el presente trabajo fue no significativo. Por otro lado, los valores más bajos de biomasa a la siembra se relacionan con un menor efecto de protección física del suelo que deja al material radicular más expuesto a la rápida descomposición microbiana, en texturas más finas, como es el caso del ambiente (Ca).

3.8 Reacción del suelo.

Los valores de pH obtenidos presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre ambientes para todas las profundidades, pero no así entre antecesores. El valor promedio de pH en los ambientes Ca y La fueron de 6,8 y 7,2, considerándose neutros (rango entre 6,6 - 7,3), mientras que en el ambiente Lo fue de 7,4 siendo ligeramente alcalino (rango entre 7,4 - 7,8), según la clasificación de USDA (1993) (Figura 20).

Valores similares para suelos con un horizonte petrocálcico fueron reportados por Zilio (2015) quien afirma que la escasa profundidad del perfil, limitado por el horizonte

petrocálcico a 0,5 m, y el régimen hídrico ústico, han impedido el lavado de los carbonatos hacia capas más profundas del suelo. Buckman & Brady (1966), afirman que la profundidad a la capa petrocálcica será menor, cuanto menor sea la precipitación anual y como consecuencia, la superficie de estos suelos será alcalina o neutra y sus subsuelos, alcalinos.

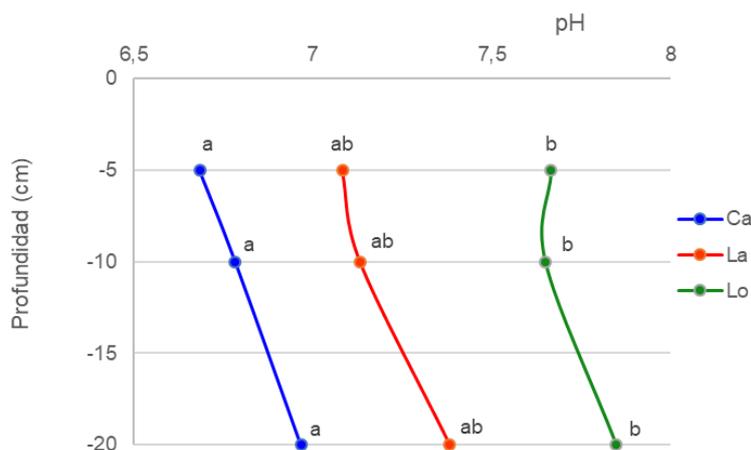


Figura 20. Valores promedios de pH para los tres tratamientos de 0-20 cm de profundidad. Letras distintas indican diferencias significativas entre ambientes ($p < 0,05$).

3.9 Materia Orgánica

El contenido de MO presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) para las profundidades de 0-5 y 5-10 cm entre el ambiente Ca respecto a los ambientes La y Lo, y para la profundidad de 10-20 cm se encontraron diferencias entre los tres ambientes (Figura 21).

De acuerdo con Quiroga et al., (2005), el bajo contenido de MO en el ambiente Lo y La, pueden deberse, entre otras cosas, a la baja profundidad efectiva, mucho más marcada en el ambiente Lo, acompañada de una alta susceptibilidad a la erosión eólica por presentar una textura franca arenosa, y a la baja precipitación que incide sobre el balance del carbono.

Según Álvarez & Steinbach, (2006) los niveles de CO de los suelos están regulados por el clima y la textura. Al aumentar la proporción de partículas finas, la capacidad de almacenamiento de agua útil y la protección contra el ataque microbiano, aumenta el contenido de CO (Six et al., 2002), es decir, aumenta el contenido de MO. Esto se ve reflejado en el alto contenido de MO del ambiente Ca explicado en parte por la profundidad del perfil, la reserva inicial de MO, la textura franca limosa y al mayor aporte de residuos vegetales.

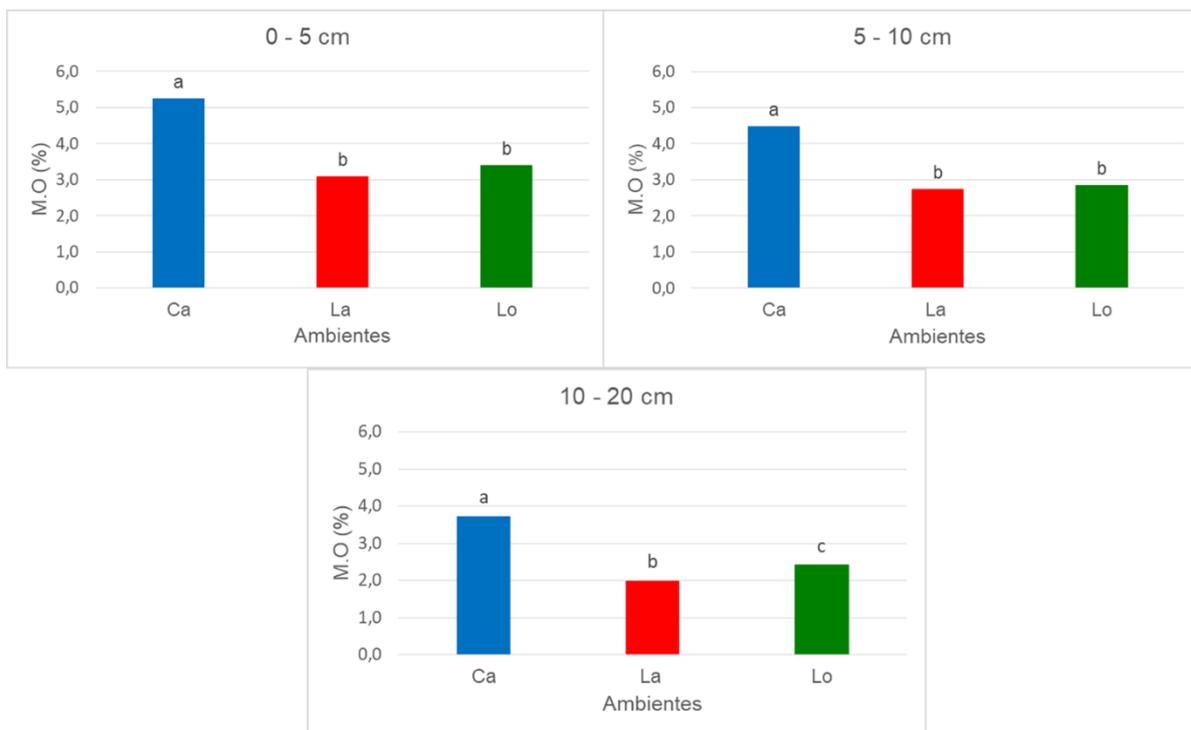


Figura 21. Contenido de materia orgánica para las profundidades de 0-5, 5-10 y 10-20 cm en los distintos ambientes en estudio. *Letras distintas indican diferencias significativas entre ambientes ($p < 0,05$).*

3.10 Rendimiento

El rendimiento medio del cultivo de cebada de la zona núcleo para la campaña 2018/19 fue de 5000 kg ha^{-1} (MAGyP, 2019). En el presente ensayo se observaron valores que se encuentran muy por debajo de los rendimientos medios y un 61 % menos que los encontrados por Conti & Moreyra (2018), Wehrhane (2018) y Agrar del Sur (2018) quienes ensayaron el mismo cultivar.

El rendimiento promedio del ensayo fue de 2465 kg ha^{-1} , presentando una variación entre 1321 a 3588 kg ha^{-1} ; resultados esperados teniendo en cuenta la profundidad efectiva (Pe), la capacidad de retención de agua (CRAD) y el índice de productividad (IP) de cada ambiente. Los rindes más altos se dieron en el ambiente cañadón (Ca) con 2895 kg ha^{-1} y los más bajos en la loma (Lo) con 1968 kg ha^{-1} . El análisis estadístico (Tabla A10 del Anexo) mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) sólo entre Lo y Ca con una diferencia entre ambos de 1000 kg ha^{-1} (Figura 22), mientras que el ambiente La tuvo un valor intermedio (2533 kg ha^{-1}). Cabe destacar que los ambientes superaron en un 23, 14 y 11 % a la estimación del IP para Lo, La y Ca respectivamente (Tabla 5). Esto puede deberse a las condiciones climáticas, principalmente a la precipitación, ya que se registró un 37% más, que el valor medio histórico para los meses evaluados.

En cuanto a los cultivos antecesores, no se encontraron diferencias estadísticas entre mijo y sorgo (2449 y 2482 kg ha^{-1}) respectivamente.

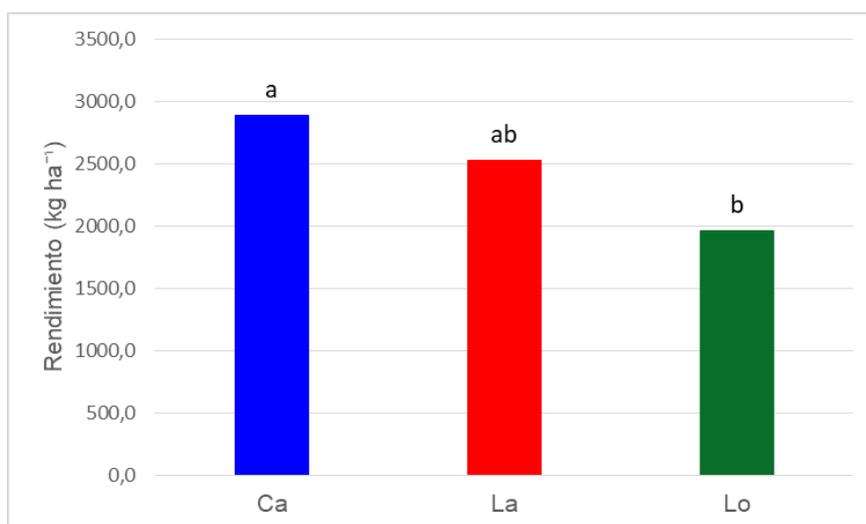


Figura 22. Rendimiento medio de cebada según los ambientes cañadon (Ca), ladera (La) y loma (Lo). Campaña 2018/19. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

Tabla 5. Comparación del rendimiento teórico según IP y el determinado a campo para los tres ambientes.

Ambientes	Series	IP ponderado(%)	Rinde teorico (kg ha ⁻¹)	Rinde a campo (kg ha ⁻¹)	Diferencia (kg ha ⁻¹)	%
Ca	80% Cañadón	47	2350	2900	550	11,0
	20% Aguaviva					
La	60% Napostá	37	1850	2533	683	13,7
	30% Aguaviva					
	10% La Alicia + Crestas					
Lo	50% La Alicia	16	800	1970	1170	23,4
	50% Crestas					

3.11 Relación entre agua útil (AU) y profundidad efectiva (Pe) con el rendimiento del cultivo.

El agua útil (AU) es la diferencia entre los contenidos de agua a capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP). Se considera como agua utilizable o potencialmente extractable por las plantas en la zona de crecimiento radical y su conocimiento es de gran importancia para predecir cuál será el máximo rendimiento al que podremos aspirar.

En el ensayo se determinó que a medida que el contenido de AU aumentaba, también lo hacía de forma proporcional el rendimiento del cultivo ($R^2= 0,77$, $p<0,01$), llegando a la conclusión que el rendimiento está influenciado por el contenido de AU (Figura 23). Según un trabajo llevado a cabo por Gvozdenovich & Papparotti, (2009) queda demostrado que la variación del rendimiento está fuertemente influenciada por el agua edáfica total almacenada.

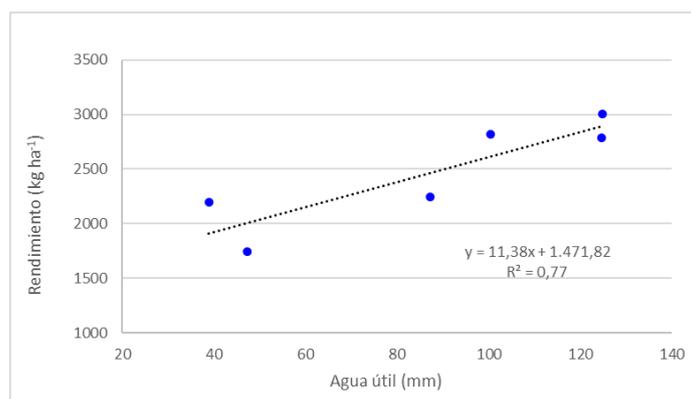


Figura 23. Relación entre agua útil (AU) a la siembra y el rendimiento medio de cebada (**).

La profundidad efectiva (Pe) resulta de total interés a la hora de evaluar el rendimiento del cultivo debido a su relación directa (Kruger et al., 2018). En suelos donde la presencia de un horizonte petrocálcico se encuentra a menos de 50 cm de profundidad (loma) condiciona fuertemente el rendimiento. Los resultados obtenidos reflejan que la profundidad efectiva también condicionó significativamente los rendimientos ($R^2= 0,86$, $p<0,001$) (Figura 24).

Con respecto al ambiente Ca, donde se encuentran los valores más altos de rendimiento (2895 kg ha^{-1}), el ambiente Lo presentó una merma del 32% en el rinde, debido a la profundidad efectiva entre otras variables. Kruger et al., (2018) observaron relaciones significativas entre profundidad efectiva y rendimiento, ubicándose los menores rindes en suelos de baja profundidad (menores a 0,5 m), como es el caso de este trabajo.

Considerando la presencia regional del horizonte petrocálcico, esta relación genera condiciones apropiadas para el manejo de suelos por ambientes basados en la profundidad efectiva. Resulta de interés, en este caso, la determinación de valores críticos de profundidad efectiva para la producción de cebada u otros cereales de invierno.

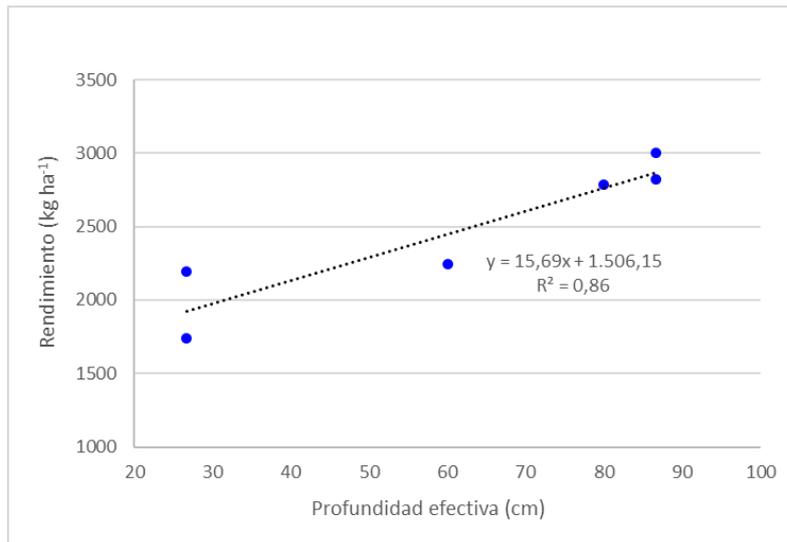


Figura 24. Relación entre profundidad efectiva (Pe) y rendimiento medio de cebada (***)

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos indican que las diferencias productivas que se manifiestan en distintos ambientes son de origen edáfico, siendo la profundidad efectiva el principal factor influyente a través de la capacidad de almacenamiento de agua y de suministrar nutrientes, respectivamente, y en menor medida la MO.

Según las condiciones en las que se realizó el trabajo, se procede a extraer las siguientes conclusiones:

- El contenido de agua en el periodo que duró el barbecho fue superior al registro de precipitación mensual media, lo que podría haber favorecido a esta práctica, sin embargo los valores obtenidos fueron bajos. Esto pudo deberse a que en los meses de enero, febrero y marzo el registro de precipitaciones estuvo un 76% por debajo del valor medio histórico, la textura de los horizontes en los diferentes ambientes y a la baja cobertura que presentaban.
- Los valores obtenidos de DA, porosidad total, distribución del tamaño de poros y pH para los tres ambientes, no fueron limitantes en cuanto a la aireación y retención de agua del suelo, ni para el crecimiento y rendimiento del cultivo.
- Las técnicas de determinación de humedad utilizadas se correlacionaron muy bien, teniendo en consideración que el secado con horno de microondas aventaja a la estufa tanto en la optimización del tiempo como en la cantidad de muestra a usar.
- El porcentaje de cobertura, si bien, se vio afectado por la profundidad efectiva y las condiciones climáticas de la zona, no tuvo influencias negativas en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.
- El antecesor sorgo aportó una mayor cantidad de raíces que el antecesor mijo, pero no fue significativo a la hora de evaluar parámetros del suelo.
- El contenido de materia orgánica (MO) varió con la profundidad para los tres ambientes.
- A pesar de la profundidad efectiva (Pe) y la CRAD obtenida, el rendimiento del cultivo, en los tres ambientes, fue mayor a los índices de productividad (IP) estimados.

Consideraciones finales

Dadas las condiciones climáticas y edáficas de la región en estudio, y evaluando los resultados obtenidos, podemos afirmar que la productividad del cultivo de cebada se ve influenciada por la Pe, la capacidad de retención de agua y en menor medida por el contenido de MO. Por lo tanto, técnicas como siembra directa, cobertura del suelo y barbecho, son de suma importancia para maximizar los rendimientos en cada ambiente y mejorar o mantener la sustentabilidad del recurso más importante, el suelo.

5. BIBLIOGRAFIA

- Agrar del Sur. 2018. Red Nacional de cebada cervecera: Coronel Dorrego-Campaña 2018. Disponible en: <https://inta.gob.ar/documentos/red-nacional-de-cebada-cervecera-coronel-dorrego-campana-2018>
- Álvarez C; A. Quiroga; A. Corro Molas; C. Lienhard. 2011. Manejo sitio específico para el cultivo de soja en la región semiárida pampeana. Actas del V Congreso de la Soja del Mercosur y I Foro de la Soja Asia-Mercosur. Rosario. Argentina.
- Álvarez, R & H.S Steinbach. 2006. Factores climáticos y edáficos reguladores del nivel de materia orgánica. En: Materia Orgánica «Valor Agronómico y Dinámica en Suelos Pampeanos» (ed. R. Álvarez). Editorial. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. p. 31-40.
- Amiotti, N, Blanco M, Bouza M, Bravo o, De Lucia M, Echeverría N, Grill S, Kiessling R, Schmidt E & Zalba P. 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 el auspicio de ACES – Universidad de Illinois. Imprenta Grafimax, Bahía Blanca. (ISBN Actas: 978-987-24771-6-5). 44 p.
- Blake GR & KH Hartge. 1986. Bulk density. En: Klute, A (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 1. Agronomy. second ed. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA, 363–375.
- Bouza ME. 2014. Estudio del proceso de erosión eólica en el SO bonaerense. Validación de un modelo predictivo. Tesis de Magister en Ciencias Agrarias. Depto. de Agronomía, Universidad Nacional del Sur.
- Buckman, HO & NC Brady. 1966. Naturaleza y propiedades de los suelos. Ed. Montaner y Simón. Barcelona, España.
- Cavallaro A. 2015. Levantamiento de suelos a escala detallada (1:10000) del lote 12 establecimiento “La Alicia”. Trabajo de intensificación para optar al grado de Ingeniero Agrónomo. Depto. de Agronomía, Universidad Nacional del Sur. 72 p.
- Clark, L; D. Gowing; R. Lark; P. Leeds-harrison; A. Miller; D. Wells; W. Whalley & A. Whitmore. 2005. Sensing the physical and nutritional status of the root environment in the field: a review of progress and opportunities. J. Agric. Sci. 143: 347–358.
- Conti V & F Moreyra. 2019. Red Nacional de cebada cervecera: Bordenave-Campaña 2018. Disponible en: <https://inta.gob.ar/documentos/red-nacional-de-cebada-cervecera-bordenave-campana-2018>
- Cruz S. 2012. Metodología para el diseño de prácticas estructurales para el control de la erosión hídrica en un lote del campo Napostá. Trabajo de intensificación para optar al grado de Ingeniero Agrónomo. Depto. de Agronomía, Universidad Nacional del Sur. 47 p
- Czarnes, S; P. hallett; A. Bengough & I. young. 2000. Root- and microbial-derived mucilages affect soil structure and water transport. Eur. J. Soil Sci. 51: 435–443.
- De Lucia M.P., M.E. Bouza, N.E., Echeverría & J.C. Silenzi. 2017. Utilización de horno microondas para determinación de humedad del suelo. III Jornadas Nacionales De Suelos De Ambientes Semiáridos y II Taller Nacional De Cartografía Digital. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca, Buenos Aires
- De Lucia MP; Bouza ME; Silenzi JC & Echeverría NE. 2018. Producción de verdeos estivales en ambientes contrastantes del sudoeste bonaerense. Actas XXVI

- Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Tucumán 2018. Libro digital. ISBN 978-987-46870-0-5
- Derpsch, R; T. Friedrich; A. Kassam & H. Li. 2010. Current Status of Adoption of No-Till Farming in the World and Some of Its Main Benefits. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 3(1).
- Dexter, A.R; E.A. Czyz; G. Richard & A. Reszkowska. 2008. A user-friendly water retention function that takes account of the textural and structural pore spaces in soil. *Geoderma* 143: 243–253.
- Di Rienzo, J.A; F. Casanoves; M.G. Balzarini; L. González; M. Tablada & C.W. Robledo. 2012. InfoStat, versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Donnari M & Torre L. 1974. Análisis de algunos aspectos del clima de Bahía Blanca. Departamento de Geografía, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. 32 p.
- Doran, JW & TB Parkin. 1996. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: JW Doran & AJ Jones (eds) *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA Special Publication N° 49. Pp. 25-37. Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA.
- Duval, ME; J Galantini; J Iglesias & H Krüger. 2013. El cultivo de trigo en la región semiárida bonaerense: impacto sobre algunas propiedades químicas del suelo. *RIA* vol. 39 N°2, 178-184.
- Echeverría NE & Silenzi JC. 2005. Barbecho. *Rev. Asociación de Ganaderos y Agricultores*. Nov/dic. Año 4. N°30
- FAO.2014. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/ca/es/6c.html>
- Ferrari, D; O. Pozzol & H. Ferrari 2008. Desarrollo de software para estimación de cobertura vegetal. VII Congreso latinoamericano y del caribe de Ingeniería Agrícola. V Congreso Internacional de Ingeniería Agrícola. 58 p.
- Frasier, I., E. Noellemeyer., R. Fernández. & A. Quiroga. 2016 a. Direct field method for root biomass quantification in agroecosystems. *MethodsX* 3, 513–519.
- Frasier, I., M.F. Gómez., J. del Río., R. Noellemeyer. & A. Quiroga. 2016 b. Variación temporal de la abundancia y distribución de raíces de centeno como cultivo de cobertura. III jornadas Nacionales de Suelos de Ambientes Semiáridos y II Taller de Cartografía Digital. Asociación Argentina de la Ciencia del suelo.
- Galantini J.A.1994. Modelos de simulación de la dinámica de la Materia Orgánica en suelos de la región semiárida bonaerense. Tesis de Magister en Ciencias Agrarias, UNS. Bahía Blanca, Argentina. 72 p.
- Gvozdenovich J. & O. Paparotti O. 2009. Relación entre el agua edáfica a la siembra y el rendimiento del cultivo de Trigo en diferentes departamentos de la provincia de Entre Ríos. Estación Experimental Agropecuaria Paraná.
- 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 pp.
- Kent, F.2019. Forrajeras cultivadas anuales y perennes más difundidas en la provincia de La Pampa. Ediciones INTA. La Pampa. 47-52 p.
- Klingebiel, A.A & P.H. Montgomery. 1961. *Land Capability Classification*, USDA Agriculture Handbook No. 210. Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture, Washington, DC. 1-3 p.
- Krüger, H; F. Frolla & J. Zilio. 2018. Profundidad efectiva del suelo y rendimientos de trigo en el sudoeste bonaerense. *Actas del XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*.

- Lal, R. 2010. Enhancing eco-efficiency in agro-ecosystems through soil carbon sequestration. *Crop Sci.* 50: S120-S131.
- López F.M, Duval M.E, Martínez J.M & Galantini J.A. 2015. Cobertura en el sudoeste bonaerense en suelos bajo siembra directa. *Asociación Argentina Ciencia del Suelo.* 33(2): 273-281.
- MAGyP. 2019. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación Argentina. Estimaciones agrícolas. Disponible en: <https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/estimaciones/>
- Martínez, J.M; M Landriscini, J Galantini; M Duval & C Cerda.2012. Predicción del rendimiento en trigo mediante la utilización del índice de verdor. XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Trabajo completo en CD-ROM. 16 al 20 de abril. Mar del Plata, Argentina.
- Miralles DJ., González FG., Abeledo LG., Serrago RA., Alzueta I., García GA., de San Caledonio RP. & LoValvo P. 2014. Manual de trigo y cebada para elConoSur: procesos fisiológicos y bases de manejo. - 1a ed. - Buenos Aires: Orientación Gráfica Editora, 2014. 56 p. ISBN 978-987-1922-07-9
- Miranda W, Scianca C, Barraco M, Álvarez C & Lardone A. 2012. Cultivos de cobertura: dinámica del agua luego de dos momentos de secado. *Actas del XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.* ISBN: 978-987-1829-11-8
- Mormeneo I. 2003. Caracterización climática de Bahía Blanca. Cátedra de Agrometeorología. Depto. de Agronomía, Universidad Nacional del Sur. Disponible en: www.criba.edu.ar/meteoro/climatologia.htm
- Mulla DJ & McBratney A.B. 2002. Soil Spatial Variability. p. 343-373. In: A.W. Warrick (Editor) *Soil Physics companion.* CRS Press, Boca Raton, FL.
- Quiroga A, Funaro D & Ormeño O. 2003. Aspectos del manejo del agua del suelo para el cultivo de trigo. En *Trigo actualización 2003*, INTA Anguil, Bol Téc. 76:33-44 p.
- Quiroga A, Funaro D, Fernandez R & Noellemeyer E.2005. Factores edáficos y de manejo que condicionan la eficiencia de barbecho en la región pampeana. *Cl. Suelo (Argentina).* 23(1):79-86 p
- Quiroga, A. 2004. Aspectos del manejo del agua y lafertilidadenmolisoles de la región semiárida pampeana.
- Quiroga, A. 2012. Avances de la agricultura por ambientes en la región semiárida pampeana. Aspectos del manejo por ambientes. Necesidad de reconocer, jerarquizar y categorizar factores que afectan la producción y sustentabilidad. Editorial INTA. Pág. 5-9.
- Reeves, D.W. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Till. Res.* 43: 131-167 p.
- Richards L.A. 1948. Porous plate apparatus for measuring moisture retention and transmission by soil. *Soil Science* 66(2):105-110
- Sainz Rozas H.R; H.E. Echeverria & H.P. Angelini. 2011. Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de las regiones pampeanas y extra pampeana argentina. *Ciencia del Suelo* 29 (1): 29-37 p.
- Schmidt, ES & N.M. Amiotti. 2015. Propiedades edáficas superficiales en sistemas de agricultura de conservación en la región pampeana semiárida sur. *Ciencia del Suelo* 33 (1): 79-88 p.
- Servicio Meteorológico Nacional.2020. Boletín Agrometeorológico Mensual. Disponible en: <http://repositorio.smn.gob.ar/handle/20.500.12160/376>

- Silenzi J.C; C.A. Puricelli; N.E. Echevarría; T. Grossi & A.G. 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.
- Six, J; R.T. Conant; E.A. Paul & K. Paustian. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for Csaturation of soils. *Plant and Soil* 241: 155-176 p.
- Soil Survey Staff. 2014. *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys* (2nd ed.), Agriculture Handbook vol. 436, United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service, Washington, DC, USA.
- Taboada, M.A & S.N. Micucci. 2008. Aireación del suelo: parámetros e influencia sobre los cultivos. En: Taboada MA y CR Álvarez (eds) *Fertilidad Física de los Suelos* 2 da edn.126-130 p. Facultad Agronomía (UBA).
- Terra JA, Shaw JN, Reeves DW, Raper RL, van Santen E., Schwab E.B. & Mask PL. 2006. Soil Management and Landscape Variability Affects Field-Scale Cotton Productivity. *Soil Science Society of America Journal* 70: 98-107.
- Topp, G.C; W.D. Reynolds; F.J. Cook; J.M. Kirby & M.R. Carter. 1997. Physical attributes of soil quality. In Gregorich E.G; M.R. Carter (Eds.) *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health*. In: *Developments in Soil Science*, vol. 25. Elsevier, New York. 21-58 p.
- USDA.1993. Soil Survey Division Staff. *Soil Survey manual 1993*. Chapter 3, selected chemical properties. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18
- Walkley, A & I.A Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37:29-38 p.
- Wehrhane, I.2018. Red Nacional de cebada cervecera: Barrow-Campaña 2018. Disponible en: <https://inta.gob.ar/documentos/red-nacional-de-cebada-cervecera-barrow-campana-2018>
- Zamora, M. 2001. Comportamiento de Trigo y Cebada Cervecera ante condiciones de estrés hídrico. Página Web CHEI Barrow.
- Zilio, J.2015. Aspectos de calidad de suelos representativos del sur de la provincia de Buenos Aires y efectos de la actividad agropecuaria sobre la misma. Tesis de Magister en Ciencias Agrarias. Depto. de Agronomía, Universidad Nacional del Sur.

6. ANEXO

Tabla A1. Análisis estadístico para la variable DA según ambientes y antecesores.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DA	72	0,17	0,02	9,92

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,16	11	0,01	1,12	0,3659
AMB	0,13	2	0,07	20,23	0,0022
AMB>REP	0,02	6	3,20E-03	0,24	0,9606
ANT	1,00E-03	1	1,00E-03	0,08	0,7851
ANT*AMB	0,01	2	0,01	0,47	0,629
Error	0,8	60	0,01		
Total	0,97	71			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,04024

Error: 0,0032 gl:

6

AMB	Medias	n	E.E.	
Ca	1,11	24	0,01	A
Lo	1,18	24	0,01	B
La	1,21	24	0,01	B

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,05457

Error: 0,0134 gl:

60

ANT	Medias	n	E.E.	
SO	1,16	36	0,02	A
MI	1,17	36	0,02	A

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

Tabla A2. Análisis estadístico para la variable EHB (%) entre ambientes y antecesores.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EHB %	6	0,68	0,46	35,33

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	316,09	2	158,04	3,15	0,1835
Ambiente	316,09	2	158,04	3,15	0,1835
Error	150,73	3	50,24		
Total	466,81	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=22,55770

Error: 50,2421 gl: 3

Ambiente	Medias	n	E.E.
LO	10,38	2	5,01
CA	21,94	2	5,01
LA	27,86	2	5,01

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

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EHB %	6	0,21	0,01	48,01

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	95,71	1	95,71	1,03	0,3672
Antecesor	95,71	1	95,71	1,03	0,3672
Error	371,1	4	92,78		
Total	466,81	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=21,83529

Error: 92,7751 gl: 4

Antecesor	Medias	n	E.E.
Sorgo	16,07	3	5,56
Mijo	24,05	3	5,56

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

Tabla A3. Análisis estadístico de la distribución de poros en las diferentes profundidades.

Análisis de la varianza					
PROF	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
5	Pf 0	6	0,61	0,35	4,49
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	25,69	2	12,85	2,32	0,246
AMB	25,69	2	12,85	2,32	0,246
Error	16,61	3	5,54		
Total	42,3	5			
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=7,48721 Error: 5,5350 gl: 3					
AMB	Medias	n	E.E.		
La	50,45	2	1,66	A	
Lo	51,6	2	1,66	A	
Ca	55,3	2	1,66	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					
PROF	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
5	PF 0-PF1,8	6	0,6	0,33	18,42
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	30,61	2	15,31	2,25	0,2527
AMB	30,61	2	15,31	2,25	0,2527
Error	20,39	3	6,8		
Total	51	5			
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=8,29575 Error: 6,7950 gl: 3					
AMB	Medias	n	E.E.		
Lo	11,15	2	1,84	A	
Ca	14,7	2	1,84	A	
La	16,6	2	1,84	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					
PROF	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
5	pF1,8-pF2,5	6	0,87	0,78	24,55
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	21,33	2	10,67	10,03	0,0469
AMB	21,33	2	10,67	10,03	0,0469
Error	3,19	3	1,06		
Total	24,52	5			
Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3,28168 Error: 1,0633 gl: 3					
AMB	Medias	n	E.E.		
Lo	2,25	2	0,73	A	

Ca	3,6	2	0,73	A	B
La	6,75	2	0,73		B

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

PROF	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
5	Pf 2,5- Pf 4,2	6	0,8	0,67	10,69

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	72,64	2	36,32	6,05	0,0885
AMB	72,64	2	36,32	6,05	0,0885
Error	18,01	3	6		
Total	90,65	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05

DMS=7,79645

Error: 6,0017 gl: 3

AMB	Medias	n	E.E.
La	18	2	1,73
Ca	25,2	2	1,73
Lo	25,55	2	1,73

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

PROF	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
5	< pF4,2	6	0,56	0,26	16,7

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	13,3	2	6,65	1,9	0,2936
AMB	13,3	2	6,65	1,9	0,2936
Error	10,53	3	3,51		
Total	23,83	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05

DMS=5,96089

Error: 3,5083 gl: 3

AMB	Medias	n	E.E.
La	9,15	2	1,32
Ca	11,9	2	1,32
Lo	12,6	2	1,32

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

PROF	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
10	Pf 0	6	0,85	0,75	2

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	15,84	2	7,92	8,4	0,059
AMB	15,84	2	7,92	8,4	0,059
Error	2,83	3	0,94		
Total	18,67	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05

DMS=3,09096

Error: 0,9433 gl: 3

AMB	Medias	n	E.E.
La	47	2	0,69

Lo	48,05	2	0,69	A	B
Ca	50,85	2	0,69		B

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

PROF	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
10	PF 0-PF1,8	6	0,36	0	19,09

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8,56	2	4,28	0,84	0,5136
AMB	8,56	2	4,28	0,84	0,5136
Error	15,31	3	5,1		
Total	23,87	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05

DMS=7,18932

Error: 5,1033 gl: 3

AMB	Medias	n	E.E.	
Lo	10,6	2	1,6	A
Ca	11,45	2	1,6	A
La	13,45	2	1,6	A

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

PROF	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
10	pF1,8-pF2,5	6	0,96	0,93	8,04

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	18,5	2	9,25	36,28	0,0079
AMB	18,5	2	9,25	36,28	0,0079
Error	0,76	3	0,25		
Total	19,27	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05

DMS=1,60706

Error: 0,2550 gl: 3

AMB	Medias	n	E.E.	
Lo	4,35	2	0,36	A
Ca	5,9	2	0,36	A
La	8,6	2	0,36	B

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

PROF	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
10	Pf 2,5- Pf 4,2	6	0,84	0,73	9,94

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	56,91	2	28,46	7,73	0,0656
AMB	56,91	2	28,46	7,73	0,0656
Error	11,05	3	3,68		
Total	67,96	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05

DMS=6,10775

Error: 3,6833 gl: 3

AMB	Medias	n	E.E.		
La	15	2	1,36	A	
Lo	20,85	2	1,36	A	B
Ca	22,05	2	1,36		B

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

PROF	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
10	< pF4,2	6	0,35	0	17,25

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5,92	2	2,96	0,79	0,5296
AMB	5,92	2	2,96	0,79	0,5296
Error	11,23	3	3,74		
Total	17,15	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05

DMS=6,15593

Error: 3,7417 gl: 3

AMB	Medias	n	E.E.	
La	9,9	2	1,37	A
Ca	11,45	2	1,37	A
Lo	12,3	2	1,37	A

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

PROF	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
20	Pf 0	6	0,35	0	4,34

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8,33	2	4,17	0,82	0,5194
AMB	8,33	2	4,17	0,82	0,5194
Error	15,22	3	5,07		
Total	23,55	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05

DMS=7,16698

Error: 5,0717 gl: 3

AMB	Medias	n	E.E.	
Lo	51,05	2	1,59	A
La	51,05	2	1,59	A
Ca	53,55	2	1,59	A

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

PROF	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
20	PF 0-PF1,8	6	0,71	0,52	11,73

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	23,62	2	11,81	3,7	0,1547
AMB	23,62	2	11,81	3,7	0,1547
Error	9,57	3	3,19		
Total	33,19	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05

DMS=5,68254

Error: 3,1883 gl: 3

AMB	Medias	n	E.E.	
Lo	13,3	2	1,26	A
Ca	14,4	2	1,26	A
La	17,95	2	1,26	A

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

PROF	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
20	pF1,8-pF2,5	6	0,41	0,02	26,05

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7,02	2	3,51	1,06	0,4481
AMB	7,02	2	3,51	1,06	0,4481
Error	9,93	3	3,31		
Total	16,95	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05

DMS=5,78849

Error: 3,3083 gl: 3

AMB	Medias	n	E.E.	
Ca	6,05	2	1,29	A
Lo	6,4	2	1,29	A
La	8,5	2	1,29	A

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

PROF	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
20	Pf 2,5- Pf 4,2	6	0,71	0,52	10,08

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	24,81	2	12,41	3,66	0,1569
AMB	24,81	2	12,41	3,66	0,1569
Error	10,18	3	3,39		
Total	34,99	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05

DMS=5,86238

Error: 3,3933 gl: 3

AMB	Medias	n	E.E.	
La	15,4	2	1,3	A
Ca	19,5	2	1,3	A
Lo	19,9	2	1,3	A

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

PROF	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
20	< pF4,2	6	0,45	0,08	24,64

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	19,36	2	9,68	1,22	0,4088
AMB	19,36	2	9,68	1,22	0,4088

Error	23,75	3	7,92
Total	43,11	5	

Test:LSD Fisher Alfa=0,05

DMS=8,95337

Error: 7,9150 gl: 3

AMB	Medias	n	E.E.	
La	9,2	2	1,99	A
Lo	11,45	2	1,99	A
Ca	13,6	2	1,99	A

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

Tabla A4. Porcentaje de suelo cubierto para cada ambiente al momento del barbecho.

Ambiente	Antecesor	Repetición	Cobertura (%)	Promedio (%)
A1	M	1	19	22
A1	M	2	21,4	
A1	M	3	25,6	
A1	S	1	35	24
A1	S	2	13	
A1	S	3	25	
A2	M	1	19	15
A2	M	2	18	
A2	M	3	9	
A2	S	1	26	30
A2	S	2	28	
A2	S	3	35	
A3	M	1	12	11
A3	M	2	11	
A3	M	3	10	
A3	S	1	11	13
A3	S	2	16,7	
A3	S	3	11	

Tabla A5. Porcentaje de suelo cubierto para cada ambiente al momento de la siembra.

Ambiente	Antecesor	Repetición	Cobertura (%)	Promedio (%)
A1	M	1	10,6	12
A1	M	2	12	
A1	M	3	14	
A1	S	1	12,5	14
A1	S	2	11,8	
A1	S	3	17	
A2	M	1	11,3	12
A2	M	2	10	
A2	M	3	13,2	
A2	S	1	15,8	15
A2	S	2	12,5	
A2	S	3	17,4	
A3	M	1	12,6	13
A3	M	2	14	
A3	M	3	11,6	
A3	S	1	11,9	15
A3	S	2	19,1	
A3	S	3	15	

Tabla A6. Análisis estadístico de la cobertura al barbecho

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
COB	18	0,77	0,35	35,02

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	919,39	11	83,58	1,85	0,233	
AMB	475,12	2	237,56	11,63	0,0086	(AMB>REP)
AMB>REP	122,52	6	20,42	0,45	0,8221	
ANT	172,36	1	172,36	3,81	0,0988	
ANT*AMB	149,39	2	74,69	1,65	0,2684	
Error	271,46	6	45,24			
Total	1190,85	17				

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=6,38398

Error: 20,4206 gl: 6

AMB	Medias	n	E.E.	
Lo	11,95	6	1,84	A
La	22,5	6	1,84	B
Ca	23,17	6	1,84	B

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=7,75866

Error: 45,2428 gl: 6

ANT	Medias	n	E.E.	
M	16,11	9	2,24	A
S	22,3	9	2,24	A

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

Tabla A7. Análisis estadístico de la cobertura a la siembra.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Cobertura	18	0,88	0,66	10,81

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	93,85	11	8,53	4,03	0,0499
AMB	3,39	2	1,69	0,18	0,8377
AMB>REP	55,73	6	9,29	4,39	0,0474
ANT	31,21	1	31,21	14,75	0,0086
ANT*AMB	3,52	2	1,76	0,83	0,4796
Error	12,7	6	2,12		
Total	106,54	17			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=4,30553

Error: 9,2883 gl: 6

AMB	Medias	n	E.E.
Ca	12,98	6	1,24
La	13,37	6	1,24
Lo	14,03	6	1,24

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,67796

Error: 2,1161 gl: 6

ANT	Medias	n	E.E.
M	12,14	9	0,48
S	14,78	9	0,48

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

Tabla A8. Análisis estadístico de la biomasa de raíces en el barbecho, a diferentes profundidades.

Análisis de la varianza

PROF	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
20	TRB (g/m ²)	6	0,79	0,47	26,81

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	254295,74	3	84765,25	2,5	0,2982
AMB	58705,92	2	29352,96	0,87	0,5356
ANT	195589,82	1	195589,82	5,78	0,1381
Error	67695,64	2	33847,82		
Total	321991,38	5			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=791,59241

Error: 33847,8200 gl: 2

AMB	Medias	n	E.E.	
Ca	551,95	2	130,09	A
La	719,95	2	130,09	A
Lo	787,15	2	130,09	A

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=646,33250

Error: 33847,8200 gl: 2

ANT	Medias	n	E.E.	
M	505,8	3	106,22	A
S	866,9	3	106,22	A

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

PROF	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
40	TRB (g/m ²)	4	0,56	0	22,25

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7941,2	2	3970,6	0,65	0,6596
AMB	510,76	1	510,76	0,08	0,8209
ANT	7430,44	1	7430,44	1,22	0,469
Error	6115,24	1	6115,24		
Total	14056,44	3			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=993,62516

Error: 6115,2400 gl: 1

AMB	Medias	n	E.E.	
Ca	340,2	2	55,3	A
La	362,8	2	55,3	A

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=993,62516

Error: 6115,2400 gl: 1

ANT	Medias	n	E.E.	
M	308,4	2	55,3	A
S	394,6	2	55,3	A

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

PROF	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
60	TRB (g/m ²)	4	0,88	0,64	50,65

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	150416,73	2	75208,36	3,7	0,3452
AMB	94034,22	1	94034,22	4,62	0,2772
ANT	56382,5	1	56382,5	2,77	0,3444
Error	20349,02	1	20349,02		
Total	170765,75	3			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1812,54002

Error: 20349,0225 gl: 1

AMB	Medias	n	E.E.	
Ca	128,3	2	100,87	A
La	434,95	2	100,87	A

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1812,54002

Error: 20349,0225 gl: 1

ANT	Medias	n	E.E.	
S	162,9	2	100,87	A
M	400,35	2	100,87	A

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

Tabla A9. Análisis estadístico del rendimiento promedio (kg ha⁻¹) para los distintos ambientes y según antecesores.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendim (kg/ha)	18	0,87	0,62	15,03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	5360906,90	11	487355,17	3,55	0,0662	
AMB	2615123,52	2	1307561,76	4,19	0,0728	(AMB>REP)
AMB>REP	1874636,66	6	312439,44	2,28	0,1702	
ANT	4841,28	1	4841,28	0,04	0,8572	
ANT*AMB	866305,44	2	433152,72	3,15	0,1158	
Error	823819,79	6	137303,30			
Total	6184726,69	17				

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=789,66072

Error: 312439,4433 gl: 6

AMB	Medias	n	E.E.	
LO	1968,18	6	228,20	A
LA	2532,72	6	228,20	A B
CA	2894,47	6	228,20	B

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=427,41766

Error: 137303,2978 gl: 6

ANT	Medias	n	E.E.	
MI	2448,72	9	123,51	A
SO	2481,52	9	123,51	A

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