

Libros de **Cátedra**

Cereales de invierno

María Rosa Simón y Silvina Inés Golik
(coordinadoras)

FACULTAD DE
CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES

n
naturales


EDITORIAL DE LA UNLP



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

CEREALES DE INVIERNO

María Rosa Simón
Silvina Inés Golik
(coordinadoras)

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA


Edulp
EDITORIAL DE LA UNLP

A nuestros alumnos que nos incentivan para profundizar en la temática y son el principal destinatario de esta obra.
A los Profesores de Cerealicultura y de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales que nos precedieron y cuyos conocimientos e impulso nos estimularon a integrarnos a la docencia, investigación y extensión.
A nuestras familias y amigos por el constante apoyo en nuestra vida.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de La Plata, que a través de su editorial nos ha apoyado para la realización y publicación de este libro. A la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales que es el ámbito en que desarrollamos nuestro curso. A los docentes e investigadores de los que nos hemos nutrido a través de sus publicaciones y por las fotos e imágenes cedidas para completar esta obra.

Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad de penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.

Albert Einstein

Índice

Introducción _____ 9

María Rosa Simón y Silvina Golik

Capítulo 1

Trigo: origen, sistemática, importancia _____ 10

Silvina Inés Golik

Capítulo 2

Trigo: crecimiento y desarrollo: etapa vegetativa _____ 22

María Rosa Simón

Capítulo 3

Trigo: crecimiento y desarrollo: etapa reproductiva y llenado del grano _____ 34

María Rosa Simón

Capítulo 4

Trigo: siembra, época y densidad _____ 60

Silvina Golik

Capítulo 5

Trigo: fertilización y rotaciones _____ 83

Silvina Golik

Capítulo 6

Trigo: manejo de enfermedades

María Rosa Simón y María Constanza Fleitas _____ 118

Capítulo 7

Trigo: manejo de plagas

Juan Pablo Uranga y Axel Iván Voisin _____ 186

Capítulo 8

Trigo: manejo de malezas _____ 199

Axel Iván Voisin y Juan Pablo Uranga

Capítulo 9

Trigo: rendimiento potencial, subregiones de cultivo _____ 213

Silvina Golik, Axel Iván Voisin, Ana Carolina Castro, Silvina Larrán

Capítulo 10

Trigo pan: calidad _____ 240

Ana Carolina Castro

Capítulo 11

Trigo pan: usos y comercialización _____ 276

Eugenia Esquisabel y Ana Carolina Castro

Capítulo 12

Trigo: mejoramiento _____ 283

María Rosa Simón

Capítulo 13

Trigo fideo _____ 299

Ana Carolina Castro

Capítulo 14

Cebada cervecera: origen, importancia del cultivo, crecimiento y desarrollo _____ 318

María Rosa Simón y Axel Iván Voisin

Capítulo 15

Cebada cervecera: época y densidad de siembra _____ 330

Laura Victoria Da Silva y Juan Ignacio Dietz

Capítulo 16

Cebada cervecera: manejo de enfermedades _____ 345

Silvina Larran

Capítulo 17

Cebada cervecera: fertilización _____ 372

Christian Weber

Capítulo 18

Cebada cervecera: regiones productoras, rotaciones y malezas _____ 379

Christian Weber y Axel Iván Voisin

Capítulo 19

Cebada cervecera: calidad _____ 387

Ana Carolina Castro

Capítulo 20

Cebada cervecera: usos y comercialización _____ 400

Eugenia Esquisabel

Capítulo 21

Cebada cervecera: mejoramiento _____ 415

Silvina Golik

Los autores _____ 438

CAPÍTULO 15

Cebada cervecera: época y densidad de siembra

Laura Victoria Da Silva y Juan Ignacio Dietz

Época de siembra

La época de siembra es una práctica agronómica determinante del rendimiento y calidad de los cultivos, mediante la cual se sincroniza el crecimiento y desarrollo de los cultivos con las condiciones óptimas de temperatura, fotoperiodo, radiación y disponibilidad de agua, según requerimientos en cada una de las etapas fenológicas de los mismos. La época de siembra de la cebada estará condicionada por diversos factores: fecha media de última helada, disponibilidad de agua en el perfil del suelo, cultivar, momento en que debe liberarse el lote (si se plantea como antecesor de un cultivo de segunda), ubicación del período crítico y posibilidad de golpe de calor durante el llenado de grano, entre otros.

Al plantearse la factibilidad de un cultivo en un área determinada, se debe reconocer que las épocas más apropiadas para la siembra y cosecha implican diferencias por región productiva. Es importante no sólo conocer los requerimientos del cultivo sino también considerar las restricciones y limitantes que el clima y el suelo ejercerán sobre el mismo, y adecuar la época de siembra y el ciclo del cultivar de acuerdo a las condiciones específicas de la región cultivable. Numerosos trabajos en cebada (Tomaso & Paleo, 1994; Giménez *et al.* 2004; Giménez *et al.* 2007) han documentado la importancia de la época de siembra según el ciclo del cultivar, en la determinación del rendimiento y la calidad de grano. En este sentido, Tomaso & Paleo (1994), en ensayos realizados en la localidad de Bordenave, encontraron que atrasos en la época de siembra disminuían el rendimiento y el tamaño de los granos en la mayoría de los genotipos, en tanto que Giménez *et al.* (2004) encontraron interacción entre los genotipos y las épocas de siembra, resultando las épocas intermedias las óptimas en rendimiento y tamaño de los granos.

Las condiciones ambientales donde se desarrollarán los cultivos variarán dependiendo de la ubicación geográfica. Un aspecto adicional a considerar es que la superficie destinada al cultivo de cebada en Argentina se incrementó marcadamente durante los últimos años, debido a la expansión geográfica del cultivo dentro de Región Pampeana en particular en zonas ambientalmente contrastantes: (i) una caracterizada por restricciones hídricas de severas a moderadas (sudoeste bonaerense) y (ii) otra definida como de alta potencialidad (sudeste bonaerense) (Abeledo & Miralles, 2011). La superficie sembrada con cebada para la campaña 2020 rondó las 850000 ha (Cattáneo & Cortese, 2020).

La adaptabilidad del cultivo a las diferentes regiones productoras requiere la correcta elección de la fecha de siembra, así como también del cultivar. La cebada es un cereal de invierno que en estas latitudes se siembra en los meses de mayo, junio, julio y en la primera quincena de agosto con temperaturas frías que aseguran la germinación de la semilla [las temperaturas durante la época de siembra se ubican en el rango de 5 a 12 °C dependiendo de la localidad (Miralles *et al.* 2014)], y favorecen la etapa vegetativa del cultivo. En este sentido, gran parte de la zona de cultivo cumple con estos requisitos de temperatura requeridos durante una época bastante amplia, por lo que no sería un factor limitante para la siembra del cultivo. Además, la época de siembra determinará las buenas condiciones de radiación y temperatura durante el período crítico del cultivo, minimizando el riesgo de heladas tardías durante la floración y de golpes de calor durante el llenado de granos. Asimismo, la cosecha coincidirá con los meses de noviembre, diciembre y eventualmente los primeros días de enero, con condiciones de temperatura y humedad adecuadas para el correcto secado de los granos.

En lo que respecta a los requerimientos edáficos, la cebada responde muy bien a suelos de textura liviana (franco, franco limoso, y franco arcilloso) y profundos (Beratto, 2001), con niveles óptimos de pH entre 6.0 a 8.5, siendo susceptible a suelos ácidos (pH 5.2 o inferiores) y tolerante a suelos alcalinos (Beratto, 2001). Es fundamental que la siembra se realice con buenas condiciones de humedad en el suelo y que la misma sea suficiente para la buena implantación del cultivo. No obstante, excesos de humedad en las primeras etapas del cultivo puede ocasionar pérdida de plantas.

Fecha de siembra y elección del cultivar

La fecha de siembra y elección del cultivar son dos prácticas agronómicas que fijan el ambiente en el que crecerán y se desarrollarán las plantas, determinando el rendimiento y la calidad de grano a cosecha; ambos parámetros deben ser definidos al inicio del planteo productivo. El impacto en el rendimiento de heladas durante las etapas de floración (y en menor medida en etapas de llenado de granos) ha sido ampliamente documentado en cereales de invierno (Dolferus *et al.*, 2011; Fredericks *et al.*, 2015; Martino & Abbate, 2019); por ello la correcta elección de la fecha de siembra debe considerar la fecha de ocurrencia de última helada, la cual es variable según la zona de producción. En cebada, además, es fundamental considerar la probabilidad de golpes de calor durante el llenado de granos, debido a la importancia de la calidad en este cultivo.

Definida la fecha de última helada, se deben considerar los requerimientos térmicos de los cultivares para adecuar los mismos a la duración de la estación de crecimiento. La estación de crecimiento disponible para un cultivo está determinada por el período de ocurrencia de heladas y por la diferente sensibilidad a las mismas que presenta cada una de las especies. El criterio antes expuesto no implica la elección de una única fecha de siembra y ciclo del cultivo, sino un límite de referencia dentro del cual los distintos genotipos pueden producirse en función de otras restricciones. Es importante destacar que la fecha de última helada para

cada localidad presenta una fuerte variación entre años. Además, en la mayor parte de la región Pampeana se ha observado, en los últimos años, el retraso en la fecha de primeras heladas y el adelantamiento de las últimas heladas, determinando un periodo libre de heladas más amplio (Fernández Long *et al.*, 2005). Definida la fecha de última helada debe considerarse el régimen de precipitaciones de cada región, siendo otra variable importante a considerar al momento de establecer la fecha de siembra más adecuada, ya que períodos de lluvia y sequía determinarán la disponibilidad de los recursos hídricos impactando en la productividad de los sistemas agropecuarios.

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. En sistemas de producción en seco, las precipitaciones ocurridas durante el ciclo son la principal fuente de agua para el cultivo. Del mismo modo, el rendimiento en cebada, al cultivarse en una estación seca como el invierno, guarda una estrecha relación con el agua disponible almacenada en el perfil del suelo a la siembra (Moeller *et al.*, 2009; Anderson, 2010). Esto cobra gran importancia en el cultivo de cebada ya que este es tradicionalmente realizado en regiones sub-húmedas a semiáridas (Acevedo & Fereres, 1993). Una menor disponibilidad de agua durante el establecimiento del cultivo (fase siembra-emergencia), y principalmente durante el periodo crítico para la definición del número de granos.m⁻², ocasionarán una reducción del rendimiento potencial, por ello es fundamental adecuar el ciclo de cultivo a disponibilidad hídrica del ambiente, ubicando el periodo crítico fuera de los momentos de mayor estrés. De acuerdo con Magrín (1990), la fecha de anthesis se adelantaría con un estrés hídrico moderado y se retrasaría con un estrés más severo, pudiendo modificarse la fecha en que finaliza el periodo de crecimiento de la espiga. En contrapartida, aumentos de humedad durante el llenado de granos propician la aparición de enfermedades fúngicas foliares como el complejo de royas y manchas. Por lo tanto, establecida la ubicación del periodo crítico, la fecha óptima de floración y el periodo de llenado de grano en función del ciclo del cultivar, del bajo riesgo de ocurrencia de heladas tardías, requerimientos térmicos y de la disponibilidad de agua se puede definir la fecha de siembra óptima.

Cualquier planteo productivo busca obtener altos rendimientos, y tanto la fecha de siembra como la elección del cultivar son dos herramientas fundamentales para dicho fin. Asimismo, en cebada, la obtención de granos de calidad es de mayor trascendencia que en otros cultivos, debido a su uso industrial, en la elaboración de cerveza.

Efecto de la fecha de siembra sobre factores ambientales explorados por el cultivo

En un cultivo sin limitantes de agua, suelo, nutrientes y libre de adversidades, el crecimiento y desarrollo dependen de la radiación solar que intercepta, la vernalización (en aquellos genotipos con requerimientos) y del largo del día (fotoperiodo), de la temperatura. Numerosos trabajos en cebada mencionan que dichos factores son responsables y condicionantes del creci-

miento y desarrollo (Roberts *et al.*, 1988; Miralles *et al.*, 2011; Miralles *et al.*, 2014; Dietz; 2021), siendo la sensibilidad a cada factor variable entre los genotipos. Como estos factores varían marcadamente durante el año, la modificación de la fecha de siembra determinará un cambio en el ambiente que explorarán las plantas (Otegui & López Pereira, 2003).

Vernalización y fotoperiodo

Como ha sido descripto previamente la temperatura, la vernalización y el fotoperiodo son los factores que modifican la tasa de desarrollo en cereales de invierno, siendo responsables de los cambios en la duración de la etapa emergencia- floración (DEF). Cambios en las fechas de siembra modificarán las horas de frío brindadas por el ambiente, las cuales tendrán implicancias sobre el desarrollo del cultivo en aquellos genotipos con respuesta a la vernalización. El estudio de la interacción entre vernalización y fecha de siembra en una localidad determinada es de gran importancia, ya que pueden darse situaciones tales como el caso de localidades sin horas de frío, retrasos o adelantos en las fechas de siembra, y por lo tanto conocer la respuesta de los genotipos de cebada bajo esas condiciones resulta de interés. Dietz (2021) estudiando el efecto de la vernalización y el fotoperiodo en cereales de invierno, encontró que retrasos en las fechas de siembra ocasionaron un aumento en la duración de la etapa emergencia a floración (medida en °C día) en aquellos genotipos con requerimientos de vernalización (siendo de diferente magnitud según genotipos), lo cual se asoció a la menor cantidad de horas de frío brindadas por el ambiente a medida que se desplazaron las fechas de siembra. Si bien en la actualidad los cultivares de cebada sembrados en Argentina no presentan requerimientos de vernalización (Alzueta *et al.*, 2014; Dietz, 2021), la mejora continua del germoplasma e incorporación de nuevos materiales podría cambiar dicha situación.

Al igual que lo anteriormente expuesto para vernalización, cambios en las fechas de siembra modifican el fotoperiodo al cual son expuestas las plantas, afectando la duración de las etapas de desarrollo y con ello el rendimiento y calidad del cultivo de cebada. Al adelantar la fecha de siembras las plantas estarán expuestas a fotoperiodos más cortos durante las etapas iniciales de su ciclo, y a la inversa cuando se retrasa la misma. La respuesta fotoperiódica en cebada varía según la sensibilidad de los cultivares a dicho factor (Miralles *et al.*, 2003; Alzueta *et al.*, 2014; Dietz, 2021), determinado la adaptabilidad al ambiente. En este sentido, Dietz (2021) encontró diferencias en la duración de la etapa emergencia-floración en genotipos argentinos de cebada, en respuesta a cambios en la fecha de siembra. El autor señala que incrementos en la duración del día reducen la duración de la etapa (medida en °C día) y por lo tanto, en cebadas argentinas, al no mostrar requerimientos de vernalización, el ciclo a anthesis dependerá de la fecha de siembra (que modifica el fotoperiodo).

Al efecto del fotoperiodo sobre la duración de las etapas de desarrollo (aceleración de la tasa de desarrollo), hay que sumarle el mismo efecto que causa el aumento de las temperaturas medias, como resultado del retraso en la fecha de siembra. Cuando las plantas son expuestas a temperaturas más elevadas, las etapas transcurren más rápidamente (Slafer *et al.* 2003) lo que ocasionará fuertes acortamientos de las etapas, y por consiguiente caídas en el rendimiento.

Radiación y temperatura

Otros aspectos a tener en cuenta, los cuales resultan limitantes para la elección de la fecha de siembra, son la radiación y las temperaturas máximas y mínimas sobre la óptima establecida para cada cultivo, principalmente en la etapa considerada crítica para la determinación del rendimiento y también para la etapa de llenado de granos. No obstante, temperaturas sub y supra-óptimas pueden tener efectos negativos sobre las diferentes etapas fenológicas.

La interacción ente radiación y temperatura en un ambiente dado sobre la definición de la productividad potencial de un cultivo, se ha traducido en una relación que permite explicar satisfactoriamente el rendimiento en cereales de invierno, esta relación ha sido denominada cociente fototermal (Otegui & López Pereira, 2003). La fecha de siembra determina el cociente fototermal que cada cultivo explorará a lo largo de su ciclo y, especialmente, durante las etapas críticas para la determinación de rendimiento. Aunque el rendimiento potencial de los cultivos podría maximizarse eligiendo fechas de siembra que tiendan a ubicar los periodos críticos del cultivo en épocas con relaciones fototermales altas, la presencia de restricciones de mayor importancia (heladas tardías, disponibilidad hídrica) impide el uso de este criterio como elemento de decisión (Otegui & López Pereira, 2003). En la región Pampeana, las heladas tardías determinan que la espigazón en cebada deba ocurrir con posterioridad a los meses agosto-septiembre, momentos en que el cociente fototermal es máximo.

Temperaturas superiores a la denominada óptima, particularmente durante el periodo de llenado de granos de los cultivos, es otra variable a considerar al momento de seleccionar la fecha de siembra. Evans *et al.* (1978) señalan que en cebada el crecimiento inicial de los granos ocurre en forma óptima con temperaturas de 16 a 19 ° C, y hacia el final de la etapa de llenado de granos, la temperatura óptima es de 24 ° C. Además, varios autores (Schelling *et al.*, 2003) afirman que la duración del periodo de llenado del grano influye en el rendimiento y calidad de la cebada. Temperaturas moderadamente altas (25 a 32°C) durante todo el período ocasionarán una aceleración de los procesos, provocando un aumento en la tasa de llenado de los granos con consiguiente reducción del peso individual de los mismos, y un aumento en la tasa de desarrollo del cultivo reduciendo la duración del periodo (Slafer *et al.*, 2003). El grado de disminución en el peso de los granos dependerá del genotipo, el ambiente y la duración e intensidad de las altas temperaturas. Estas temperaturas moderadamente altas durante el llenado de los granos también pueden tener efectos negativos sobre la composición de estos afectando calidad. El grado de estrés térmico va a depender de la intensidad (moderadamente alta o muy alta) y del régimen de las temperaturas (crónico o intermitente). Al respecto, estudios realizados en trigo por Wardlaw *et al.* (2002) demostraron que el efecto de breves periodos de temperaturas muy altas (>32°C) resultó más perjudicial sobre el peso y la composición de proteínas de grano que el efecto de temperaturas moderadamente elevadas sostenidas durante un período más largo. Con relación a los efectos de breves periodos (3-5 días) de muy altas temperaturas durante el llenado de los granos, diferentes autores (Stone & Nicolas, 1994; Savin *et al.*, 1996) han documentado reducciones en el rendimiento de cebada por disminución tanto en el número como en el peso de los granos.

Efecto de la fecha de siembra en el rendimiento

La elección de la fecha de siembra es una de las prácticas agronómicas más importantes en la determinación del rendimiento de los cultivos sin implicar un cambio en los costos de producción. Como ya ha sido mencionado, la fecha de siembra determina el ambiente que explorará cada cultivo, lo cual repercute en la duración de las etapas ontogénicas que conforman el ciclo de las plantas y en la capacidad de capturar radiación solar. Por ello, es importante estimar los efectos que pueden causar un retraso o anticipo de la fecha de siembra por factores no previstos.

El rendimiento en los cereales suele ser expresado mediante sus dos principales componentes numéricos, el número de granos.m⁻² y el peso promedio de los mismos (Slafer & Rawson, 1994). Numerosas evidencias en cereales de invierno (Slafer *et al.*, 2003; Peltonen-Sainio *et al.*, 2007; Fischer, 2008) han demostrado que, de los dos componentes, el primero es el que mejor explica las variaciones en el rendimiento final. Aunque el número de granos.m⁻² se forma durante todo el ciclo, es posible identificar un momento más breve (*i.e.* periodo crítico) en el cual mermas en la disponibilidad o captación de recursos, provocan las mayores reducciones en el rendimiento. Por ello, los cultivos se deben manejar de forma tal que los períodos críticos para la determinación del rendimiento ocurran en momentos donde las condiciones ambientales son las más favorables para el crecimiento.

En cebada, el número de espigas es el componente principal en la determinación del número de granos.m² (Arisnabarreta & Miralles, 2008), y, por lo tanto, del rendimiento. Las mejores estrategias de manejo tendientes a incrementar el número de granos se centran en aumentar el número de sitios potenciales de formación de futuras espigas, de manera que con un mismo nivel de pérdida de sitios potenciales las caídas de rendimiento sean menores. El momento en que se genera el número potencial de espigas es durante el macollaje, por ello la importancia de propiciar el aumento en la duración de esta etapa. El inicio de macollaje dará comienzo a un período de generación de nuevos vástagos que alcanzarán el máximo de producción coincidiendo aproximadamente con el inicio de encañazón, luego del cual comenzará la mortandad de los mismos hasta establecerse el número final de vástagos fértiles en floración (número de espigas.m⁻²) (Slafer *et al.*, 2003). El alargamiento del macollaje, puede lograrse a través de adelantos en la fecha de siembra.

El efecto de la fecha de siembra sobre la generación de biomasa y rendimiento de los genotipos dependerá del ciclo de los mismos, en cultivares de ciclo largo y siembras tempranas, las plantas al ser expuestas a menores valores de radiación, temperaturas y fotoperiodos más cortos, experimentan una reducción de la tasa crecimiento y de desarrollo, aumentando el periodo vegetativo por mayor número de días (n), lo que se traduce en mayor acumulación de biomasa, macollos, espigas y en consecuencia número de granos. En genotipos de ciclo corto, el efecto de la fecha de siembra sobre el macollaje es menor. En este sentido, (Giménez *et al.* 2007) afirman que los cultivares de ciclos largos deben ser sembrados en épocas tempranas para obtener altos rendimientos. Además, los autores sostienen que para condiciones que no permitan realizar siembras tempranas o se siembren en lotes con limitantes, los genotipos de

ciclo más corto (si bien en algunos casos muestran un potencial de rendimiento menor), ofrecen una mayor estabilidad. De igual manera, Ventimiglia & Torrens Baudrix (2012), señalan que siembras tempranas resultan beneficiosas a pesar de existir riesgos de heladas tardías, asociándose a incrementos en el rendimiento de grano.

Las condiciones ambientales que se presentan durante el periodo crítico de la cebada; i.e. alrededor de floración, van a tener efecto sobre el rendimiento y calidad de grano. En este sentido, diferentes autores (Slafer *et al.*, 2003) coinciden en que el mayor número de granos (y en consecuencia mayor rendimiento) dependerá de (i) el estado del cultivo al momento de iniciar el periodo crítico y (ii) de las condiciones de que disponga el cultivo durante ese período, de allí la importancia de la correcta elección de la fecha de siembra.

Cuando se retrasa la fecha de siembra, disminuye el riesgo de ocurrencia de heladas durante la etapa de floración, sin embargo, aumenta la probabilidad de que el cultivo quede expuesto a un estrés térmico durante las etapas críticas para la determinación del rendimiento y calidad de granos. La ocurrencia de altas temperaturas durante el llenado de granos y el resultado final tanto sobre el rendimiento, como calidad, ocasionada por el estrés térmico, es tan común y universal que muchas veces no se tiene en cuenta su efecto. Se han documentado en cereales de invierno reducciones del 10 al 15 % en el rendimiento (Wardlaw & Wrigley, 1994; Tewolde *et al.*, 2006), y del 5 al 30% en el peso de los granos (Savin *et al.*, 1997), debido a las altas temperaturas durante la etapa posterior a la floración (i.e. llenado de granos). Se debe tener en cuenta que cuanto más temprano en el periodo del llenado de grano se dé el estrés por altas temperaturas, mayor será la reducción esperada en el peso de los granos (Savin & Nicolas, 1999).

Siembras tardías y genotipos de ciclo medio y largo harán que el período de maduración coincida con épocas donde son frecuentes los días de alta temperatura y con vientos desecantes. Estos fenómenos traerán no sólo una baja en el rendimiento final, sino fundamentalmente un menor tamaño de grano, con mayor cantidad de proteínas, deteriorando, en consecuencia, la calidad comercial de la cebada (Cattáneo, 1993).

¿Cómo optimizar la ubicación de la fecha de floración?

En los últimos años, el desarrollo de modelos de simulación ha sido una estrategia novedosa para calcular el momento de floración en cereales como trigo y cebada. Algunos de estos modelos incluyen una caracterización de la fenología de los cultivares en estudio, permitiendo calcular la fecha de siembra en función de la fecha de floración. Un ejemplo son los modelos CRONOS® (<http://cronos.agro.uba.ar>) (Alzueta *et al.*, 2014); los cuales se caracterizan por su practicidad y sencillez de uso. Su uso se fundamenta en la respuesta que presentan los distintos cultivares a la temperatura y al fotoperiodo, como factores reguladores del desarrollo del cultivo. En estos modelos de simulación conformados por un software on-line, el usuario debe elegir la especie, el cultivar y el sitio (dentro de la región Pampeana), y en función de una fecha de siembra propuesta, el modelo arrojará como variable respuesta la fecha media de anthesis esperada. Dichos modelos también permiten predecir el momento de ocurrencia, tanto en días calendarios como en unidades térmicas, de otros eventos ontogénicos (emergencia, madurez)

así como la probabilidad de riesgo de heladas en antesis y la probabilidad de golpes de calor durante el llenado de los granos.

Densidad de siembra

Las decisiones de manejo deberían apuntar a ubicar los periodos críticos para la generación del rendimiento bajo las mejores condiciones que brinde un ambiente. En este sentido, algunas prácticas de manejo como la densidad de siembra, la fecha de siembra y la elección del genotipo, tienen un gran impacto sobre el resultado económico final.

El primer paso a cumplir para que la cebada exprese su potencial genético es lograr una buena implantación del cultivo. La densidad de siembra es una práctica de manejo cuyo objetivo es maximizar la captación de recursos (radiación solar, agua, nutrientes, etc.) durante todo el ciclo del cultivo de cebada, aunque principalmente durante el periodo crítico para la definición del número de granos.m⁻², condicionando la biomasa aérea acumulada y el rendimiento alcanzable.

La competencia intra-específica es el factor que modula la respuesta del cultivo a la densidad. La respuesta a un amplio rango de variaciones en la densidad en el cultivo de cebada es explicada por un modelo asintótico tanto para la biomasa aérea como para el rendimiento (Willely & Holliday, 1971).

La densidad óptima es aquella que produce el mayor rendimiento (y... en la Figura 1) con el menor número de plantas (x... en la Figura 1), es decir que el agregado de plantas adicionales no produce incrementos del rendimiento. Además, suele utilizarse el concepto de densidad óptima económica, el cual tiene en cuenta el costo de la semilla, es decir, convendrá aumentar la densidad hasta el punto en que el valor del rendimiento adicional compense el costo del agregado de semilla. La determinación de esta densidad resulta de importancia, ya que el costo de la semilla es de gran importancia en el margen bruto del cultivo, y por lo tanto se utilizará la lógica de sembrar la menor cantidad de semilla que permita alcanzar los mayores rendimientos. Densidades mayores a la óptima pueden afectar las relaciones de competencia por recursos entre plantas, pudiendo darse tres tipos de efectos: mortalidad dependiente de la densidad, efectos compensatorios entre tamaño y densidad, y alteración de la estructura de la población (Park *et. al.*, 2003). Si la densidad de siembra resulta demasiado elevada, puede provocar alta mortandad de plantas por competencia.

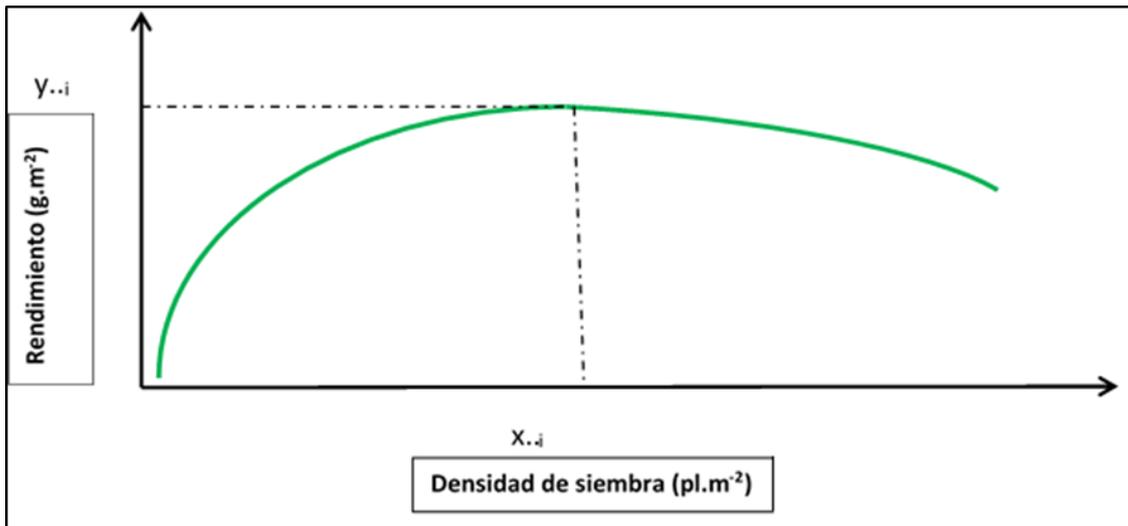


Fig. 15.1. Esquema teórico de la respuesta del rendimiento a la densidad de plantas en el cultivo de cebada; donde x_1 representa la mínima densidad de plantas que maximiza el rendimiento.

El valor de densidad óptima dependerá tanto de las condiciones del ambiente como del cultivar (interacción *genotipo* × *ambiente*). Por ello, es fundamental tener en cuenta que densidades que resulten óptimas para un ambiente, pueden ser insuficientes o excesivas para otro de diferentes condiciones.

Diversos trabajos realizados por el INTA así como también la Red Nacional de Cebada Cervecera (Lauric *et al.*, 2009; Lauric *et al.*, 2010; Conti *et al.*, 2021) recomiendan una densidad de siembra desde 220 a 250 plantas.m⁻². La densidad óptima varía en función de la fecha de siembra (determinante del ambiente explorado por el cultivo), de la oferta de agua y nutrientes, y del cultivar. Por lo tanto, modificaciones en alguna de las variables implica modificar también la densidad de forma tal de mantener la productividad del cultivo. Retrasos en las fechas de siembra, causarán un acortamiento del ciclo de cultivo; en particular de la etapa de macollaje, ocasionando caídas en el número de espigas y que repercutirán sobre el rendimiento. Por ello, ante demoras en la fecha de siembra la mejor estrategia es aumentar en la densidad de siembra.

Por otro lado, condiciones de déficit hídrico o escasez de nutrientes, conllevan a disminuir la densidad óptima (ya que la oferta de recursos es menor) y en consecuencia el rendimiento óptimo logrado. En este sentido, Ross (2012) sugiere que en ambientes con limitantes ambientales es conveniente utilizar densidades medias a bajas (180-220 plantas.m⁻²) según fecha de siembra. En su trabajo, realizado en Barrow sobre el cultivo de cebada, con tres densidades de siembra (198, 225 y 261 plantas.m⁻²), encontró que la densidad de siembra no tuvo efecto sobre el rendimiento y la proteína, pero sí sobre el peso de mil granos (PMG) y el calibre, por lo cual la densidad menor sería la óptima para las condiciones del lugar. Ante escenarios de baja disponibilidad hídrica, una densidad de siembra menor promueve un uso conservativo del agua durante el período vegetativo al reducir la cobertura vegetal y dirigir una mayor proporción de radiación hacia la superficie seca del suelo, más resistente a la pérdida de agua que el cultivo (Alessi & Power, 1976), lo que puede aumentar la disponibilidad de agua en etapas reproductivas en aquellos sistemas sometidos a sequías progresivas y severas y que dependen del agua

de reserva en el suelo. En ambientes pobres, es conveniente utilizar densidades moderadas, porque las pérdidas de rendimiento por el uso de densidades supraóptimas en años secos, es generalmente mayor que el potencial de rendimiento no explotado por utilizar densidades subóptimas en los años de buena disponibilidad hídrica. Sin embargo, en ambientes sin limitantes hídricas y buen manejo nutricional y sanitario, los mayores rendimientos se obtienen con densidades altas.

Espaciamiento

El arreglo espacial del cultivo es una práctica de manejo complementaria a la densidad de siembra, definido como la distancia existente entre hileras, y entre plantas dentro de la hilera; i.e. rectangularidad, es una práctica complementaria a la elección de la densidad de siembra. El espaciamiento entre hileras puede determinar una mejora en la distribución espacial de las plantas, permitiendo una mejor captación de recursos por planta. Puede ocurrir que para una misma densidad aumentos en las distancias entre hileras (Figura 2) disminuyan la rectangularidad (disminuye la distancia entre plantas dentro de la hilera), y en algunas oportunidades esta estrategia puede determinar un menor aprovechamiento de los recursos y/o mayor competencia entre plantas dentro de la hilera, con consecuente reducción del rendimiento (Chen *et al.*, 2008). Usualmente se sostiene que rectangularidades más cercanas a 1 dan los mejores rendimientos, sin embargo existen controversias.

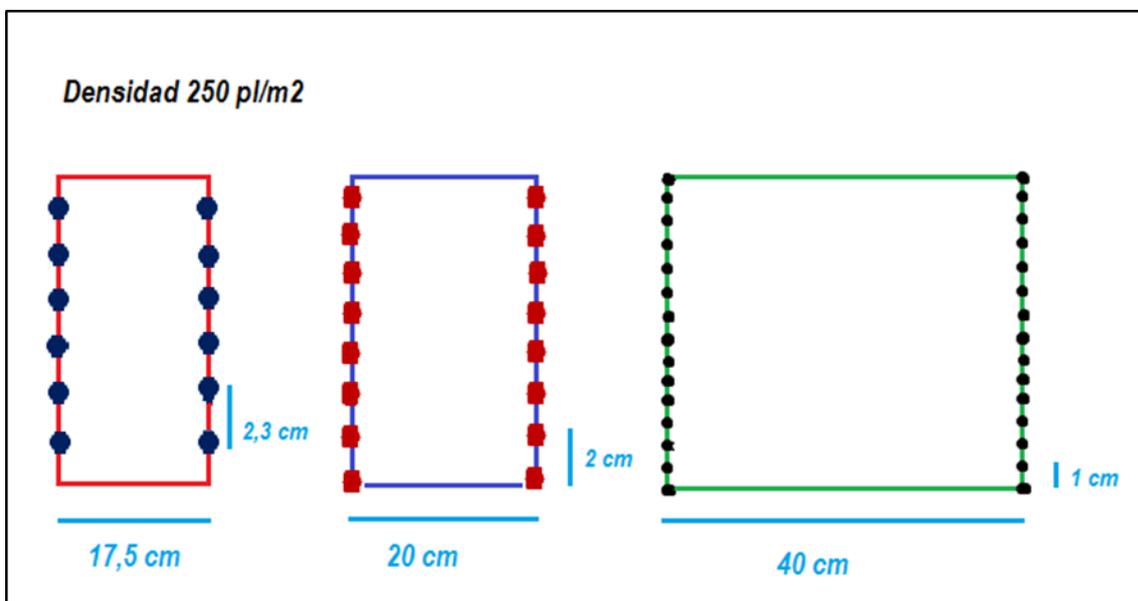


Fig. 15.2. arreglos espaciales en cebada para una densidad de siembra de 250 pl.m⁻², determinando diferentes rectangularidades (1er arreglo: 17,5 cm x 2,3 cm; 2do arreglo: 20 cm x 2 cm; 3er arreglo: 40 cm x 1 cm).

Cereales de invierno como trigo y cebada pueden sostener altos rendimientos en una gran amplitud de espaciamientos de siembra, debido a su capacidad de compensación entre los componentes de rendimiento (Lafond, 1994; Satorre, 2000; Hoffman *et al.*, 2009). Numerosos

trabajos (Marshall & Ohm, 1987; Johnson *et al.*, 1988; Freeze & Bacon, 1990) señalan que la reducción del espaciamiento entre hileras se asocia a mejoras en el rendimiento de grano; como consecuencia del anticipo en la cobertura del suelo, el mejor aprovechamiento de la radiación incidente, el incremento de la producción temprana de biomasa y la reducción en la competencia de malezas. Este efecto resulta de mayor importancia cuando las condiciones de producción reducen el desarrollo y/o crecimiento inicial del cultivo (Kruk & Satorre, 2003). En igual sentido, Pelagagge *et al.* (2014) hallaron que el rendimiento en genotipos argentinos de trigo se redujo en respuesta al aumento del espaciamiento entre surcos, y el efecto dependió de la variedad. En dicho trabajo, los espaciamientos de 20 y 26 cm alcanzaron los mayores rendimientos, diferenciándose de los espaciamientos de 40 y 52 cm. Además, pudo observarse un comportamiento diferencial entre variedades, ya que una variedad de porte erecto y menos macolladora mostró una caída lineal del rendimiento a medida que aumentó el distanciamiento, en tanto que otra variedad de porte semi-rastrero y más macolladora sostuvo el rendimiento al cambiar el espaciamiento de 20 a 26 cm. Asimismo, el espaciamiento de los surcos afectó a la biomasa producida en las dos variedades; de igual manera que lo hizo con el rendimiento, sin afectar al índice de cosecha ni la eficiencia del uso de la radiación. Sin embargo, estudios realizados por Lafond (1994) encontraron el efecto inverso, ya que en dicho trabajo el espaciamiento a 30 cm se asoció con rendimientos mayores al de los espaciamientos a 10 y 20 cm, siendo el que mejor se adaptó para un amplio rango de condiciones de ambiente.

Como ha sido previamente mencionado, el sudoeste bonaerense es una de las principales zonas productoras de cebada en nuestro país, siendo el déficit hídrico es el factor que más impacta sobre el rendimiento. En los últimos años, con el objetivo de darle estabilidad al rendimiento de los cereales de invierno, y de esta manera minimizar el riesgo económico, se han estudiado posibles cambios en la densidad y distribución espacial de las plantas, ya que estas prácticas determinan la estructura del cultivo, la producción de macollos y biomasa aérea, el consumo de agua durante el macollaje, entre otros. Resultados preliminares (González Serain & Vallejos, 2015) demostraron que las densidades y distanciamientos ensayados no afectaron el rendimiento, aunque los autores afirman que debido a que las precipitaciones durante el ensayo fueron superiores a las normales, serán necesarias mayores investigaciones para recomendar disminuciones en las densidades de siembra y aumentos en los distanciamientos entre hileras.

Referencias

Abeledo, L.G. & Miralles, D.M. (2011) ¿Qué cambios presentaron en los últimos años los sistemas de producción de trigo y cebada en Argentina? En S. Valle, C. Lizana, D. Calderini (Eds.), *Sistemas de Producción de Trigo y Cebada: Decisiones de manejo en base a conceptos ecofisiológicos para optimizar el rendimiento, la calidad y el uso de los recursos*. Universidad de Valdivia - CYTED, Valdivia, Chile. (39-54). Recuperado de: <http://www.metrice.udl.cat/es/>

- Acevedo, E.H., & Fereres, E. (1993). Resistance to abiotic stresses. *Plant Breeding*, 406-421.
- Alessi, J. & Power, J.F. (1976). Water use by dryland corn as affected by maturity class and plant spacing. *Agronomy Journal*, 68, 547-550.
- Alzueta, I., Arisnabarreta S., Abeledo, L.G. & Miralles, D.J. (2014). A simple model to predict phenology in malting barley based on cultivar thermo-photoperiodic response. *Computers and electronics in agriculture*, 107, 8-19.
- 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, 14-22.
- Arisnabarreta, S., & Miralles, D.J. (2008). Critical period for grain number establishment of near isogenic lines of two-and six-rowed barley. *Field Crops Research*, 107, 196-202.
- Beratto, E. (2001). Cebada y Avena. Agenda del Salitre. *Sociedad Química y Minera de Chile*, (577- 591).
- Cattáneo, M. (1993). Primera Jornada De Actualización Técnico-Económica Del Cultivo De Cebada Cervecera. Publicaciones de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (59-61).
- Chen, C., Neill, K., Wichman, D. & Westcott, M. (2008). Hard red spring wheat response to row spacing, seeding rate, and nitrogen. *Agronomy Journal*, 100, 1296-1302.
- Conti, V., Moreyra, F., González, G., González, A. & Giménez, F. (2021). Red Nacional de Cebada Cervecera - REC Campaña 2020- EEA INTA Bordenave. Disponible en: <https://inta.gob.ar/documentos/red-nacional-de-cebada-cervecera-rec-campana-2020>
- Dietz, J.I. (2021). Determinación del periodo crítico y requerimientos de fotoperiodo y vernalización en avena. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de la Plata (144). Recuperado de: <https://doi.org/10.35537/10915/116959>
- Dolferus, R., Ji, X., & Richards, R.A. (2011). Abiotic stress and control of grain number in cereals. *Plant Science*, 181, 331-341.
- Evans, L.T., Wardlaw, I.F. & Fischer, R.A. (1978). Wheat. En L.T Evans (Ed.), *Crop Physiology* (101-149). Cambridge University Press, GB.
- Evans, L.T. & Fischer, R.A. (1999). Yield potential: its definition, measurement, and significance. *Crop Science*, 39, 1544–1551.
- Frederiks, T.M., Christopher, J.T., Sutherland, M. W., & Borrell, A. K. (2015). Post-head-emergence frost in wheat and barley: defining the problem, assessing the damage, and identifying resistance. *Journal of Experimental Botany*, 66, 3487-3498.
- Martino, D.L., & Abbate, P.E. (2019). Frost damage on grain number in wheat at different spike developmental stages and its modelling. *European Journal of Agronomy*, 103, 13-23.
- Fernández-Long, M.E., Müller, G.V., Beltrán-Przekurat, A., & Scarpati, O.E. (2013). Long-term and recent changes in temperature-based agroclimatic indices in Argentina. *International Journal of Climatology*, 33, 1673-1686.
- Fischer, R.A. (2008). The importance of grain or kernel number in wheat: a reply to Sinclair and Jamieson. *Field Crops Research* 105, 15-21.
- Freeze, D.M. & Bacon, R.K. (1990). Row spacing and seed-rate effects on wheat yields in the mid-south. *Journal of Production Agriculture*. 3, 345-348.

- Giménez, F., Aquino, H. & Tomaso, J.C. (2004). VI Congreso Nacional de Trigo y IV Simposio Nacional de Cultivos de Siembra Otoño-Invernal. Bahía Blanca.
- Giménez, F., Conti, V., Moreyra, F. & Tomaso, J.C. (2007). Efecto de la época de siembra sobre los caracteres económicos en genotipos de cebada cervecera. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Bordenave, ARG. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp_4_efecto_de_la_poca_de_siembra.pdf
- González Serain, T. & Vallejos, A. (2015). Influencia del distanciamiento entre hileras y dosis de siembra en el cultivo de cebada (*Hordeum vulgare*) sobre el rendimiento y sus componentes. Universidad Nacional del Sur.
- Hoffman, E., Viega, L., Cadenazzi, M., Benítez, A., Gestido, V., Mesa, P. & Glison, N. (2009). Bases morfo-fisiológicas que justifican el manejo diferencial de cultivares de trigo y cebada en Uruguay. En *Simposio Nacional de Agricultura de Secano (1º, 2009, Paysandú, Uruguay)*. (49-74). *Memorias*. Paysandú, Facultad de Agronomía.
- Johnson, J.W., Hargrove, W.L. & Moss, R.B. (1988). Optimizing row spacing and seeding rate for soft red winter wheat. *Agronomy Journal*. 80, 164-166.
- Kruk, B. & Satorre, E.H. (2003). Densidad y arreglo espacial de cultivo. En Satorre, E.H., Benech R. Arnold, G. Slafer, E. de La Fuente, D. Miralles, M. Otegui, R. Savin (Eds.) *Producción de granos, bases funcionales para su manejo (277-316)*. Buenos Aires: FAUBA.
- Lafond, G.P. (1994). Effects of row spacing, seeding rate and nitrogen on yield of barley and wheat under zero-till management. *Canadian Journal of Plant Science*, 74, 703-711.
- Lauric, A., Marinissen, A., Torres Carbonell, C. & Loewy, T. (2009). Efecto de la fertilización nitrogenada en el cultivo de cebada en un año de sequía. EEA INTA Bordenave. Recuperado de: <https://www.profertil.com.ar/wp-content/uploads/2020/08/efecto-de-la-fertilizacion-nitrogenada-en-cebada-en-un-ao-de-sequia.pdf>
- Lauric, A., Marinissen, A. & Torres Carbonell, C. (2010). Cebada Cervecera: Experiencia local Fertilización nitrogenada de cebada cervecera en un año seco - Campaña 2008/09. EEA INTA Bordenave. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-1_experiencia_en_cebada_cervecera.pdf
- Magrín, G. (1990). Thèse Doct. Ing., ENSA, Montpellier (80).
- Marshall, G.C. & Ohm, H.W. (1987). Yield responses of 16 winter wheat cultivars to row spacing and seeding rate. *Agronomy. Journal* 79, 1027-1030.
- Miralles D.J., Windauer, L.B. & Gomez, N. F.G. (2003). Factores que reglan el desarrollo de los cultivos de granos. En E.H. Satorre et al. (Eds.), *Producción de Granos: bases funcionales para su manejo (61-71)*. Buenos Aires: FAUBA.
- Miralles, D. (2004). Consideraciones sobre ecofisiología y manejo de Trigo. Información técnica de trigo. Campaña, (1-7).
- Miralles, D.J, Arisnabarreta, S. & Alzueta, I. (2011). Desarrollo ontogénico y generación del rendimiento. En. D.J Miralles, R.L. Benech-Arnold, L.G Abeledo (Eds.), *Cebada cervecera (1-34)*. Buenos Aires: FAUBA.

- Miralles, D., González, F., Abeledo, L., Serrago, R., Alzueta, I., & García, G. (2014). En R.P. San Caledonio, P. Lo Valvo (Eds.), *Manual de trigo y cebada para el Cono Sur: procesos fisiológicos y bases de manejo* (56). Buenos Aires: Orientación Gráfica.
- 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 fertilizer and sowing decisions. *Field Crops Research*, *114*, 127-136.
- Otegui, M.E. & López Pereira, M. (2003). Fecha de Siembra. En: E.H. Satorre *et al.* (Eds.), *Producción de Granos: bases funcionales para su manejo* (259-275). Buenos Aires: FAUBA.
- Park, S.E, Benjamin, L.R. & Watkinson, A.R. (2003). The theory and application of plant competition model: an agronomic perspective. *Annals of Botany* *92*, 741-748.
- Pelagagge, G., Gómez, D., Frascina, J. & Pagnan, F. (2014). Efecto del espaciamiento entre surcos sobre el rendimiento en dos cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.). Informe de actualización técnica. EEA Marcos Juárez.
- Peltonen-Sainio, P., Kangas, A., Salo Y. & Jauhiainen L. (2007). Grain number dominates grain weight in temperate cereal yield determination: evidence based on 30 years of multi-location trials. *Field Crops Research*, *100*, 179-188.
- Roberts, E.H., Summerfield, R.J., Cooper, J.P. & Ellis, R.H. (1988). Environmental control of flowering in barley (*Hordeum vulgare* L). I Photoperiod limits to long-day responses, photoperiod-insensitive phases and effects of low temperature and short-day vernalization. *Annals of Botany* *62*, 127-144.
- Ross, F. (2012). Densidad, fertilización y uso de funguicida en cebada cv. Scarlett. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_maa_barrow_densidad_fertilizacin_y_funguici.pdf
- Satorre, E.H. (2000). Plant density and distribution as modifiers of growth and yield. En E.H. Satorre, G.A. Slafer (Eds), *Wheat, Ecology and Physiology of Yield Determination* (141-160). Food Products Pres.
- Savin, R. Stone, P.J., Nicolas, M.E. (1996). Responses of grain growth and malting quality of barley to short periods of high temperature in field studies using portable chambers. *Australian Journal of Agricultural Research*, *47*, 465-477.
- Savin, R. & Nicolas, M. E. (1999). Effects of timing of heat stress and drought on growth and quality of barley grains. *Australian Journal of Agricultural Research*, *50*, 357-364.
- Slafer G.A., Miralles D.J., Savin R., Whitechurch E.M. & González F.G. (2003). Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y calidad en trigo. En E.H. Satorre *et al.* (Eds.), *Producción de Granos: bases funcionales para su manejo* (101-132). Buenos Aires: FAUBA.
- Schelling, K., Born, K., Weissteiner, C. & Kühbauch, W. (2003). Relationships between Yield and Quality Parameters of Malting Barley (*Hordeum vulgare* L.) and Phenological and Meteorological Data. *Journal of Agronomy and Crop Science* *189*, 113-122.
- Stone, P.J. & Nicolas, M.E. (1994). Wheat cultivars vary widely in their responses of grain yield and quality to short periods of post anthesis heat stress. *Australian Journal of Plant Physiology* *21*, 887-900.

- Tewolde, H., Fernandez, C.J. & Erickson, C.A. (2006). Wheat cultivars adapted to post-heading high temperature stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 192, 111-120.
- Tomaso, J.C. & Paleo, A. (1994). Segundo Congreso Latinoamericano de Cebada. Chile.
- Ventimiglia, L., & Torrens Baudrix, L. (2012). Variedades de cebada cervecera: cómo afecta la fecha de siembra al rendimiento ya la calidad del grano. *INTA, EEA Pergamino, UCT Agrícola Ganadero del Centro, AER*, 9.
- Wardlaw, I.F. & Wrigley, C.W. (1994). Heat tolerance in temperate cereals-an overview. *Australian Journal of Plant Physiology*, 21, 695-703.
- Wardlaw, I.F., Blumenthal, C., Larroque, O., Wrigley, C.W. (2002). Contrasting effects of chronic heat stress and heat shock on kernel weight and flour quality in wheat. *Functional Plant Biology*, 29, 25-34.
- Willey, R. W. & Holliday, R. (1971). Plant population and shading studies in barley. *The Journal of Agricultural Science*, 77, 445-452.