

**Trabajo de Intensificación del ciclo profesional de la carrera Ingeniería
Agronómica**

**Influencia del ambiente edáfico-topográfico sobre la
eficiencia de uso del agua y productividad de cebada
(*Hordeum vulgare* L.) en el sudoeste bonaerense**



Guillarmenc, Yessica

Tutor: Ing Agr. (Dr). Matías Duval

Consejero 1: Ing Agr. (Mg). Mariana Bouza

Consejero 2: Ing Agr. (Mg). 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.

Agradecimiento

A la Universidad Nacional del Sur por brindar educación de calidad, por ser pública y gratuita. Al Departamento de Agronomía por transformarse en mi segunda casa durante todos estos años de estudio y permitirme formarme como profesional.

A mi tutor Matias Duval, por ayudarme, guiarme y brindarme todos sus conocimientos para realizar este trabajo final.

A mis consejeros Mariana Bouza y Adrian Vallejos, por sus valiosas correcciones y sugerencias.

A mis amigas y amigos de la uni, los cuales comenzaron siendo compañeros y hoy después de tantas horas de cursada, mate, charlas y porqué no alguna salida al club, son grandes amigos.

A mis amigas de siempre, por acompañarme a través de los años y siempre hacer que los momentos de distracción sean muy divertidos.

A mi novio Juani, por ser mi gran compañero, por apoyarme y siempre alentarme.

A mis abuelos, los que siempre van a estar conmigo más allá de todo, los que marcaron un sello en mí que nunca podrá ser borrado.

A mis papás, por brindarme siempre la posibilidad de estudiar una carrera universitaria, por ser el apoyo diario, el cariño infinito, la palabra amable y el empujón necesario para seguir adelante.

A mi hermana, mi persona favorita e incondicional. Sin ustedes no lo hubiera logrado, Gracias.

RESUMEN

Argentina es el mayor productor de cebada de Sudamérica, concentrándose el 90% de la producción en la provincia de Buenos Aires. En sistemas de producción de secano, las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo son la principal fuente de agua, y cuanto menor sean esas precipitaciones mayor influencia tendrá el agua acumulada en el perfil a la siembra. El objetivo del trabajo fue estudiar el efecto del ambiente edáfico sobre la eficiencia de uso del agua (EUA), producción y calidad del cultivo de cebada en el sudoeste bonaerense. Se seleccionaron 3 ambientes edáficos, Loma (Lo), Ladera (La) y Cañadón (Ca), cada ambiente presentaba dos cultivos antecesores (mijo anual -Mi- y sorgo forrajero -So-). En cada tratamiento se evaluaron parámetros edáficos (densidad aparente, agua útil, materia orgánica, pH y fósforo extraíble) y parámetros asociados a la productividad y calidad del cultivo (uso consuntivo, eficiencia del uso del agua (kg grano mm^{-1} y kg MS mm^{-1}), productividad económica del agua ($\text{\$ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), rendimiento, proteína, humedad, calibre, poder germinativo y P1000). Los mayores rendimientos se obtuvieron en el ambiente Ca con 2895 kg ha^{-1} diferenciándose significativamente del ambiente Lo el cual obtuvo el menor rendimiento, 1968 kg ha^{-1} , con valores intermedios para el ambiente La, 2532 kg ha^{-1} . Las diferencias en los rendimientos estuvieron principalmente asociadas a la profundidad efectiva y a la proporción de fracción fina (limo y arcilla), variables que condicionaron el agua útil almacenada a la siembra en cada ambiente. Los antecesores So y Mi no tuvieron impacto sobre el rendimiento y calidad del grano como así tampoco ninguno de los parámetros químicos (materia orgánica, pH y fósforo extraíble). En cuanto a la EUA, los ambientes Ca y La estuvieron dentro del rango esperado para ambientes de secano ($4,0$ a $15,8 \text{ kg mm}^{-1}$), el ambiente Lo estuvo por debajo del mismo. En cuanto a las variables de calidad, todas cumplieron con la norma de comercialización sin presentar diferencias entre ambientes edáficos.

Palabras claves: cebada, eficiencia del uso del agua, calidad, rendimiento.

Índice

1. Introducción	1
1.1 Clasificación de los cultivos de cebada.....	2
1.2 Ciclo del cultivo de cebada.....	3
1.3 Disponibilidad hídrica.....	4
1.4 Aspectos de manejo	5
1.5 Agricultura por ambientes	5
2. Objetivo	6
3. Materiales y métodos	7
3.1 Sitio experimental	7
3.1.1 Características climáticas	7
3.1.2 Características edáficas	8
3.2 Tratamientos	11
3.3 Diseño experimental y análisis estadístico.....	12
3.4 Variables edáficas evaluadas.....	12
3.4.1 Variables físicas	12
3.4.2 Variables químicas.....	14
3.5 Variables evaluadas del cultivo	15
3.5.1 Parámetros de rendimiento	15
3.5.2 Parámetros de calidad.....	17
4. Resultados y discusión	19
4.1 Distribución de las precipitaciones	19
4.2 Balance hídrico	20
4.3 Efecto de la disponibilidad hídrica sobre el rendimiento	21
4.3.1 Agua disponible	22
4.3.2 Eficiencia de uso del agua	25
4.3.2 Productividad económica del agua	26
4.4 Efecto de las variables físicas y químicas del suelo sobre el rendimiento	28
4.4.1 Variables físicas	28
4.4.2 Variables químicas.....	30
4.5 Parámetros de calidad.....	33
5. Conclusión	36

Bibliografía	38
Anexo	45
Tabla 1A: Análisis de la varianza (ANOVA) de las variables hídricas y químicas para cada profundidad.....	45
Tabla 2A: Análisis de la Varianza (ANOVA) de los parámetros del rendimiento del cultivo y calidad	46
Tabla2B: Relación entre el rendimiento y agua útil con los parámetros edáficos.....	46

1. Introducción

Dentro de los cereales, el cultivo de cebada es el cuarto del mundo por volumen de producción después del maíz, arroz y trigo (MAGyP, 2018). A nivel mundial la superficie sembrada se ubica en 57.000.000 hectáreas, con una producción de 130.000.000 toneladas y por lo tanto el rendimiento promedio es de 2.300 kg ha⁻¹.

En Sudamérica, Argentina es el mayor productor de cebada, especializándose en cebada cervecera; la Figura 1 muestra la evolución en toneladas cosechadas y superficie sembrada lo cual evidencia un crecimiento notable y sostenido desde la década del 80. A nivel nacional actualmente la superficie sembrada se encuentra cercana al millón de hectáreas, con una producción total de 4.000.000 de toneladas, esto nos da como resultado un rendimiento promedio cercano a los 4.000 kg ha⁻¹.

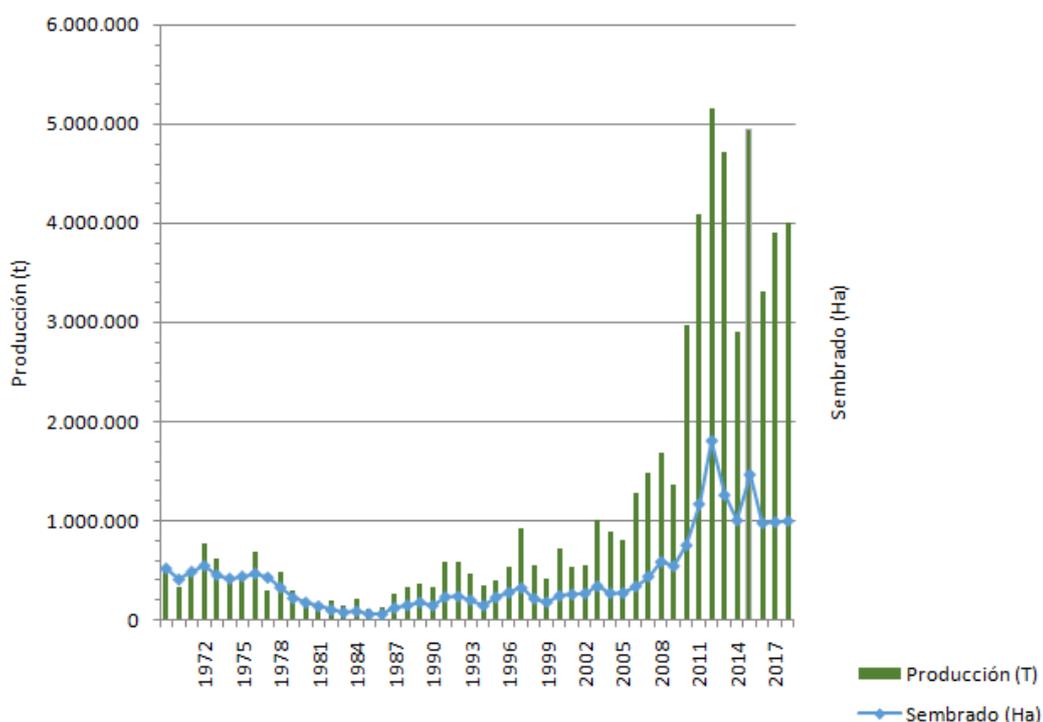


Figura 1: Evolución de las toneladas cosechadas y de la superficie sembrada de cebada cervecera. Fuente: elaboración propia en base a datos de MAGyP (1970-2018).

En la Figura 2 se muestra la participación porcentual de cada provincia en la producción de cebada, donde se estima que más del 90% de la producción se ubica dentro del territorio de la provincia de Buenos Aires, aportando el resto las provincias de La Pampa, Córdoba y Santa Fe. Este índice sumamente alto se cree que puede estar influenciado por la localización de la

industria maltera, las áreas de mejoramiento genético y los puertos de exportación. Es importante destacar que el 80% de la producción nacional de cebada tiene destino exportación, ya sea como malta o cebada cruda, aquí la importancia de la cercanía al puerto.

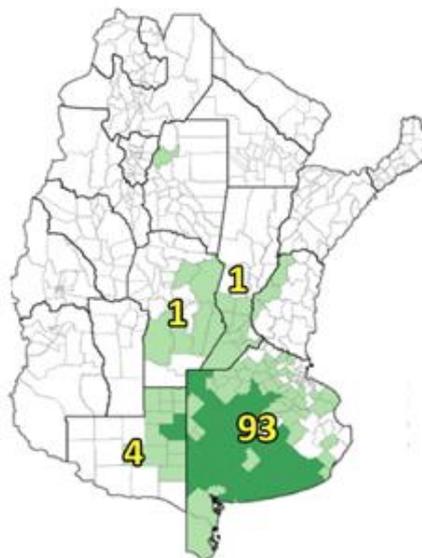


Figura 2: Porcentaje de participación, indicado con los números en amarillo, de las provincias productoras de cebada en la República Argentina (2016-2019). Fuente: Bolsa de Cereales de Rosario (2019).

Es posible distinguir tres grandes áreas productoras dentro de la provincia de Buenos Aires, Centro-Norte de Buenos Aires que aporta alrededor del 56% del total, Sudeste de Buenos Aires con un 35% aproximadamente y Sudoeste-Oeste de Buenos Aires con una participación estimada del 15%. De esta forma se puede observar en la Figura 2 que las localidades coloreadas con verde oscuro son las que tienen mayor porcentaje de participación y las coloreadas con verde claro son las que tienen menor porcentaje de participación en la producción de cebada.

1.1 Clasificación de los cultivos de cebada

Los cultivos de cebada se pueden clasificar en base a diferentes parámetros:

Según la **morfología**: de acuerdo al arreglo de los granos en la espiga se clasifican en cebadas de *dos hileras* y de *seis hileras*. Las espigas de 2 hileras tienen dos hileras paralelas de granos maduros, mientras que las de 6 hileras tienen seis hileras de granos maduros.

Pueden clasificarse según los requerimientos de **vernalización**, existiendo del tipo invernal o primaveral. La denominación de “variedades de invierno” se ha considerado sinónimo de variedades que requieren vernalización (período de acumulación de horas de frío necesarias para que el cultivo pueda llevar a cabo normalmente su desarrollo), además suelen

experimentar una aceleración del desarrollo en los días largos y tienen resistencia a daños por heladas. En Argentina se utilizan las que se denominan de invierno, realizándose la siembra en junio-julio y la cosecha en diciembre. Por último, según su **destino final** se clasifican en: *producción de malta* (cerveceras), *producción de forrajes* (forrajeras) y *alimentación humana*.

El mejoramiento genético de la cebada esta principalmente enfocado hacia la producción de cebada cervecera, con dos grandes objetivos, aumentar el rendimiento en grano por unidad de superficie y obtener granos que cumplan con los requisitos de calidad comercial e industrial. Estos requisitos se definen en base a la elaboración de cerveza, principal destino industrial en nuestro país. Si hablamos de calidad comercial, nos referimos a parámetros tales como capacidad germinativa, calibre de grano y contenido de proteína, parámetros que están presentes en la norma de Calidad y Comercialización de Cebada (Resolución N° 27/2013).

1.2 Ciclo del cultivo de cebada

El ciclo ontogénico del cultivo puede dividirse en 3 grandes etapas: (i) **vegetativa** (ii) **reproductiva** y (iii) **llenado de grano**.

La etapa **vegetativa** abarca el período desde la siembra del cultivo hasta el comienzo de la iniciación floral (Figura 3). Cuando ocurre el comienzo de la iniciación floral se detiene la producción de macollos, vinculado a un cambio en el destino de los asimilados dentro de la planta, ya que estos son derivados hacia el tallo como destino principal durante la fase de elongación del mismo. El momento en el que ocurre el cambio verdadero de vegetativo a reproductivo puede ser caracterizado mediante el cambio en la tasa de diferenciación de órganos vegetativos y reproductivos (espiguillas) (Miralles & Richards, 2000), debido a que la tasa de diferenciación de espiguillas es mayor a la tasa de diferenciación de hojas.

Una vez iniciada la etapa **reproductiva**, comienza la diferenciación de espiguillas dentro del meristema ocurriendo desde la base hacia el ápice. Esta diferenciación es de tipo indeterminada, es decir que es una especie que se caracteriza por no tener espiguilla terminal. El cese de la diferenciación puede identificarse cuando comienza la elongación de las aristas de las espiguillas más desarrolladas dentro de la espiga (García del Moral *et al.*, 1991). Una vez emergida la hoja bandera el cultivo alcanza su máximo índice de área foliar (IAF) y se dice que el mismo alcanzó el estado de bota o vaina engrosada. En este momento se puede ver la espiga ubicada a la altura de la vaina de la última hoja aparecida. Las flores que se encuentran en la espiga han alcanzado el estado fértil (Waddington *et al.*, 1983) encontrándose completamente desarrolladas para ser

polinizadas. La fecundación es de tipo cleistógama, es decir que ocurre en general cuando la espiga se encuentra aún dentro de la vaina de la hoja bandera. Desde el punto de vista de los componentes del rendimiento, en este momento queda definido el número de espigas fértiles por unidad de área y el número de flores fértiles por espiga.

Luego comienza la tercera etapa, el período de **llenado de granos** (Figura 3). En su fase inicial se produce el cuaje de las flores a granos y queda definido el número de granos por espiga, aquí es donde se produce la multiplicación de las células endospermáticas, denominada fase *lag*. Luego comienza la etapa de llenado efectivo de los granos, durante la cual se reconocen a su vez diferentes estados de los granos en crecimiento, grano lechoso, grano pastoso y grano duro post madurez fisiológica.

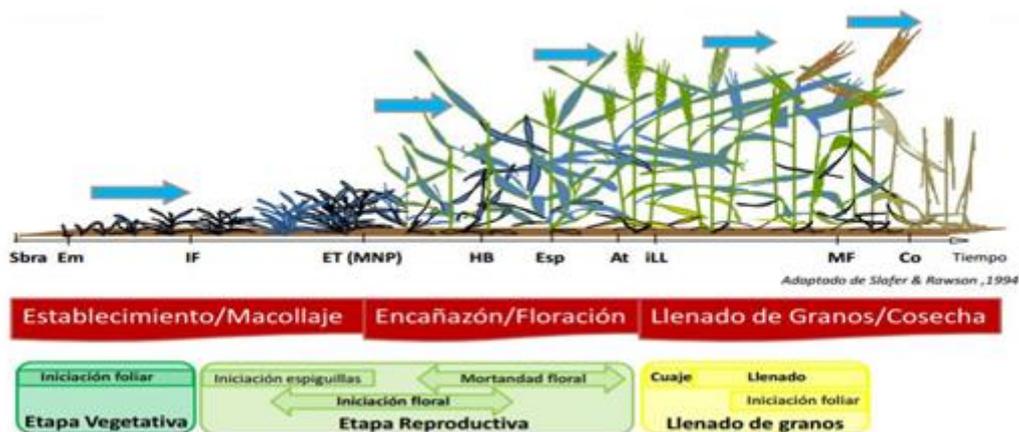


Figura 3: Etapas del ciclo del cultivo y generación del rendimiento del cultivo de cebada. Fuente: Slafer & Rawson, (1994).

1.3 Disponibilidad hídrica

La elección de la fecha de siembra condiciona la disponibilidad hídrica (y más precisamente la evapotranspiración potencial) a la cual queda expuesto el cultivo durante su estación de crecimiento, así como también las precipitaciones acumuladas durante el período de barbecho. Los déficits hídricos durante el establecimiento del cultivo (siembra-emergencia) y en particular durante el período crítico de definición del número de granos, origina las mayores mermas en el rendimiento (Acevedo & Fereres, 1993). En sistemas de producción de secano, las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo son la principal fuente de agua para el mismo, y cuanto menor sean esas precipitaciones, mayor será el impacto del agua acumulada en el perfil del suelo a la siembra (Moeller *et al.*, 2009; Anderson, 2010). La diferencia entre

genotipos en la longitud del ciclo condiciona la magnitud de esta respuesta; en regiones o años con adecuada disponibilidad hídrica, a igual fecha de floración, a mayor longitud del ciclo, mayor rendimiento (Savin *et al.*, 1995); sin embargo, en años o sitios con condiciones hídricas restrictivas un ciclo más corto presentaría ventajas competitivas por sobre un cultivo de ciclo más largo (López-Castañeda & Richards, 1994; Savin, 1995).

1.4 Aspectos de manejo

En cuanto al efecto del manejo del suelo se sabe que las labranzas conservacionistas y sobre todo la siembra directa (SD), asociada a un adecuado manejo de residuos mejoran la infiltración y el almacenaje del agua (Beare *et al.*, 1994; Quiroga *et al.*, 2009) minimizando las pérdidas por evaporación (Blum, 2009). La disponibilidad de agua es el principal factor condicionante y las prácticas de manejo en regiones semiáridas se han orientado a mejorar su eficiencia de uso (EUA). El correcto manejo de nutrientes aumenta la EUA de los cultivos (Hatfield *et al.*, 1996; Wang *et al.*, 2010) como también lo hace el manejo del barbecho, la cobertura y el control de malezas durante este período (Aboudrare *et al.*, 2006; Fernandez *et al.*, 2008). La rotación de cultivos es otra característica importante en los sistemas de producción sustentables ya que facilita el manejo de malezas, enfermedades y fertilidad del suelo. Además, permite estratificar el uso del agua y nutrientes del suelo a través de diferentes profundidades efectiva de raíces y mejorar la EUA de los cultivos (Copeland *et al.*, 1993; Anderson *et al.*, 2003; Moroke *et al.*, 2005). Asimismo, la diversificación, en regiones semiáridas, es otra forma de disminuir el riesgo económico (Quiroga, 2001). Otro enfoque sobre la productividad de los cultivos y su EUA, es considerar el valor económico de la producción en vez de comparar solamente los rendimientos. Varios autores señalan la necesidad de aumentar la productividad económica del agua, definida como el valor recibido por unidad de agua utilizada (\$/mm) (Ali & Talukder, 2008; Molden *et al.*, 2009; Aldaya *et al.*, 2010). Este objetivo puede lograrse ya sea por un incremento en la productividad física del agua que lleve a producir más kilogramos de grano por milímetro de lluvia como por la producción de cultivos de mayor valor económico.

1.5 Agricultura por ambientes

En la región subhúmeda y semiárida pampeana, además del factor climático, la productividad de los cultivos está habitualmente vinculada a atributos edáficos estables, especialmente composición granulométrica (textura) y espesor del perfil, que regulan la acumulación y dinámica del agua (Terra *et al.*, 2006). En regiones donde la calidad de los suelos presenta

grandes variaciones en escalas espaciales a nivel de lote, las condiciones agro-ecológicas imponen diferentes grados de limitaciones modificando la cantidad y calidad de grano producido (Mulla & McBratney, 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. El desafío de hacer más eficientes los sistemas mixtos de regiones semiáridas-subhúmedas implica adecuar los recursos y prácticas agronómicas a los requerimientos de los cultivos y aptitud de los suelos (Quiroga, 2012).

Con este trabajo lo que se quiere mostrar es que existen actualmente muchas herramientas tecnológicas que permiten en una zona semiárida-subhúmeda realizar un cultivo de invierno teniendo en cuenta la conservación de los suelos, ya sea mediante sistema de siembra directa como también con planteos de rotaciones que mejoren la fertilidad, cobertura y estructura del suelo. Todo este manejo se podría realizar teniendo en cuenta los ambientes edáficos presentes en el lote, lo cual resultaría beneficioso ya sea para lograr una correcta conservación de los suelos como también para obtener beneficios económicos.

2. Objetivo

El objetivo del trabajo fue estudiar el efecto del ambiente edáfico y del cultivo antecesor, sobre la eficiencia de uso del agua (EUA), producción y calidad del cultivo de cebada en el sudoeste de Buenos Aires. De esta manera se pretende discriminar aquellos parámetros físico y químicos del suelo más influyentes en las variaciones del rendimiento.

3. Materiales y métodos

3.1 Sitio experimental

El ensayo se llevó a cabo en el Establecimiento Napostá perteneciente al Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur, que posee una superficie total de 711 ha. Se localiza dentro del partido de Bahía Blanca al norte de la misma, a la altura del km 35 sobre la Ruta Nacional N° 33, lindante al partido de Tornquist (Figura 4). Se sitúa en las coordenadas 38° 25' 30" latitud Sur y 62° 17' 15" longitud Oeste. El predio se ubica en el Nivel de planación general del Dominio Morfoestructural del Positivo de Ventania (Gonzalez Uriarte, 1984).

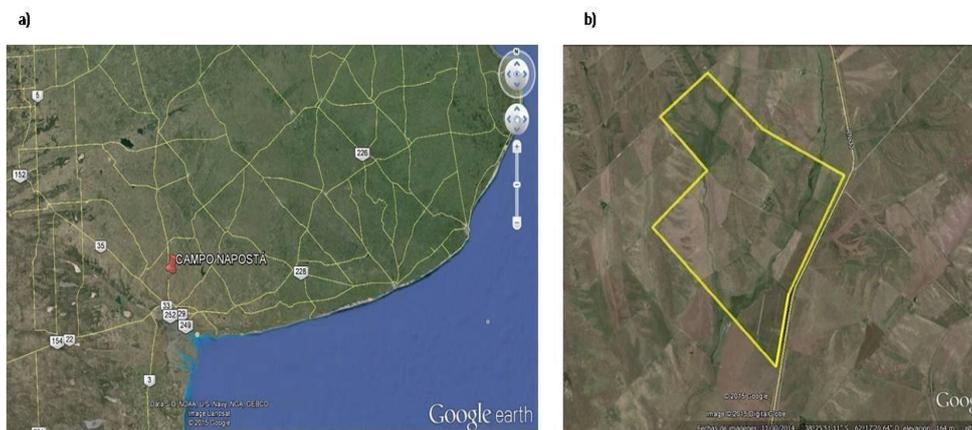


Figura 4: a) Ubicación geográfica del establecimiento Napostá en el SO bonaerense y b) Delimitación del establecimiento.

3.1.1 Características climáticas

El sitio de estudio se encuentra en la región conocida como Sudoeste Bonaerense caracterizada por un clima de tipo semiárido templado o de transición, con un régimen térmico que responde al clima continental, pero atenuado por la influencia marítima (Scian, 2010).

La temperatura media anual es de 15,4°C, la temperatura media del mes más cálido, la cual ocurre en el mes de enero es de 23,3°C y la del mes más frío, la cual ocurre en julio es de 8,2°C. El número medio de días con heladas es de 35, los meses con mayor frecuencia de heladas son junio, julio y agosto. 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 la última el 8 de octubre, con una variación de ± 23 días (Donnari & Torre, 1974).

La precipitación anual media histórica de Bahía Blanca (Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, Estadísticas climáticas) estimada desde el año 1978 hasta 2018 es de 651 mm concentrándose en el otoño, en el mes de marzo principalmente, y en la primavera, con su punto máximo en el mes de octubre. En los meses de invierno se observa un marcado descenso de las precipitaciones. La característica distintiva para el sudoeste bonaerense es la variabilidad intra e interanual de las precipitaciones, con sequías alternando con períodos de adecuadas y aún excesivas lluvias. Considerar este aspecto es de fundamental importancia para una correcta planificación de las actividades productivas en la región, a fin de realizar acciones agronómicas que puedan mitigar los impactos negativos por fluctuaciones climáticas (Mormeneo, 2002).

Los vientos dominantes provienen del N-NW, siendo la estación más ventosa el verano con una velocidad media de viento de 24 km h^{-1} . En el trimestre abril-mayo-junio se registran las menores velocidades, acercándose a la categoría de vientos leves.

3.1.2 Características edáficas

En el mapa de ambientes del establecimiento Napostá (Figura 5) se presentan como unidades cartográficas una consociación (Cañadones), tres complejos (Lomadas, Laderas y Llanura de inundación) y un área con tierras de baja productividad (tosca en superficie o a una profundidad menor a 15 cm), denominadas "crestas".

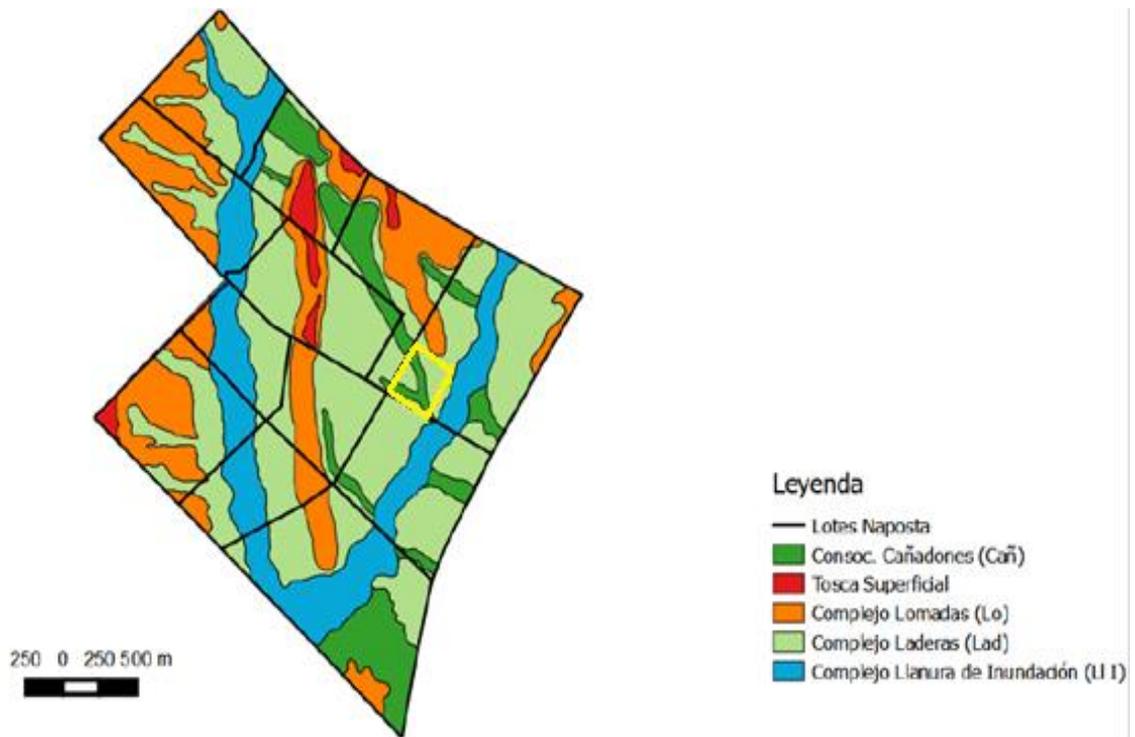


Figura 5: Mapa de ambientes de Napostá. El lote que se utilizó para el ensayo es el que se encuentra delimitado con color amarillo.

El lote en el que se desarrolló el ensayo incluye dentro de las unidades cartográficas Consociación Cañadones (Cañ) y Complejo Laderas (Lad), el mismo tiene una superficie de 18 ha. La unidad cartográfica Cañadones es la que se puede observar delimitada de color violeta y Laderas es el componente mayoritario del lote abarcando toda la superficie restante (Figura 6).



Figura 6: Imagen de Google Earth del lote del ensayo, delimitando ambientes.

Tipo de Unidad Cartográfica: Consociación Cañadones (Cañ).

Contenido pedológico:

1. Serie Cañadones: Haplustol páquico, franco grueso, mixto, térmico (Figura 7).

Inclusiones: Serie Aguaviva.

Los suelos de esta unidad presentan el mayor grado de evolución pedogenética observada en el predio. Son suelos ubicados en planos bajos o antiguos valles colmatados, profundos, desarrollados sobre sedimentos loessoides de textura franca, con morfología A-AC-C-Ck. El horizonte petrocálcico está ausente en la mayoría de los casos. Los horizontes A presentan estructuras granular, moderada, con buena fertilidad física y química. El engrosamiento del horizonte superficial es común en esta geoforma.

Clasificación por Capacidad de Uso: IIIe. Presenta limitaciones leves por susceptibilidad a la erosión hídrica (gradiente del 2%) y las condiciones climáticas desfavorables.

Índice de Productividad: Serie Cañadones: 0,52. Promedio de la UC: 0,48 (considerando inclusiones).



Figura 7: Fotografía del perfil de suelo perteneciente a la Serie Cañadones, Haplustol páquico, franco grueso, mixto, térmico.

Tipo de Unidad cartográfica: Complejo Laderas (Lad).

Contenido pedológico:

1. Serie Napostá: Paleustol petrocálcico, franco grueso, mixto, térmico (60 % de la unidad) (Figura 8a).
2. Serie Aguaviva: Haplustol típico, franco grueso, mixto, térmico (40 % de la unidad) (Figura 8b).

Inclusiones: Serie Crestas; Serie La Alicia; áreas reducidas donde se observan tosca en superficie. Algunos sectores en pendiente presentan signos de erosión, siendo no aptos para labranza: Estas áreas no se presentan cartografiadas debido a su reducido tamaño (menor a 1,6 ha).

Estos suelos son moderadamente profundos a profundos (> 50 a 100 cm), desarrollados sobre materiales parentales eólicos franco arenosos. Incipiente a moderada evolución pedológica: los horizontes A han perdido el CaCO_3 , desarrollo de estructura débil a moderada, baja retención de humedad y baja fertilidad física y química.

Clasificación por Capacidad de Uso: La unidad clasifica como IVes. Sus limitantes son la susceptibilidad a la erosión eólica, y la limitada capacidad de retención hídrica debido a su textura gruesa. También es altamente susceptible a la erosión hídrica debido a su pendiente moderadamente inclinada (5-6 %) y las condiciones climáticas desfavorables.

Índice de Productividad: Serie Napostá: 0,35; Serie Aguaviva: 0,41. Promedio de la UC: 0,37.



Figura 8: Fotografía del perfil de suelos perteneciente a: a) Serie Napostá, Paleustol petrocálcico, franco grueso, mixto, térmico; b) Serie Aguaviva Haplustol típico, franco grueso, mixto, térmico.

3.2 Tratamientos

El ensayo se realizó durante la campaña 2018-2019, se seleccionaron 3 ambientes edáficos contrastantes: Loma (Lo), Ladera (La) y Cañadón (Ca). Dichos ambientes edáficos-topográficos contrastantes fueron ubicados en el lote utilizando imágenes satelitales y levantamiento de suelos a escala 1:20000. Los puntos de observación fueron cargados a un GPS Garmin E-Trex para su posterior seguimiento. A su vez, cada ambiente presentaba dos cultivos antecesores diferentes: mijo anual (*Panicum milliaceaun*) (Mi) y sorgo forrajero (*Sorghum vulgare*) (So).

Previo a la siembra del cultivo de cebada (*Hordeum vulgare* L.) se realizó un barbecho que abarcó aproximadamente 3 meses (10/4/18 al 13/7/18). La siembra del cultivo de cebada se realizó bajo el sistema de siembra directa (SD) el 13/07/2018. El cultivar que se utilizó fue Maltería Pampa (MP 1012) con una densidad de siembra de 60 kg ha⁻¹ y un distanciamiento entre hileras de 17,5 cm.

3.3 Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue 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 cada uno (n=18).

El análisis estadístico se realizó con software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2016). Los resultados fueron analizados estadísticamente, por medio de un análisis de varianza (ANOVA) y las medias se compararon por el test de diferencias mínimas significativas de Fisher ($p < 0,05$). También se realizaron regresiones lineales simples para determinar las relaciones entre los parámetros edáficos medidos y los diferentes componentes de rendimiento del cultivo de cebada.

3.4 Variables edáficas evaluadas

Sobre cada tratamiento, se realizaron muestreos de suelo durante dos momentos dentro del período evaluado: siembra (julio) y cosecha (diciembre) del cultivo de cebada. Las determinaciones que se realizaron se pueden agrupar en dos grupos, variables físicas y químicas.

3.4.1 Variables físicas

Se tomaron muestras teniendo en cuenta ambos cultivos antecesores (sorgo y mijo) a distintas profundidades dependiendo de los ambientes desde la superficie hasta el horizonte petrocálcico. Para cada profundidad se tomó una muestra con barreno y se colocaron en bolsitas rotuladas (Figura 9). También se tomaron muestras de suelo sin disturbar mediante cilindros de 4 cm de altura y 5,65 cm de diámetro a 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 y 40-60 cm de profundidad para el cálculo de las variables físicas. En cada punto de muestreo 3 subréplicas fueron obtenidas con los cilindros, en los cuales, el material vegetal sobre la superficie del suelo fue removido antes de tomar las muestras.

La humedad del suelo se determinó a la siembra (13/07/2018) y a la cosecha (18/12/2018) mediante el método gravimétrico. Las muestras de cada punto y profundidad se llevaron a laboratorio y se registró el peso con la humedad de campo para posteriormente llevar a estufa durante 48 horas (peso constante), y determinar el porcentaje de humedad gravimétrica (%Hg) (Figura 10).

El porcentaje de humedad se determinó de la siguiente manera:

$$\text{Humedad(\%)} = \left(\frac{(P_{\text{cap+sh}}) - (P_{\text{cap+ss}})}{P_{\text{sse}}} \right) \times 100$$

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

P cap + ss: peso de la cápsula con suelo seco a estufa.

P sse: peso del suelo seco a estufa.



Figura 9: Fotografía de la toma de muestras con barreno para determinar humedad gravimétrica a cosecha.

Las propiedades físicas del suelo se determinaron secuencialmente. En primer lugar, las muestras de suelo recolectadas con los cilindros fueron saturadas en forma incremental desde la parte inferior a lo largo de un período de 48 horas usando agua corriente a temperatura ambiente. A partir del estado de saturación previo al inicio de las medidas, se determinó el contenido hídrico (θ) siguiendo la metodología de humectación indicada por Klute (1986). Luego, las muestras fueron sometidas a los potenciales de interés. Para ello se aplicó una presión de 33 kPa, equivalentes a -3,3 m descarga hidráulica (h), empleando el equipo clásico de olla de presión. Posteriormente, las muestras no disturbadas se secaron en estufa a 105°C durante 24 h, hasta peso constante, y se calculó su relación masa/volumen a fin de obtener los valores correspondientes de densidad aparente (DA) (Blake & Hartge, 1986).

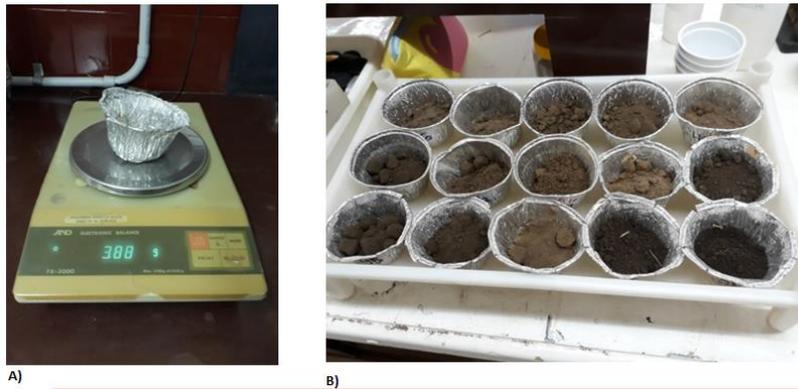


Figura 10: A) Fotografía de la balanza con capsula y B) fotografía de las capsulas con las muestras de suelo.

Sobre las muestras tamizadas por 2 mm se realizó la determinación del punto de marchitez permanente (PMP) a través de membrana de presión (1.500 kPa) (Richards, 1947), utilizando anillos de 5 cm de diámetro por 1 cm de altura. Se realizaron las curvas de retención hídrica y se calculó el contenido de agua a capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y capacidad de agua útil (CAU).

3.4.2 Variables químicas

Al momento de la siembra sobre las muestras secas al aire y tamizadas por 2 mm se determinaron las siguientes variables:

- pH (relación suelo:agua 1:2,5). El procedimiento consistió en mezclar en un recipiente de 100 mL 20 g de suelo con 50 mL de agua destilada dejándolo reposar durante una hora. Trascorrido dicho tiempo se procedió a medir el pH con un multímetro electroquímico (CONSORT C231).
- materia orgánica total (MO) (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).
- fósforo extraíble (Bray & Kurtz, 1945), basado en la extracción del fósforo del suelo por medio de una solución de fluoruro de amonio en medio ácido (HCl), que agitada con 2,5 g de suelo (relación suelo-extractante 1:8) durante 5 minutos solubiliza el fósforo, el cual, luego del filtrado es cuantificado en el extracto a través de un espectrofotómetro a 882 nm (Figura 11).



Figura 11: Fotografía del espectrofotómetro.

3.5 Variables evaluadas del cultivo

En madurez fisiológica se tomaron muestras de material vegetal para la determinación del rendimiento de materia seca y grano, otros componentes del rendimiento y la calidad de los granos. El muestreo se realizó en los mismos 3 puntos georeferenciados que en el muestreo de suelos. El procedimiento consistió en tomar 6 muestras de 2 metros lineales cada una del cultivo maduro por ambiente. Para esto se colocó una regla de 50 cm sobre el suelo entre líneas de siembra y se cortaron las plantas que estaban a ambos lados de la regla, esto se repitió dos veces para obtener la muestra de 2 metros lineales anteriormente mencionada (Figura 12). Estas muestras se colocaron en bolsas rotuladas para luego procesar en el laboratorio.



Figura 12: Muestreo de plantas a cosecha.

3.5.1 Parámetros de rendimiento

Primeramente, se llevaron a laboratorio y se pesó en balanza toda la materia seca total aérea extraída del campo. Luego se contabilizó la cantidad de espigas totales de cada muestra, se eliminó todo el material que no correspondía a la espiga y luego se realizó el pesaje de las mismas en balanza. Las espigas fueron procesadas en una maquina trilladora manual de granos

con el objetivo de eliminar los materiales inertes presentes y obtener muestras de grano limpio (Figura 13).



Figura 13: Trilla de las muestras de cebada.

Una vez obtenida la muestra limpia, se pesó y calculó el índice de cosecha.

$$\text{Índice de cosecha} = \frac{\text{Peso de los granos (g)}}{\text{Materia seca total (g)}}$$

Posteriormente se calculó el peso de mil granos. Se coloraron en la máquina contadora (Figura 14) cuatro muestras de 100 granos por ambientes y antecesor, se realizó el promedio de las repeticiones.



Figura 14: Máquina contadora de granos.

Se evaluó el uso consuntivo (UC) del cultivo de cebada en mm, esto se calculó con el contenido de agua útil (AU) en el suelo a la siembra más las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo, menos el agua útil en el suelo a cosecha (López & Arrue, 1997). Luego se realizó el cálculo de eficiencia del uso del agua, la cual puede ser definida en distintas escalas, sin embargo, en condiciones de secano se la define como el rendimiento producción de biomasa por unidad de agua consumida (EUA: $\text{kg MS ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ o $\text{kg grano ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) (Micucci & Alvarez, 2002), la cual se obtiene realizando el cociente entre la materia seca o el rendimiento en kg de grano y el UC.

Como último parámetro de rendimiento se evaluó la productividad económica del agua (U\$\$/mm) la cual se calculó multiplicando la EUA (kg mm^{-1}) por el valor de 1 kg de grano, con las bonificaciones o rebajas correspondientes por calidad (Molden *et al.*, 2009).

3.5.2 Parámetros de calidad

Se determinó el porcentaje de humedad y proteína mediante el método de espectrometría en el infrarrojo cercano (NIR) (Figura 15).



Figura 15: Fotografía del espectrofotómetro.

Luego la muestra total de granos se pasó sobre zarandas (Zaranda Steinecker) (Figura 16), de distintos milimetraje (2,8 mm, 2,5 mm y 2,2 mm), para obtener la clasificación de los granos según su calibre.

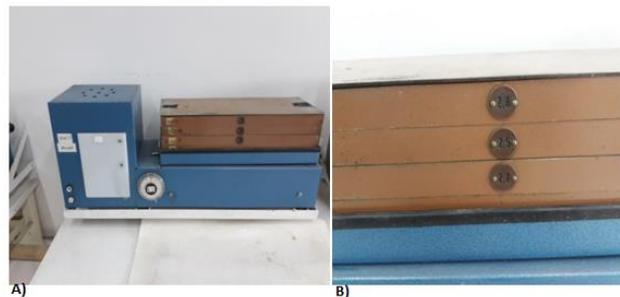


Figura 16: A) Fotografía de Zaranda Steinecker y B) Fotografía de los 3 calibres de zaranda (2,8 mm-2,5 mm-2,2 mm).

También se evaluó el poder germinativo, se tomaron 400 granos de la fracción pura y se colocaron en bandejas con papel humedecido entre papel (Figura 17) a una temperatura de 20 grados. A los 7 días desde el inicio del análisis se realizó el primer conteo de semillas germinadas,

y el segundo conteo fue a los 14 días con el fin de obtener el porcentaje de semillas germinadas del total de la muestra.



Figura 17: Bandejas con 100 granos cada una, en el día del inicio del análisis de germinación.

4. Resultados y discusión

4.1 Distribución de las precipitaciones

En las regiones semiáridas, frecuentemente, la distribución de las precipitaciones no coincide con las necesidades del cultivo. En estas condiciones, el barbecho constituye uno de los pilares del manejo al permitir almacenar agua en profundidad (Fagioli *et al.*, 1985). Como se puede observar en la Figura 18, en el mes de abril, se dio inicio a un barbecho que tuvo una duración de aproximadamente tres meses. Durante dicho período, las precipitaciones (165 mm) fueron 15% superiores a la media histórica (1978-2018). Luego de la siembra (13 de julio) se observó un descenso de las precipitaciones coincidente con la tendencia histórica invernal en la región. Las precipitaciones primaverales (septiembre-octubre), con 131,4 mm, fueron similares a las de la media histórica, mientras que en el mes de noviembre se observó un gran aumento de las mismas manifestando una diferencia de 104 milímetros por encima de la media histórica (Figura 18).

El año 2018 se caracterizó por ser un año de escasas precipitaciones, principalmente durante los primeros meses del año (enero, febrero y marzo 76% por debajo del histórico), lo cual es desfavorable para la producción agropecuaria. Durante el ensayo llovieron 566 mm, un 30% más que la precipitación anual media calculada para el período histórico (1978-2018), sin embargo, la distribución de las precipitaciones a lo largo del año fue muy irregular. El período de barbecho fue donde se concentró la mayor cantidad de precipitaciones (165 mm) y luego se observa un pico máximo de precipitaciones en el mes de noviembre (162,8mm) lo que permitió mejorar la situación hídrica del cultivo, ya que desde la siembra hasta ese momento las precipitaciones estuvieron por debajo de la precipitación mensual media. En esta región gran parte de las precipitaciones tiene lugar durante el período de barbecho y en su mayor parte no es utilizada por el cultivo (Quiroga *et al.*, 2003). Aquí radicaría la importancia de la eficiencia del barbecho, definida como la proporción de agua almacenada en relación con la precipitada; en el presente ensayo, Ferreyra (2021) obtuvo eficiencias que pueden considerarse medias a bajas de acuerdo a las mediciones realizadas durante varios años de la Cátedra de Conservación y Manejo de Suelos (com. pers.). El ambiente La fue el que mayor eficiencia obtuvo (28%), el valor intermedio fue para el ambiente Ca (22%) y por último el ambiente Lo (10%), sin diferencias significativas entre ambientes y antecesores. A pesar de la mayor cantidad de precipitaciones durante el período de barbecho, al momento de la siembra, los ambientes solamente acumularon entre un

41 y 51% de su capacidad de retención de agua disponible, reafirmando lo expuesto por Quiroga *et al.* (2003).

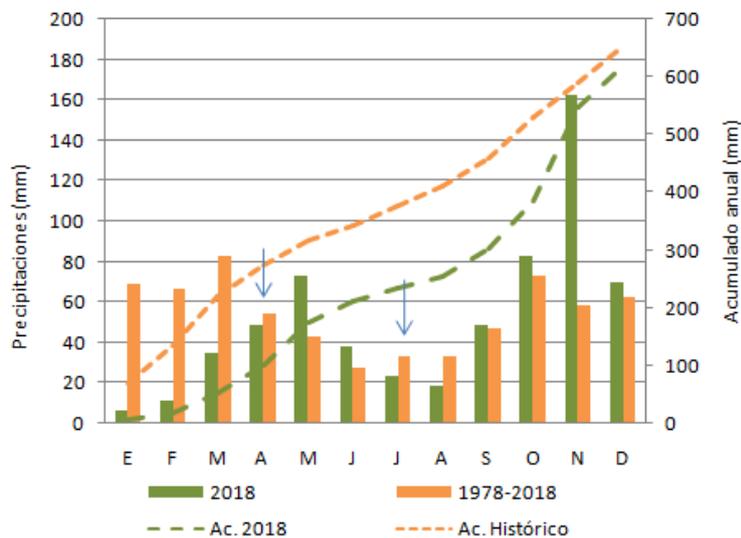


Figura 18: Registro de precipitaciones (mm) ocurridas en Napostá durante el año 2018, precipitación mensual media (1978-2018) y precipitaciones acumuladas anuales para el año 2018 y para el período 1978-2018. Las flechas celestes indican inicio de barbecho y el momento de la siembra.

4.2 Balance hídrico

Al realizar un balance hídrico entre las precipitaciones ocurridas durante el año 2018, registradas por la estación meteorológica automática ubicada en el campo Napostá (E.M.A. Napostá), y utilizando una demanda teórica para cereales de invierno de la región (Paoloni & Vazquez, 1984) (Tabla 1), se pudo observar que durante los meses de verano las precipitaciones estuvieron por debajo de la demanda teórica, sin embargo, este déficit no influyó directamente sobre el cultivo de cebada. A partir de marzo hasta julio los valores del balance fueron positivos, es importante recordar que en el mes de abril comenzó el período de barbecho que se extendió hasta el mes de julio. A partir de la siembra, hasta casi finalizado el ciclo del cultivo, los valores del balance no fueron favorables, siendo en su mayoría negativos (desde agosto hasta octubre) sin poder llegar a cumplir con los requisitos hídricos teóricos del cultivo, en noviembre se cubren los requerimientos hídricos, esto es importante ya que en este mes ocurre el llenado de granos. En el mes de diciembre el resultado del balance dio negativo, pero al ser la diferencia de 1 mm resultaría insignificante.

Tabla 1. Registro de las precipitaciones (mm) ocurridas en Napostá para el año 2018, demanda hídrica teórica mensual, realizada por Paoloni & Vazquez (1984) y balance hídrico. Los casilleros pintados en rojo son los valores negativos y los verdes positivos.

	Meses												Total
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
EMA Napostá 2018	6	11	35	49	72,7	38,1	23,1	18,8	48,3	83,1	162,8	70,1	618
Demanda hídrica teórica	49,3	41,4	32,2	14,2	8,7	9	16	35,9	60	111,6	143,1	71,9	593,3
Balance hídrico	-43,3	-30,4	2,8	34,8	64	29,1	7,1	-17,1	-11,7	-28,5	19,7	-1,8	24,7

4.3 Efecto de la disponibilidad hídrica sobre el rendimiento

La productividad media del cultivo de cebada fue de 2465 kg ha⁻¹, 44% menos que el rinde promedio del cultivar MP1012 evaluado en la Red Nacional de Cebada Cervecera (2018). Al evaluar los ambientes edáficos, los rendimientos estuvieron dentro del rango de 2895 kg ha⁻¹ y 1968 kg ha⁻¹, para el ambiente Ca y Lo respectivamente, con valores medio para el ambiente La (2532 kg ha⁻¹). Se observaron diferencias significativas entre ambientes ($p < 0,05$), no encontrándose efectos significativos por el antecesor (So y Mi) (Tabla 2A del Anexo). El rendimiento en el ambiente Ca fue significativamente superior al del ambiente Lo con una diferencia de 927 kg ha⁻¹ (Figura 19). Los análisis presentados a continuación buscan justificar dicha diferencia.

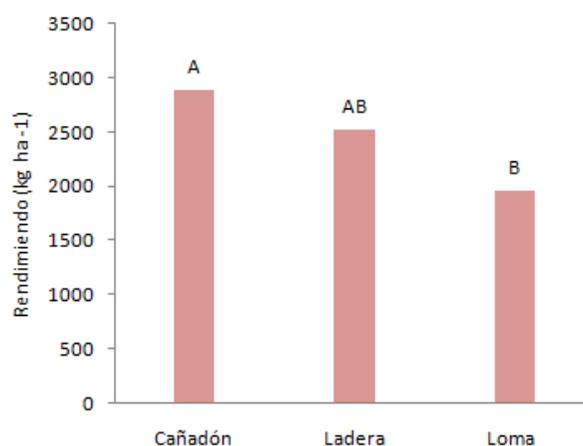


Figura 19: Rendimiento del cultivo de cebada (kg ha⁻¹) en los distintos ambientes. Letras distintas indican diferencias significativas entre ambientes ($p < 0,05$).

4.3.1 Agua disponible

El agua útil a la siembra presentó efectos significativos por los ambientes, sin diferencias debidas al cultivo antecesor (Tabla 1A del Anexo). El contenido de agua útil en el ambiente Ca y La (0-60 cm) fue de 54,6 mm y 45,6 mm, respectivamente diferenciándose significativamente del ambiente Lo (19,5 mm) (Figura 20). Es importante aclarar que en el caso del ambiente Lo, los perfiles evaluados alcanzan los 40 centímetros de profundidad debido a la presencia de un horizonte petrocálcico. El agua almacenada a la siembra en regiones semiáridas está íntimamente relacionada con la capacidad de retención de agua del suelo limitado por la granulometría y la profundidad efectiva del perfil (Quiroga *et al.*, 1996).

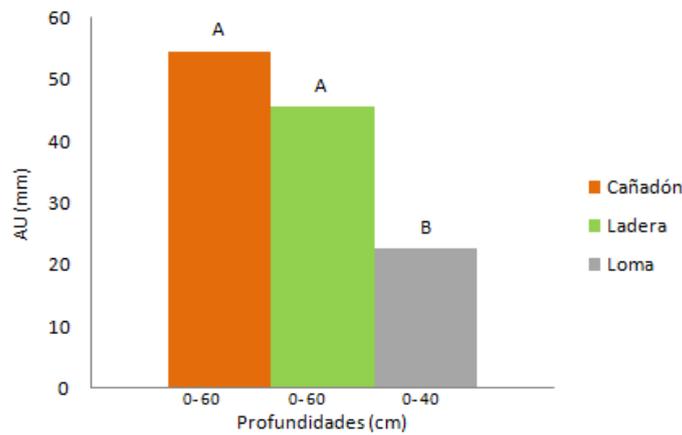


Figura 20: Agua útil (AU, mm) a la siembra en los diferentes ambientes. *Letras distintas indican diferencias significativas entre ambientes ($p < 0,05$).*

Los resultados presentados a continuación grafican la distribución del agua útil en los diferentes ambientes según la profundidad de muestreo (Figura 21). En 0-20 cm se encontraron diferencias significativas entre los ambientes Ca y Lo, donde el ambiente Ca presentó un 63% más de agua útil que el ambiente Lo. A la profundidad de 20-40 cm no se observaron diferencias significativas entre ambientes. Cuando se analizó la profundidad 40-60 cm en los ambientes Ca y La, no se hallaron diferencias significativas en el agua útil acumulada (Tabla 1A del Anexo). Una de las posibles causas de la diferencia entre el agua útil en los primeros centímetros del suelo (0-20 cm) entre Ca y Lo puede deberse al porcentaje de cobertura. El ambiente Lo fue el que presentó el menor valor de cobertura al inicio del barbecho (12%), diferenciándose de los ambientes La y Ca los cuales presentaron valores promedios de 22,5 y 23%, respectivamente (Ferreyra, 2021). Estudios realizados en la región semiárida pampeana muestran que la variación del rendimiento se relaciona estrechamente con la cantidad de residuos sobre la superficie durante el período

de barbecho (Quiroga & Paccapelo, 1990). Es por esto que podemos afirmar que la menor cobertura en el ambiente Lo pudo generar una mayor evaporación del agua del suelo, sobre todo en los primeros centímetros del perfil los cuales están más expuestos a la radiación solar. Esto provocaría menor acumulación de agua en la zona donde se produce el mayor desarrollo radical y afectar negativamente la productividad. En regiones semiáridas, con baja cobertura de residuos, la recuperación de la lluvia durante el barbecho rara vez supera el 20%, mientras que la cobertura de residuos alta puede mejorar este valor hasta en un 40% (Fernández *et al.*, 2008).

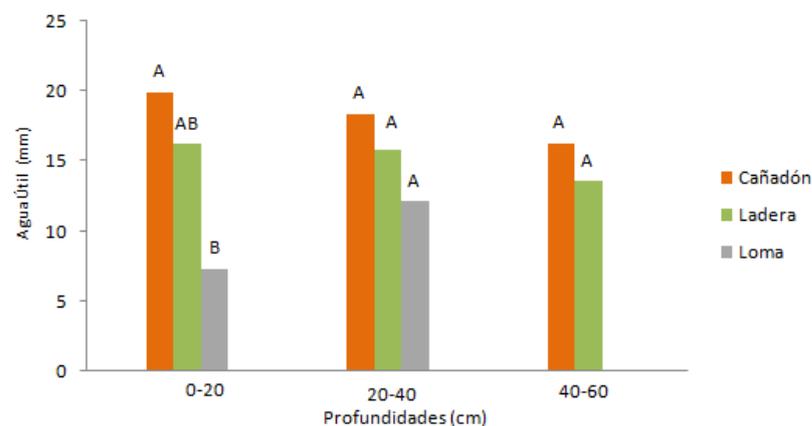


Figura 21: Agua útil a la siembra en los distintos ambientes en las diferentes profundidades muestreadas (0-20, 20-40, 40-60 cm). Letras distintas indican diferencias significativas entre ambientes ($p < 0,05$).

Se observó una relación lineal entre el agua útil a la siembra con el rendimiento del cultivo donde a medida que aumenta el contenido de AU en el perfil, los rendimientos también aumentaron de manera proporcional ($R^2=0,82$, $p < 0,05$) (Tabla 2B del Anexo) (Figura 22). Estos resultados coinciden con otros trabajos realizados en la Región Semiárida Pampeana donde afirman que la variación del rendimiento en trigo se relacionó con el agua almacenada a la siembra (Quiroga & Paccapelo, 1990), remarcando que el rendimiento de los cereales de invierno está principalmente influenciado por el contenido de agua útil del perfil al momento de la siembra.

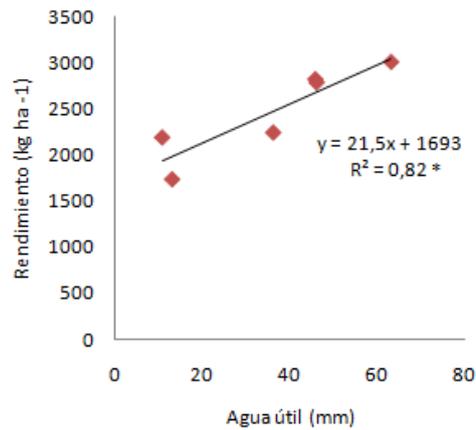


Figura 22: Relación entre agua útil (AU) a la siembra (mm) y el rendimiento medio del cultivo (kg ha⁻¹).

El agua útil a la cosecha determinada en la totalidad del perfil no presentó diferencias significativas entre antecesores, pero si se evidenciaron diferencias significativas entre ambientes (Figura 23). Los ambientes La y Ca mostraron valores muy similares entre sí (38,6 mm y 37,5 mm, respectivamente) diferenciándose significativamente del ambiente Lo (11,4 mm). En los tres ambientes los valores de agua útil a la cosecha fueron menores respecto a los de siembra. El ambiente La presentó solo el 41% de agua útil respecto a la capacidad de almacenamiento total, el ambiente Ca el 30% y el ambiente Lo el 26%. Esto seguramente sea consecuencia de las altas temperaturas correspondientes al mes de diciembre afectando negativamente la acumulación de agua en el perfil del suelo, esto sobre todo afecta al ambiente Lo el cual presenta suelos con escasa profundidad efectiva (<40 cm).

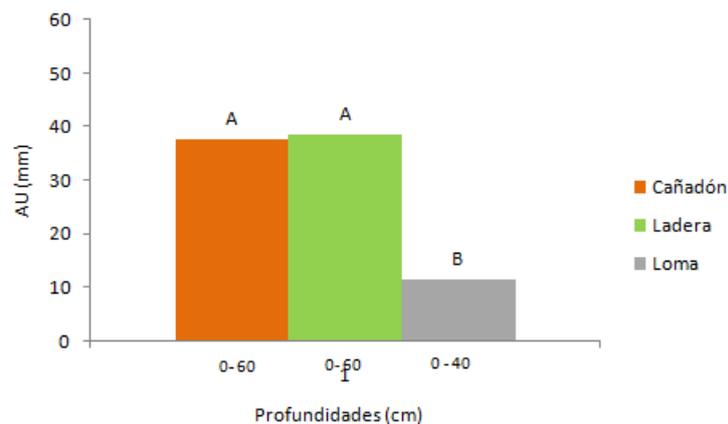


Figura 23: Agua útil (AU, mm) a la cosecha por ambientes acumulada en la profundidad efectiva del perfil. Letras distintas indican diferencias significativas entre ambientes ($p < 0,05$).

El agua útil determinada a las diferentes profundidades (0-20, 20-40 y 40-60 cm) a cosecha no presentó diferencias significativas por ambientes ni por antecesores (Tabla 1A del Anexo) (Figura

24). Los valores de agua útil de los tres ambientes en todas las profundidades fueron menores a los valores de la siembra, todos por debajo de los 15 milímetros de agua útil, como muestra la Figura 25. En 0-20 cm, los valores de agua útil a la cosecha en el caso del ambiente La representaron el 43% del total de la capacidad de retención de agua útil del perfil, en el caso del ambiente Ca el 30% y por último el ambiente Lo con el 21%. En 20-40 cm, el ambiente La fue el que mayor porcentaje presentó (50%) y en el ambiente Ca fue inferior, con un 35% respecto a la capacidad de almacenamiento de agua útil total. En 40-60 cm, se observó un 39 y 25% de la capacidad de almacenamiento de agua para los ambientes La y Ca, respectivamente. Todos los valores estuvieron por debajo del 50% de agua útil respecto a la capacidad de almacenamiento de agua útil total en cada profundidad, esto pudo deberse como se mencionó anteriormente a la alta demanda atmosférica correspondiente al mes de diciembre que supera ampliamente a las precipitaciones de dicho período.

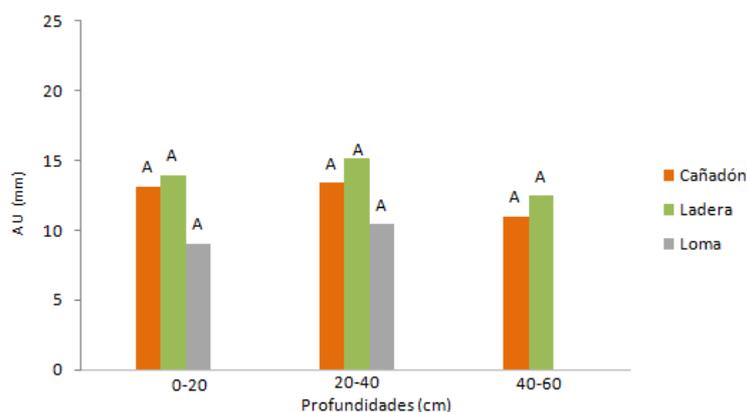


Figura 24: Agua útil a la cosecha en los distintos ambientes a las diferentes profundidades muestreadas (0-20, 20-40, 40-60 cm). Letras distintas indican diferencias significativas entre ambientes ($p < 0,05$).

4.3.2 Eficiencia de uso del agua

El uso consuntivo (UC) no presentó efectos significativos por ambiente ni por antecesor (Tabla 2A del Anexo). En los tres ambientes los valores de UC estuvieron cercanos a los 600 milímetros (Ca: 569 mm, La: 565 mm y Lo: 567 mm). Estudios desarrollados por Álvarez (2008) en la región de la pampa arenosa muestran valores de UC alrededor de 430 milímetros para cereales de invierno.

La eficiencia en el uso del agua (EUA) de los cereales de invierno es de especial interés en regiones semiáridas, ya que refleja la capacidad del cultivo para convertir el agua disponible limitante en producción de forraje o grano (Quiroga *et al.*, 2006). La EUA mostró una tendencia similar al rendimiento. La EUA calculada a partir de la materia seca no evidenció efectos

significativos del antecesor, pero sí de los ambientes (Tabla 2A del Anexo). El ambiente Ca con 10,7 kg MS mm⁻¹ha⁻¹ fue el de mayor EUA, el ambiente La presentó un valor intermedio (9,01 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹) y el valor más bajo lo obtuvo el ambiente Lo con 7,16 kg MS mm⁻¹ha⁻¹, es decir 3 kg MS mm⁻¹ha⁻¹ menos respecto al ambiente Ca (Figura 25 A).

La EUA calculada a partir del rendimiento en grano, al igual que la EUA calculada para materia seca, no presentó efectos significativos del antecesor, y si se observaron diferencias significativas debidas al ambiente (Figura 25 B). Esta diferencia fue entre el ambiente Ca con mayor valor promedio de eficiencia (5,2 kg grano mm⁻¹ ha⁻¹) el cual fue un 48% superior al del ambiente Lo que presentó el menor valor promedio (3,5 kg grano mm⁻¹ ha⁻¹). Algunos trabajos muestran rangos muy variables de EUA (4,0 a 15,8 kg mm⁻¹) (Angus *et al.*, 1980), aunque los valores más frecuentes para ambientes de secano varían entre 5,6-11,4 kg mm⁻¹ (Hamblin *et al.*, 1987). En regiones semiáridas y subhúmedas, Quiroga *et al.* (2006) también obtuvo un amplio rango en la variación de la EUA (3-14 kg mm⁻¹ ha⁻¹) la cual fue principalmente influenciada por la fertilidad de los suelos. Por lo tanto, los ambientes Ca y La presentaron valores promedio de EUA dentro del rango esperado para ambientes de secano. En cambio, el ambiente Lo estuvo por debajo de este rango, esto pudo deberse a la menor profundidad efectiva del perfil la cual le confiere una menor capacidad de almacenamiento de agua y menor disponibilidad de agua útil para el cultivo como se evidenció en la Figura 21.

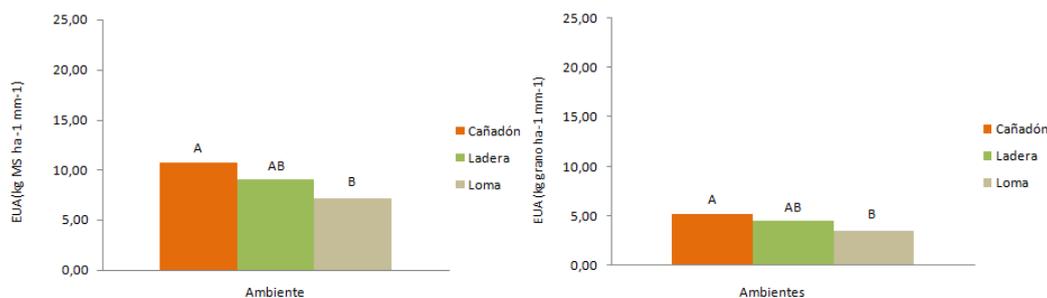


Figura 25: A) Eficiencia del uso del agua (EUA, kg MS mm⁻¹ ha⁻¹) y B) EUA (kg grano mm⁻¹ ha⁻¹) en los diferentes ambientes. Letras distintas indican diferencias significativas entre ambientes ($p < 0,05$).

4.3.2 Productividad económica del agua

En los últimos años se ha desarrollado una nueva forma de medir la EUA conocida como la productividad económica del agua (PEA). La PEA se define como el valor recibido por unidad de agua utilizada (U\$ mm⁻¹). Para verificar que los rindes sean económicamente rentables se calculó la PEA. En este caso se tomó el valor del precio de cebada cervecera de la Bolsa de Cereales de Bahía Blanca del día 2 de enero de 2019, unos días después de realizada la cosecha,

el cual era de 170 U\$S t⁻¹. Se analizaron los datos y se encontraron diferencias significativas entre el ambiente Ca y el ambiente Lo, el ambiente Ca fue superior en casi un 50% al ambiente Lo (Figura 26) (Tabla 2A del Anexo).

Tabla 2. Balance económico (U\$S ha⁻¹ mm⁻¹) realizado en los tres ambientes del ensayo.

Ambiente	Costos (U\$S/ha)	UC	PEA costos (U\$S ha ⁻¹ mm ⁻¹)	PEA ingresos (U\$S ha ⁻¹ mm ⁻¹)	Balance (U\$S ha ⁻¹ mm ⁻¹)
Loma	106,9	567	0,19	0,59	0,40
Ladera	106,9	565	0,19	0,76	0,57
Cañadón	106,9	569	0,19	0,84	0,65

A partir de los datos obtenidos de la EEA INTA Bordenave para el año 2018 se realizó un balance económico (Tabla 2) teniendo en cuenta los costos de siembra, pulverización y cosecha, a esta sumatoria se la transformó en PEA (U\$S ha⁻¹ mm⁻¹) y luego se realizó el balance entre los costos y los ingresos los cuales en todos los casos fueron positivos. Estudios realizados por Gaggioli *et al.* (2013), determinaron que la cebada, con un rendimiento promedio de 5500 kg ha⁻¹, fue el cultivo con los mejores resultados económicos (PEA= 2,6 U\$S/mm) comparando con otros cultivos (trigo, colza y cártamo). Varios autores señalan la necesidad de incrementar la PEA especialmente en áreas donde el recurso agua es escaso (Aldaya *et al.*, 2009; Molden *et al.*, 2009; Ali & Talukder, 2008). Las diferencias en los valores de PEA entre los ambientes Ca y Lo, ponen de manifiesto la necesidad de analizar si se justifica el hecho de realizar un cultivo de cebada en áreas pertenecientes al ambiente Lo, donde los rendimientos son significativamente menores y es un ambiente muy dependiente de las precipitaciones debido a su escasa capacidad de almacenamiento de agua.

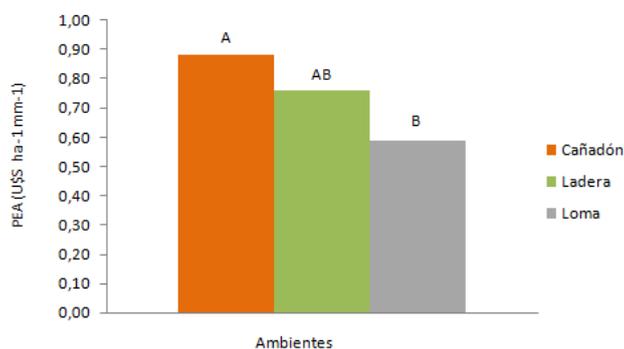


Figura 26: Productividad económica del agua (PEA, U\$S ha⁻¹ mm⁻¹) en los diferentes ambientes evaluados. Letras distintas indican diferencias significativas entre ambientes ($p < 0,05$).

4.4 Efecto de las variables físicas y químicas del suelo sobre el rendimiento

4.4.1 Variables físicas

En la Región Semiárida Pampeana, la profundidad efectiva y textura del suelo son dos factores que determinan la capacidad de almacenamiento de agua de los suelos (Fernández *et al.*, 2008). Una de las variables físicas que se tuvo en cuenta a la hora de evaluar el rendimiento del cultivo fue la profundidad efectiva (PE). El ambiente Ca, con la mayor PE, presentó el mayor rinde (2895 kg ha⁻¹), mientras que el menor rinde (1968 kg ha⁻¹) fue en el ambiente Lo, el cual tuvo la menor PE, con presencia de un horizonte petrocálcico a los 40 centímetros. Estudios realizados por Kruger (2018) en el sudoeste bonaerense indican que existe una relación significativa entre la profundidad efectiva del suelo con el rendimiento de los cultivos. Esta relación se justifica por su influencia sobre el contenido de agua útil del suelo a la siembra. En este caso al realizar la regresión entre las variables se obtuvo una relación significativa entre las mismas ($R^2=0,72$, $p<0,05$) (Figura 27), es decir que podemos reafirmar lo que indica la bibliografía.

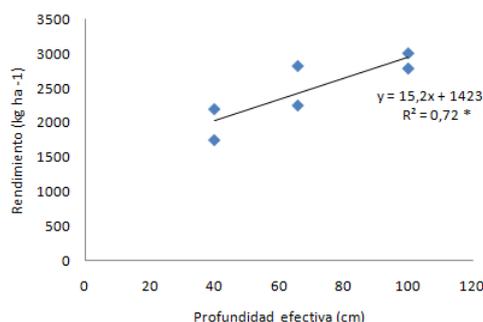


Figura 27: Relación entre profundidad efectiva (PE) y rendimiento medio del cultivo.

El ambiente con mayor fracción fina (limo+arcilla) fue el ambiente Ca, con 54,3% de limo y 14,4% de arcilla, tratándose de un suelo de textura franco limosa; el ambiente La presentó valores intermedios (28,0% de limo y 12,1% de arcilla) el cual clasifica como franco arenoso junto con el ambiente Lo con 23,6% y 10,5% de limo y arcilla, respectivamente. Existen estudios realizados por Kramer & Boyer (1995) y Lambers *et al.* (1998) que explican la relación existente entre los suelos de texturas finas a francas y el volumen de agua disponible para las plantas, el cual tiende a ser máximo. Se observaron relaciones significativas de los porcentajes de fracción fina (arcilla, limo y arcilla+limo) con el agua disponible a la siembra (Tabla 2B del anexo). La fracción que presentó una relación más estrecha con el agua a la siembra fue la arcilla ($R^2=0,91$, $p<0,05$) (Figura 28). En cuanto a la relación entre el porcentaje de limo presente en los tres ambientes (Ca, La y Lo) también se obtuvo una relación significativa con el agua útil almacenada a la siembra

($R^2=0,65$, $p<0,05$) (Figura 28). La relación entre las fracciones más finas del suelo (arcilla+ limo) con el agua útil del suelo (mm) también resulto significativa ($R^2=0,68$, $p<0,05$). Es decir que los ambientes con mayor cantidad de fracciones granulométricas finas, en este caso el ambiente Ca, seguido del ambiente La, son los que mayor cantidad de agua útil podrán almacenar para el posterior uso del cultivo, repercutiendo sobre los rendimientos (Figura 22).

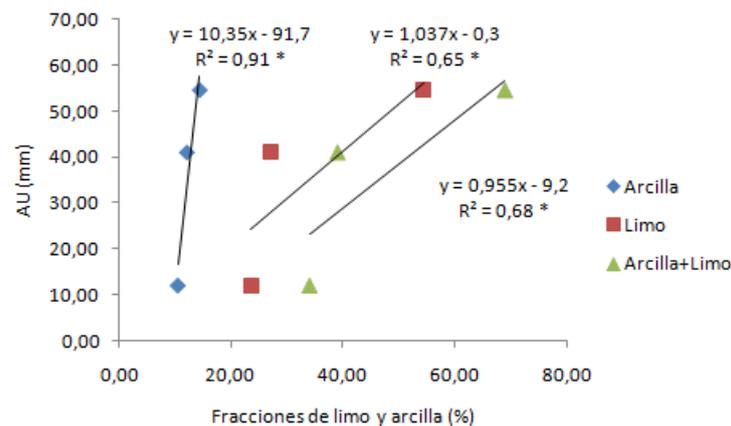


Figura 28: Relación del contenido de agua útil a la siembra (mm) con el porcentaje de fracción fina.

La densidad aparente (DA) no evidenció diferencias significativas entre antecesores, pero si entre ambientes por debajo de los 5cm de profundidad (Tabla 1A del Anexo). Para 0-60 cm, el ambiente Ca presentó los valores más bajos de DA ($1,11 \text{ Mg m}^{-3}$) encontrándose diferencias significativas ($p<0,05$) con el ambiente Lo ($1,18 \text{ Mg m}^{-3}$) y el ambiente La ($1,21 \text{ Mg m}^{-3}$) (Figura 29). Esta variable no presentó efectos significativos sobre los rendimientos (Tabla 2B del Anexo). Es por esto que podemos decir que los valores de DA obtenidos no comprometen el crecimiento y rendimiento del cultivo. Para los suelos de esta región se han reportado valores críticos de DA, restrictivos para el crecimiento radicular, a partir de $1,45\text{-}1,55 \text{ Mg m}^{-3}$ (Silenzi *et al.*, 2000).

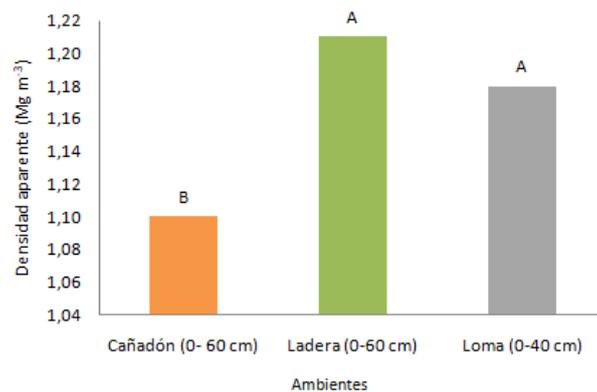


Figura 29: Densidad aparente (DA) promedio de los ambientes evaluados. Letras distintas indican diferencias significativas entre ambientes ($p < 0,05$).

4.4.2 Variables químicas

Para todas las variables química analizadas (materia orgánica -MO-, pH y fósforo extraíble -Pe-) se encontraron efectos significativos del ambiente, sin diferencias debido al antecesor (Tabla 1A del Anexo).

En 0-20 cm, los valores de MO fueron significativamente superiores en el ambiente Ca respecto de La y Lo. El valor promedio del ambiente Ca fue de 4,5%, mientras que los valores de La y Lo fueron 2,6% y 2,9% respectivamente (Figura 30). A la hora de evaluar los porcentajes de MO en las distintas profundidades también se observaron diferencias significativas en 0-5, 5-10 y 10-20 cm entre el ambiente Ca respecto a los ambientes La y Lo (Tabla 1A del Anexo) (Figura 31). Esto puede deberse a que los suelos del ambiente Ca, correspondientes a la Serie Cañadones son suelos de mayor grado de evolución pedogenética, profundos, con buena fertilidad química y física (Bravo & Bravo, 2018) en comparación a los suelos correspondientes a los ambientes La y Lo. Según Álvarez & Steinbach (2006) los niveles de carbono orgánico, principal componente de la MO, 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 carbono orgánico (Six *et al.*, 2002), es decir, aumenta el contenido de MO. Esta sería una de las causas de por qué el ambiente Ca presenta mayor porcentaje de MO que los ambientes Lo y La.

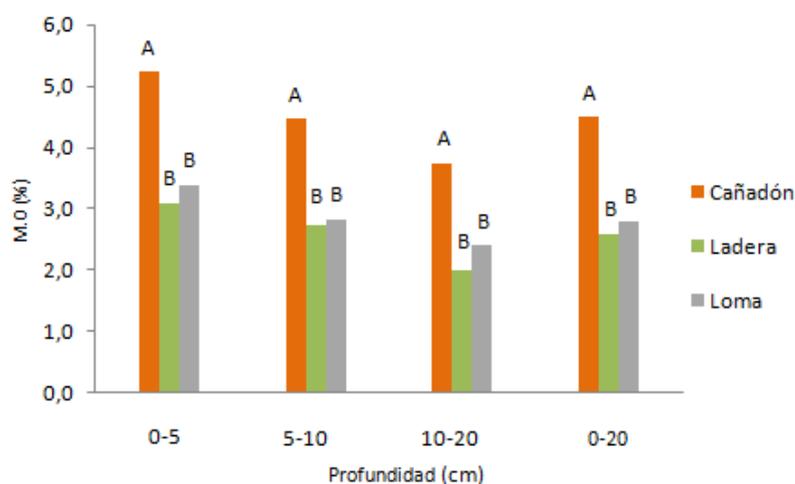


Figura 30: Contenido de materia orgánica (MO) para las profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 y 0-20 cm en los distintos ambientes en estudio. Para cada profundidad, letras distintas indican diferencias significativas entre ambientes ($p < 0,05$).

Si bien en la Región Semiárida Pampeana se han establecido relaciones significativas entre MO y rendimiento de cereales de invierno (Díaz-Zorita *et al.*, 1999), los resultados obtenidos no evidenciaron relaciones significativas entre el nivel de MO y los rendimientos (Tabla 2B del Anexo). Howard & Howard (1990) estimaron que los suelos con menos de $20,0 \text{ g kg}^{-1}$ de carbono orgánico son propensos a la desestabilización estructural, la erosión y la reducción de rendimiento de los cultivos. El ambiente Ca fue el que mayor contenido de carbono orgánico presentó ($26,1 \text{ g kg}^{-1}$), el valor intermedio correspondió al ambiente Lo ($15,8 \text{ g kg}^{-1}$) y el valor inferior lo obtuvo el ambiente La ($15,1 \text{ g kg}^{-1}$). Los ambientes La y Lo estuvieron por debajo del valor umbral propuesto por Howard & Howard (1990). El contenido de MO en el suelo refleja la historia del balance entre las tasas de humificación y de mineralización (Campbell, 1978). Este balance es afectado por la cantidad y la forma de manejo del C restituído al suelo bajo la forma de residuos de cosecha y de raíces remanentes (Nicolardot *et al.*, 2001) y por las labranzas y la fertilización (Wright *et al.*, 2005). Es por esto que cualquier decisión de manejo en cuanto a la intensificación de los suelos con laboreos agresivos como la labranza convencional afecta la fertilidad y la resistencia a la erosión a través de la disminución del contenido de MO (Echeverría & Ferrari, 1993; Studdert & Echeverría, 2000). Es importante realizar un manejo conservacionista de estos suelos para evitar posibles degradaciones tanto biológicas como físicas.

Los valores medios de pH para los ambientes Ca y La fueron de 7,1 y 7,2, respectivamente 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). Esta diferencia de pH afirma lo que Zilio (2015) expresa acerca de la posibilidad de que la escasa profundidad del perfil, limitado por el horizonte petrocálcico a 0,5 m, y el régimen de humedad ústico, hayan impedido el lavado de los carbonatos hacia capas más profundas del suelo y esto genere elevados valores de pH. Al igual que para MO, no se encontró una relación significativa entre los valores de pH y el rendimiento del cultivo de cebada (Tabla 2B del Anexo).

El fósforo extraíble (Pe) presentó diferencias significativas ($p < 0,01$) en todas las profundidades entre el ambiente Ca respecto a los ambientes La y Lo (Tabla 1A del Anexo). El ambiente Ca fue el que mayor nivel de Pe presentó en 0-20 cm de profundidad ($30,0 \text{ mg kg}^{-1}$) (Figura 31). Los ambientes La y Lo presentaron valores muy inferiores ($4,5$ y $1,3 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente) con respecto al ambiente Ca. Esto seguramente se deba a que el ambiente Ca, al ser un ambiente más evolucionado que La y Lo, tuvo la ventaja de atravesar por mayor cantidad de procesos de acumulación de nutrientes, en este caso fósforo. Al igual que lo encontrado por otros autores (Kruger, 1996; Covacevich *et al.*, 2008), en subsuperficie las concentraciones de Pe fueron muy bajas para los ambientes La y Lo. En cuanto a la concentración de Pe a distintas profundidades se puede observar que el ambiente Ca se diferencia significativamente de los otros dos ambientes, La y Lo en todas las profundidades evaluadas (0-5, 5-10 y 10-20 cm). Según Kruger (1996) la excesiva estratificación perjudicaría la nutrición de los cultivos en la Región Semiárida Pampeana. Además, la importante acumulación de Pe en los 5 cm superiores del perfil podría provocar una importante pérdida de P del sistema por erosión hídrica o eólica (Bennett *et al.*, 2001). Al analizar la relación entre los valores medios de Pe y el rendimiento, no se encontró relación directa entre ambas variables (Tabla 2B del Anexo).

Si bien en la literatura se han informado relaciones positivas de variables edáficas como la MO (Diaz-Zorita *et al.*, 2002; Quiroga *et al.*, 2006) y el Pe (Berardo *et al.*, 1998) con los rendimientos de trigo y cebada, en el presente trabajo, de las variables químicas analizadas, en ningún caso se encontraron relaciones significativas con los rendimientos obtenidos.

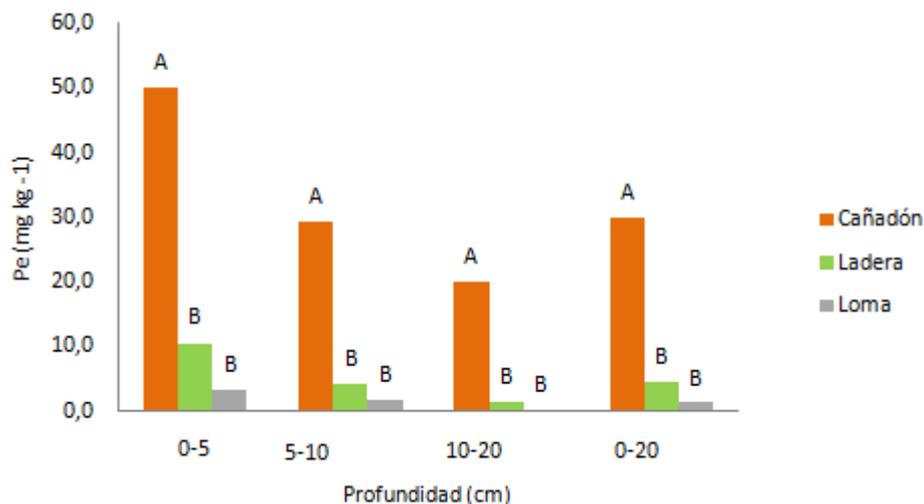


Figura 31: Fósforo extraíble (Pe) a distintas profundidades en los tres ambientes del ensayo. Para cada profundidad, letras distintas indican diferencias significativas entre ambientes ($p < 0,05$).

4.5 Parámetros de calidad

La calidad de la cebada y la producción de malta en Argentina se vinculan mediante las Normas de Calidad y Comercialización de Cebada (Resolución 27/2013). Uno de los parámetros a tener en cuenta es la humedad de recibo, la cual es 12% como máximo. En este caso los granos presentaron valores entre 10,2 y 10,5%, es decir que cumplían con el parámetro de recibo de la Norma.

La acumulación de nitrógeno (N) en el grano es importante porque es uno de los determinantes del contenido proteico del cereal. El N acumulado en el grano puede provenir de la absorción que ocurre durante el llenado, o de la removilización del N que fue acumulado en otros órganos (hojas, tallos, otras partes de la espiga) antes de la floración. Las deficiencias de N producen disminuciones en el rendimiento a través de una caída en el número de granos por superficie (Prystupa *et al.*, 2004; Arisnabarreta & Miralles, 2006). La fertilización nitrogenada además de incrementar los rendimientos, suele determinar incrementos en el contenido proteico de los granos (Rausch *et al.*, 2003; Ferraris *et al.*, 2008). En el caso del porcentaje de proteína, no se observaron diferencias significativas debidas al antecesor o a los ambientes (Tabla 2A del Anexo). Los valores de proteína fueron 11,0%, 10,7% y 10,2% para los ambientes Ca, La y Lo, respectivamente, valores que estuvieron dentro del parámetro de la Norma de Calidad y Comercialización (9,5-13%).

En cuanto al material sobre zaranda (2,5 mm + 2,8 mm) se acepta como mínimo el 85% de la totalidad de la muestra. Los granos de mayor tamaño tienen más almidón, y esto se refleja en

las sustancias solubles a ser extraídas. Es importante también la homogeneidad de los granos, para lograr una humectación y modificación pareja a la hora del proceso de malteo (Miralles *et al.*, 2011). Si bien en los tres ambientes (Ca, La y Lo) se cumple con este requisito, se encontraron diferencias significativas entre ambientes (Tabla 2A del Anexo). En el ambiente Ca, el material sobre zaranda 2,8 mm (88,9 %) fue significativamente superior al obtenido en el ambiente La (83,3%), mientras que no se observaron diferencias con el ambiente Lo (85,3%) (Tabla 3). Sobre zaranda 2,5 se diferencia significativamente el ambiente La (15,2%) del ambiente Ca (9,3%). En cuanto al material bajo zaranda 2,2 mm no se presentaron diferencias significativas entre ambientes y los porcentajes estuvieron por debajo de la tolerancia máxima de recibo (3%).

Otro de los parámetros que se evaluó fue la capacidad germinativa. La conservación de los granos durante el almacenamiento post-cosecha visto desde el punto de vista de la viabilidad y de la energía germinativa, es la primera condición para el proceso de malteo. La norma comercial exige un mínimo de 95% como base de recibo, en este caso el lote de granos obtuvo el 98% de germinación.

Por último, se evaluó el peso de mil de los granos (P1000) que si bien no es un parámetro presente en la norma comercial es importante ya que por razones industriales se requiere un calibre mínimo para ser malteado eficientemente (Miralles *et al.*, 2011). El llenado de granos tiene una fase inicial en la que se produce el cuaje de las flores a granos y queda definido el número de granos por espiga. Durante este período se reconocen 2 etapas diferentes (i) fase *lag*, caracterizada por una activa multiplicación de las células endospermáticas, (ii) y la etapa de *llenado efectivo de los granos*, en la cual se reconocen a su vez diferentes estados de los granos en crecimiento, grano lechoso, grano pastoso y grano duro. Entre el estado lechoso y pastoso, el contenido de agua del grano se hace constante, una ruptura en el abastecimiento hídrico en esta etapa, en la que se produce la mayor tasa de crecimiento del grano podría producir una disminución en el peso de los granos (Miralles *et al.*, 2011). En el ensayo los valores de P1000 rondaron los 50 gramos, valores más que aceptables para el cultivo, sin presentar efectos significativos por el antecesor ni por los ambientes (Tabla 3) (Tabla 2A del Anexo).

Tabla 3. Variables de calidad de cebada analizadas (Proteína – Calibre – P1000).

Parámetros de calidad	Ambientes		
	Ca	La	Lo
Proteína (%)	11,0 a	10,2 a	10,7 a
Calibre (%)	2,8	88,9 a	83,3 b
	2,5	9,3 b	15,2 a
	2,2	0,5 a	0,8 a
P1000	48,8 a	47,8 a	47,9 a

Para cada variable de calidad, letras distintas indican diferencias significativas entre ambientes ($p < 0,05$)

5. Conclusión

- Las precipitaciones ocurridas durante el barbecho pese a que fueron superiores a la media histórica, no se reflejaron en los contenidos de agua a la siembra los cuales fueron inferiores al 50% de la capacidad de almacenamiento de los suelos. Las abundantes precipitaciones de noviembre, período crítico para el llenado del grano, mejoraron las condiciones hídricas del cultivo, contribuyendo a lograr un buen calibre y rendimiento de grano.
- Los cultivos antecesores, tanto el sorgo como el mijo no tuvieron ningún impacto sobre el rendimiento y calidad del grano producido.
- El agua útil almacenada al momento de la siembra, se relacionó significativamente con los rendimientos de cebada, explicando 82% de la variación del rendimiento.
- La profundidad del suelo, muchas veces limitada por el horizonte petrocálcico y la textura fueron las variables edáficas que más influyeron sobre la cantidad de agua disponible al momento de la siembra.
- La eficiencia del uso del agua (EUA) en el caso de los ambientes Ca y La estuvieron dentro del rango esperado para ambientes de secano. En cambio, el ambiente Lo estuvo por debajo de este rango, esto pudo deberse a la menor profundidad efectiva del perfil la cual le confirió una menor capacidad de almacenamiento de agua y menor disponibilidad de agua útil para el cultivo.
- Los rendimientos del cultivo de cebada no se relacionaron con la variabilidad de las propiedades químicas (MO, pH y Pe) evaluadas en los diferentes ambientes.
- En cuanto a los parámetros de calidad (proteína, humedad, calibre y capacidad germinativa), los tres ambientes cumplieron con los requisitos que la Norma de Calidad y Comercialización exige. Es decir que por más que las condiciones hídricas y edáficas no hayan sido las ideales para el desarrollo del cultivo, lo cual generó disminuciones del rendimiento respecto a los valores de rendimiento potenciales del cultivar, los granos producidos se podrían comercializar como granos con destino a maltería. Esto produciría un beneficio económico para el productor, ya que para una misma PEA (\$/mm) se obtendrían mayores beneficios económicos, ya que los precios de obtención de los granos en el caso de cebada cervecera respecto a los de cebada forrajera son mayores.

Consideraciones Finales

Es importante en este tipo de suelos con regímenes climáticos, en cuanto a las precipitaciones, muy erráticos y con una distribución de las precipitaciones muy irregular realizar un manejo de suelo conservacionista. Tratando de mantener el mismo con cobertura para evitar que ocurran procesos de erosión eólica y pérdidas de agua durante prácticas de manejo como los barbechos. Una de las prácticas que se recomienda es la siembra directa (SD) ya que mantiene el suelo con cobertura y también contribuye en evitar la evaporación del agua de las capas más superficiales, realizando barbechos químicos con el fin de mantener el suelo libre de malezas que consuman el agua acumulada. Otra tecnología que se podría aplicar sería el manejo por ambientes, en este se recomendaría incorporar a los ambientes Ca y La únicamente al manejo ya que ambos obtuvieron EUA aceptables y rendimientos acordes a la zona. Otra de las razones por las cuales el ambiente Lo quedaría descartado, además de no aportar grandes beneficios económicos, sería para no realizar un manejo extractivo del mismo, ya que es un ambiente con grandes limitantes tanto físicas como químicas. En cuanto a la cebada se podría decir que es un cultivo completamente adaptado a la zona semiárida, que tiene la capacidad de obtener tanto buen rendimiento como buena calidad cervecera.

Bibliografía

- Aboudrare, A., Debaeke, P., Bouaziz, A. & Chekli, H. (2006). Effects of soil tillage and fallow management on soil water storage and sunflower production in a semi-arid Mediterranean climate. *Agricultural Water Management*, 83(3), 183-196
- Acevedo, E. & Fereres, E. (1993). Resistance to abiotic stresses. In *Plant Breeding*. Springer, Dordrecht. pp. 406-421.
- Aldaya, M.M., Martínez-Santos, P. & Llamas, M.R. (2010). Incorporating the water footprint and virtual water into policy: Reflections from the Mancha Occidental Region, Spain. *Water Resources Management*, 24(5), 941-958.
- Ali, M.H. & Talukder, M.S.U. (2008). Increasing water productivity in crop production - a synthesis. *Agricultural water management*, 95(11), 1201-1213.
- Álvarez, C., Barraco, M., Scianca, C., Zaniboni, M. & Spagnuolo, C. (2008). Fertilización nitrogenada y eficiencia de uso de agua en trigo en la región subhúmeda y semiárida pampeana. VII Congreso Nacional de trigo, V Simposio Nacional de Cereales de siembra otoño-invernal, I Encuentro del MERCOSUR. 2 al 4 de julio de 2008, Santa Rosa, La Pampa.
- Anderson, R.L., Tanaka, D.L. & Merrill, S.D. (2003). Yield and water use of broadleaf crops in a semiarid climate. *Agricultural Water Management*, 58(3), 255-266.
- Anderson, W.K. (2010). Closing the gap between actual and potential yield of rainfed wheat. The impacts of environment, management and cultivar. *Field Crops Research*, 116(1-2), 14-22.
- Angus, J.F., Nix, H.A., Russel, J.S. & Kruizinga, J.E. (1980). Water use, growth and yield of wheat in subtropical environment. *Australian Journal of Agricultural Research* 31: 873-886.
- Cartografía de Suelos. 2018. Apunte teórico de la Asignatura Evaluación y Manejo de Suelos. Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur. 15 p.
- Arisnabarreta, S. & Miralles, D.J. (2006). Floret development and grain setting in near isogenic two-and six-rowed barley lines (*Hordeum vulgare* L.). *Field Crops Research*, 96(2-3), 466-476.
- Beare, M.H., Hendrix, P.F. & Coleman, D.C. (1994). Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional-and no-tillage soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58(3), 777-786.

- Bennett, E.M.M., Carpenter, S.R. & Caraco, N.F. (2001). Human impact on erodible phosphorus and eutrophication: A Global Perspective. *BioScience* Vol. 51 No. 3, 227-234.
- Berardo, A., Grattone, F. & Bodega, J.L. (1998). Efecto de la aplicación de P y de su residualidad sobre la producción de trigo (8 años). *Actas IV Congreso Nacional de Trigo*. pp. 3-11.
- Blake G.R. & Hartge K.H. (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.
- Bolsa de Cereales de Bahía Blanca (2019). Disponible en: <https://www.bcp.org.ar/>
- Bravo, O. & Bravo R. (2018). Proyecto aumentando la Resiliencia Climática y Mejorando el Manejo Sostenible de la Tierra en el Sudoeste de la Provincia de Buenos Aires.
- Bray, R.H. & Kurtz, L.T. (1945). Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil science*, 59(1), 39-46.
- Campbell, CA. (1978). Soil organic carbon, nitrogen and fertility. Pp. 173-271 en Schnitzer, M. & Khan, S.U. (eds.) *Soil organic matter. Developments in Soil Science 8*. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam, Holanda.
- Copeland, P.J., Allmaras, R.R., Crookston, R.K. & Nelson, W.W. (1993). Corn–soybean rotation effects on soil water depletion. *Agronomy Journal*, 85(2), 203-210.
- Covacevich, F., SainzRozas, H. Barbieri, P. & Echeverría, H. (2008). Crecimiento y micorrización arbuscular nativa de trigo en siembra directa bajo distintas formas de colocación de fósforo. *Ciencia del suelo* 26 (2), 169-175.
- Díaz-Zorita, M., Buschiazzo, D.E. & Peinemann, N. (1999). Soil organic matter and wheat productivity in the Semiarid Argentine Pampas. *Agron. J.* 91: 276-279
- Di Rienzo, J., Balzarini, M., Gonzalez, L., Casanoves, F., Tablada, M. & Robledo, W. (2016). *Infostat versión 2011*. Grupo infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL:/www.infostat.com.ar
- Donnari, M.A. & Torre, L. (1974). Análisis de algunos aspectos del clima de Bahía Blanca. Departamento de Geografía. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca.
- Echeverría, H.E. & Ferrari, J. (1993). Relevamiento de algunas características de los suelos agrícolas del sudeste bonaerense. *Boletín Técnico*, 112.

- Fagioli, M., Bono, A. & Gentilini, H.T. (1985). Fertilización de cultivos de trigo en las regiones semiárida y Subhúmeda Pampeanas. Campaña 1984. Publicación Técnica, (32).
- Fernández, R., Quiroga, A., Noellemeyer, E., Funaro, D., Montoya, J., Hitzmann, B. & Peinemann, N. (2008). A study of the effect of the interaction between site-specific conditions, residue cover and weed control on water storage during fallow. *Agricultural water management*, 95(9), 1028-1040.
- Ferraris, G.N., Prystupa, P., Boem, F.G. & Couretot, L. (2008). Fertilización en cebada cervecera pautas de manejo para la obtención de altos rendimientos con calidad. Congreso de AAPRESID, 12 al 15 de agosto de 2008. Rosario, Santa Fe.
- Ferreya G. (2021). Influencia de la variabilidad edáfica sobre la productividad de cebada (*Hordeum vulgare* L) en el sudoeste bonaerense. Tesis de grado Ingeniería Agronómica. Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur.
- Gaggioli, C.L., Quiroga, A.R. & Noellemeyer, E.J. (2013). Evaluación de la eficiencia de uso de agua y productividad en cultivos invernales en la región semiárida pampeana. *Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam* Vol 23 Nº 2, 17-26.
- García del Moral, L.F., Ramos, J.M., García del Moral, M.B. & Jiménez-Tejada, M.P. (1991). Ontogenetic approach to grain production in spring barley based on path-coefficient analysis. *Crop Science*, 31(5), 1179-1185.
- González Uriarte, M. (1984). Características geomorfológicas de la porción continental que rodea la Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires. *Actas IX Congreso Argentino de Geología*, Bariloche, Argentina. p 556-576.
- Hamblin, A., Tennant, D. & Perry, M. (1987). Management of soil water in Western Australia. *Soil Use and Management*. Vol 3 Nº 2: 63-69.
- Hatfield, J., Prueger, J. & Sauer, T. (1996). Comparison of evapotranspiration equations over different surfaces. In *American Society of Agri Engineers Special Meetings and Conferences Papers*.
- Howard, P.J.A. & Howard, D.M. (1990). Use of organic carbon and loss-on-ignition to estimate soil organic matter in different soil types and horizons. *Biology and Fertility of soils*, 9(4), 306-310.

- Klute, A. (1986). Water retention: Laboratory methods. In: Klute, A. (ed.). Methods of soil analysis. Part 1. Agronomy Monograph N°9. American Society of Agronomy y Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, Estados Unidos. Pp. 597-618.
- Kramer, P.J. & Boyer, J.S. (1995). Water relations of plants and soils. San Diego. California: Academic Press. 495 p.
- Kruger, H.R. (1996). Sistemas de labranza y variación de propiedades químicas en un haplustol entico. *Ciencia del Suelo* 14, 53-55.
- Krüger, H., Frolla, F. & Zilio, J. (2018). Profundidad efectiva del suelo y rendimientos de trigo en el sudoeste bonaerense. In XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca.
- Lambers, H., Chapin, F.S. & Pons, T.L. (1998). Plant physiological ecology. Nueva York. Springer Science & Business Media. 540 p.
- Lopez, M. & Arrue, J. (1997). Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in semi-arid region of Spain. In: *Soil and Tillage Research* 44, 35-54.
- López-Castañeda, C. & Richards, R.A. (1994). Variation in temperate cereals in rainfed environments III. Water use and water-use efficiency. *Field Crops Research*, 39(2-3), 85-98.
- Micucci, F. & Álvarez, C. (2002). Impacto de las prácticas de manejo sobre la eficiencia de uso del agua en los cultivos extensivos de la región pampeana argentina. *Archivo Agronómico*, (6).
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (2018). Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/agricultura>
- Miralles, D.J., Benech, A. & Abeledo, G. (2011). Cebada cervecera. Facultad de Agronomía-UBA Argentina, 284 pp.
- Miralles, D.J. & Richards, R.A. (2000). Responses of leaf and tiller emergence and primordium initiation in wheat and barley to interchanged photoperiod. *Annals of Botany*, 85(5), 655-663.
- Moeller, C., Asseng, S., Berger, J. & Milroy, S.P. (2009). Plant available soil water at sowing in Mediterranean environments—Is it a useful criterion to aid nitrogen fertiliser and sowing decisions? *Field Crops Research*, 114(1), 127-136.
- Molden, D., Oweis, T., Steduto, P., Bindraban, P., Hanjra, M.A. & Kijne, J. (2009). Improving agricultural water productivity: between optimism and caution. *Agricultural Water Manage.* 97:528-535.

- Mormeneo, I. (2002) UNS. Caracterización climática del Partido de Bahía Blanca. Disponible en: <http://agrometeorologia.criba.edu.ar/Downloads/Climatic.pdf>. 4 p.
- Moroque, T.S., Schwartz, R.C., Brown, K.W. & Juo, A.S.R. (2005). Soil water depletion and root distribution of three dryland crops. *Soil Science Society of America Journal*, 69(1), 197-205.
- Mulla, D.J. & McBratney, A.B. (2002). Soil Spatial Variability. In: Warrick, A.W. (Ed.) *Soil Physics companion*. CRS Press, Boca Raton, FL. Pp 343-373.
- Nicolardot, B., Recous, S. & Mary, B. (2001). Simulation of C and N mineralisation during crop residue decomposition: a simple dynamic model based on the C: N ratio of the residues. *Plant and Soil*, 228(1), 83-103.
- Normas de Calidad y Comercialización de Cebada (Resolución 27/2013). Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-27-2013-223950/texto>
- Paoloni, J.D. & Vázquez, R. (1984). Necesidades teóricas de agua de los cereales de invierno y probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones como base para el balance hídrico. *An. Edafol. Agrobiol. XLIII* Pp. 1545-1556.
- Prystupa, P., Savin, R. & Slafer, G.A. (2004). Grain number and its relationship with dry matter, N and P in the spikes at heading in response to N× P fertilization in barley. *Field Crops Research*, 90(2-3), 245-254.
- Quiroga, A., Babinec, F., Ormeño, O. & Goñi, L. (1996). Labranza conservacionista y fertilización de trigo, en la región semiárida pampeana. XV Congreso AACCS, La Pampa.
- Quiroga, A., Díaz-Zorita, M. & Buschiazzo, D. (2001). Sunflower productivity as related to soil water storage and management practices in semiarid regions. *Commun. SoilSci. Plant Anal.* 32(17-18): 2851-2862.
- 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.
- Quiroga, A. & Paccapelo, H. (1990). Evaluación de algunos aspectos de las relaciones hídricas en trigo, en la Región Semiárida Pampeana. *Semiárida*, 5(2), 109-115.
- Quiroga, A., Funaro, D., Noellemeyer, E. & Peinemann, N. (2006). Barley yield response to soil organic matter and texture in the Pampas of Argentina. *Soil Tillage Research* 90: 63-68.

- Quiroga, A., Fernandez, R. & Noellemeyer, E. (2009). Grazing effect on soil properties in conventional and no-till systems. *Soil and Tillage Research*, 105(1), 164-170.
- 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.
- Rausch, A., Lazzari, A. & Landriscini, M.R. (2003). Disponibilidad de nitrógeno en el suelo y su influencia en el rendimiento de este cultivo con buena calidad maltera. *Fertilizar*, 32, 13-17.
- Red Nacional de Cebada Cervecera- Campaña 2018. Disponible en: <https://inta.gob.ar/documentos/red-nacional-de-cebada-cervecera-%E2%80%93-campana-2018>
- Richards, L.A. (1947). Pressure-membrana apparatus, construction and use. *Agric. Eng.* 28, 451-454.
- Savin, R., Satorre, E.H., Hall, A.J. & Slafer, G.A. (1995). Assessing strategies for wheat cropping in the monsoonal climate of the Pampas using the CERES-Wheat simulation model. *Field Crops Research*, 42(2-3), 81-91.
- Scian, B. (2010). Capítulo I: Clima- Bahía Blanca y Sudoeste Bonaerense. Pp. 27-67. En: Paoloni, JD (Compilador). *Ambientes y Recursos Naturales del Partido de Bahía Blanca: Clima, Geomorfología, Suelos y Aguas (Sudoeste de la provincia de Bs. As.)*. 1ª Edición Bahía Blanca, Universidad Nacional del Sur, EdiUNS. 240 p.
- Silenzi, J.C., Puricelli, C.A., Echevarría, N.E., Grossi, T. & Vallejos, A.G. (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., Conant, R.T., Paul, E.A. & Paustian, K. (2002). Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C saturation of soils. *Plant and Soil* 241: 155-176.
- Slafer, G.A. & Rawson, H.M. (1994). Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: a re-examination of some assumptions made by physiologists and modellers. *Functional Plant Biology*, 21(4), 393-426.
- Steinbach, H.S. & Alvarez, R. (2006). Changes in soil organic carbon contents and nitrous oxide emissions after introduction of no-till in Pampean agroecosystems. *Journal of Environmental Quality*, 35(1), 3-13.

- Studdert, G.A. & Echeverria, H.E. (2000). Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Science Society of America Journal*, 64(4), 1496-1503.
- Terra, J.A., Shaw, J.N., Reeves, D.W., Raper, R.L., van Santen, E., Schwab, E.B. & Mask, P.L. (2006). Soil management and landscape variability affects field-scale cotton productivity. *Soil Science Society of America Journal* 70: 98-107.
- 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.
- Waddington, S.R., Cartwright, P.M. & Wall, P.C. (1983). A quantitative scale of spike initial and pistil development in barley and wheat. *Annals of Botany*, 51(1), 119-130.
- Walkley, A. & Black, I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1), 29-38.
- Wang, X., Dai, K., Wang, Y., Zhang, X., Zhao, Q., Wu, X. & Oenema, O. (2010). Nutrient management adaptation for dryland maize yields and water use efficiency to long-term rainfall variability in China. *Agricultural water management*, 97(9), 1344-1350.
- Wright, A.L., Hons, F.M. & Matocha Jr, J.E. (2005). Tillage impacts on microbial biomass and soil carbon and nitrogen dynamics of corn and cotton rotations. *Applied Soil Ecology*, 29(1), 85-92.
- 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.

Anexo

Tabla 1A: Análisis de la varianza (ANOVA) de las variables hídricas y químicas para cada profundidad.

Variable	Profundidad (cm)	Ambiente	Antecesor	Ant*Amb
AU siembra	0-20	**	ns	ns
	20-40	ns	ns	ns
	40-60	ns	sd	sd
	todo el perfil	*	ns	sd
AU cosecha	0-20	ns	ns	ns
	20-40	ns	ns	ns
	40-60	ns	sd	sd
	todo el perfil	ns	*	sd
MO	0-5	**	ns	*
	5-10	**	ns	*
	10-20	*	ns	ns
pH	0-5	*	ns	ns
	5-10	*	ns	ns
	10-20	*	ns	ns
DA	0-5	ns	ns	ns
	5-10	*	ns	ns
	10-20	*	ns	*
	20-40	***	ns	ns
Pe	0-5	**	ns	ns
	5-10	**	ns	ns
	10-20	**	ns	ns

Tabla 2A: Análisis de la Varianza (ANOVA) de los parámetros del rendimiento del cultivo y calidad

Variable	Ambiente	Antecesor
UC	ns	ns
EUA cosecha MS	**	ns
EUA cosecha Kg grano	*	ns
PEA cosecha MS	**	ns
PEA cosecha Kg grano	*	ns
Materia seca	**	ns
Rendimiento	*	ns
P1000	ns	ns
Indice de cosecha	ns	ns
Proteína	ns	-
Zaranda 2,8	ns	-
Zaranda 2,5	ns	-
Zaranda 2,2	ns	-

Tabla2B: Relación entre el rendimiento y agua útil con los parámetros edáficos.

Regresiones		Regresión significativa
Rendimiento	AU siembra	*
Rendimiento	MO %	ns
Rendimiento	pH	ns
Rendimiento	DA	ns
Rendimiento	Pe	ns
Rendimiento	Prof. efectiva	*
AU	Arcilla %	*
AU	Limo %	*

Referencias:

- $p < 0,05$ *
- $p < 0,01$ **
- $p < 0,001$ ***
- $p > 0,05$ ns
- sd sin datos