

CAPÍTULO 14

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

María Rosa Simón, Axel Iván Voisin

Origen

La cebada es una de las plantas cultivadas más antiguas. Su domesticación ocurrió simultáneamente con la del trigo en las cercanías de los ríos Tigris y Eufrates y la antigua Persia hasta el norte de África, en la región que es actualmente Egipto y tuvo en sus comienzos una difusión similar a la del trigo. Los egipcios la utilizaron para cerveza (Salas Salvado *et al.*, 2005) y luego con el descubrimiento y uso del pan, determinaron la preponderancia de este último cereal. La domesticación se extendió en un área amplia que abarcó Nepal, India y China (Molina Cano, 1989). Si bien inicialmente se consideró que la región mencionada de la media luna fértil era un único centro, luego también se encontraron cebadas de seis hileras en Marruecos sugiriendo que este era también un centro de origen (Molina Cano *et al.*, 1987). Moralejo *et al.* (1993, 1994) determinaron que el origen de la cebada es multicéntrico en la zona del Mediterráneo y también probablemente en la zona del Tíbet. La taxonomía de las especies de cebada es discutida, pero puede decirse que corresponden a la especie *Hordeum vulgare* L. var *vulgare*. El antecesor silvestre de estas cebadas es *Hordeum spontaneum* Koch que es una especie silvestre de raquis frágil y a partir de esta especie se domesticó la cebada (Bard *et al.*, 2000).

Tienen tres espiguillas unifloras en cada nudo del raquis. Cuando las tres espiguillas son fértiles, la cebada se denomina de seis hileras (que corresponden a las tres espiguillas de cada lado del raquis) que en algunas clasificaciones se las menciona como subespecie *hexastichum*. Cuando solamente la espiguilla central es fértil y las laterales quedan reducidas, se denomina cebada de dos hileras, que en algunas clasificaciones se las denomina como subespecie *distichum* (Bonnet, 1966) (Fig. 14.1). El número de hileras queda determinado por 5 locus (Lundqvist & Lundqvist, 1998). El gen *Vrs1* es el gen más importante que controla el número de hileras, aunque están también el *Vrs2*, *Vrs3*, *Vrs4* y *Vrs5*, que presentan diferente grado de fertilidad en las espiguillas laterales y el alelo dominante de *Vrs1* es el que condiciona el tipo dos hileras, en tanto el recesivo origina 6 hileras.



Fig. 14.1. Cebadas de 2 (A) y 6 hileras (B)

Importancia del cultivo

La producción mundial de cebada para la campaña 2020/2021 fue de 157 millones de t (USDA, 2021), siendo el cuarto cereal en el mundo después del maíz, trigo y arroz. Se destaca como principal productor la Unión Europea, seguido por Rusia, Australia, Canadá, Turquía, Ucrania, Kazajistán, Irán, Argentina y EEUU. En Argentina, la cebada ha tenido un importante incremento en los últimos años. Se estima que el cultivo se inició con los colonizadores y las primeras exportaciones con 2 t se realizaron en 1875 (Tomaso, 2004).

La cebada en Argentina comienza a aparecer en las estadísticas en 1909 con 60.000 ha, mayoritariamente para uso forrajero, en tanto que la producción para uso cervecero se incrementó en el siglo XX junto con la industria cervecera, uno de los factores fue la importancia de la cerveza para los inmigrantes. Pueden distinguirse varios períodos, un primer período en que la superficie sembrada pasa de 100.000 a 300.000 ha, junto con el incremento en la capacidad maltera y de la exportación de malta, luego otro período que va de 2000 hasta 2010, en que el cultivo crece de 300.000 a 650.000 ha y continúa el aumento en la capacidad maltera y la exportación de malta. Asimismo, continúa la expansión de la soja, que resulta adecuada en la secuencia con cebada, ya que esta última tiene una madurez más temprana que el trigo y además se produce un aumento en el consumo de cerveza. Otro período va desde 2010 hasta la actualidad en que el cultivo en algunos años alcanzó 1,5 millones de ha, acompañado por la disminución de la superficie sembrada con trigo y el incremento en las exportaciones como cebada forrajera, además de los cupos a la exportación de trigo y al hecho de que el trigo presentaba retenciones y la cebada no. Así, la producción de cebada pasó de 800.000 t a 5.000.000 t en pocos años (Cattáneo,

2013). Esta tendencia hacia el incremento continúa hasta la actualidad con algunas fluctuaciones y en la campaña 2020/2021 se sembraron unas 850.000 ha con una producción de aproximadamente 3,7 millones de t, se estima que para la campaña actual se incrementará a más de un millón de ha. Asimismo, con la expansión del área sembrada la cebada pasó del sudoeste a regiones del sudeste de las Provincia de Buenos Aires con mejores condiciones edáficas y climáticas y a pesar de que el cupo a la exportación en trigo se eliminó, la cebada no disminuyó su importancia. Más del 90% de la producción se realiza en la Provincia de Buenos Aires y el resto en La Pampa, Córdoba, Santa Fe. El centro norte de Buenos Aires aporta el 20% del total, el sudeste un 50% y el sudoeste de Buenos Aires un 20%, influenciado por la localización de las malterías y puertos de exportación (Cattáneo, 2013).

Del total de lo cosechado, aproximadamente la mitad tiene destino forrajero y la otra mitad cervecero, en tanto que a nivel mundial el 25% es para la fabricación de cerveza. De lo que se cosecha, el 70% está en manos de la empresa multinacional AB InBev, que comprende varias marcas (Quilmes, Brahma, Iguana, Isenbeck, Stella Artois, Patagonia, Warsteiner y Miller), en tanto el resto corresponde a la empresa chilena Compañía de Cervecerías Unidas (CCU) que comprende Schneider, Bieckert, Imperial, Salta, Palermo, Santa Fe. La cebada se comercializa en parte por contratos, las malterías entregan la semilla y el productor se compromete a entregar el producto cosechado dentro de ciertos parámetros de calidad que fija el estándar de comercialización. Aquellas cebadas que no se ajustan a las tolerancias del estándar se comercializan como forrajeras (Cattáneo, 2019).

Crecimiento y desarrollo

Varias características del crecimiento y desarrollo de la cebada tienen similitudes con trigo. En este capítulo se hará un breve resumen de estos aspectos y se destacarán algunos que son diferenciales entre ambos cultivos en las diferentes etapas fenológicas, incluyendo diferencias en la morfología externa del cultivo y a nivel del ápice meristemático. De manera similar a lo que sucede en trigo, las fases pueden agruparse para su estudio dentro de subperíodos que pueden definirse como fase vegetativa, reproductiva y de formación y llenado de grano que abarcan: 1- Pre-siembra, germinación, nacimiento, emergencia y pre-macollaje hasta la cuarta hoja (vegetativa), 2: Macollaje (coincidente con la reproductiva temprana), 3: Encañazón, espigazón, floración (reproductiva tardía), 4: Formación de estructuras del grano, llenado del grano, madurez (formación y llenado de grano).

Etapa vegetativa

Esta fase comprende un primer subperíodo que comienza unos 30 días antes de la siembra (presiembrado) en el que todas las labores que se realicen inciden en el cultivo y luego de esta, incluye la germinación, emergencia y el premacollaje, aproximadamente hasta la aparición de la cuarta hoja. Este subperíodo hace referencia al estado vegetativo del cultivo.

Para germinar la semilla necesita alcanzar un 35 a 45% de su peso en agua. La germinación comienza luego de un período de dormancia que es necesaria para prevenir el germinado precosecha. Es un carácter genotípico ya que determinados genes condicionan la sensibilidad al ácido abscísico que previene la germinación y está influenciado por factores ambientales. Sin embargo, puede ser un problema en el malteado, obligando a las malterías a almacenar el grano previo al procesado (GRDC, 2016). Las bajas temperaturas durante el desarrollo del grano conducen a un mayor grado de dormancia y hay una relación entre la temperatura media durante el período en el llenado y el porcentaje de germinación de los granos 12 días después de la madurez fisiológica (Rodríguez *et al.*, 2001), con esta relación se construyó un modelo de predicción que puede ser utilizado para estimar los riesgos de brotado. A temperatura ambiente, la dormancia se va perdiendo con el almacenaje a temperaturas compatibles con una adecuada germinación (Corbineau & Côme, 1980) y esta pérdida se incrementa con temperaturas más altas (Simpson, 1990). A la inversa cuando se almacena a -18°C , la dormancia se mantiene (Lenoir *et al.*, 1983). También en la salida de la dormancia, los granos se vuelven menos sensibles al efecto inhibitorio de la germinación producido por la falta de oxígeno (Bradford *et al.*, 2008) y por la luz (Barrero *et al.*, 2009). El porcentaje medio de oxígeno en cebada que permite la germinación es 36,30% y 0,30% en la cosecha y luego de 9,5 meses de almacenaje a 20°C (Bradford *et al.*, 2008).

En la germinación emerge la radícula y comienza la aparición de las raíces seminales que conjuntamente con la radícula, forman el sistema radical primario. Este sistema pierde su importancia cuando comienza el desarrollo de las raíces principales o verdaderas. Estas últimas comienzan a formarse al estado de tercera hoja, desde la corona de la planta ubicada en el subnudo correspondiente al punto de unión del mesocotilo con el coleoptilo y son las encargadas de proveer agua y nutrientes.

Una de las principales diferencias con respecto a trigo en esta etapa es que la semilla de cebada presenta un tamaño mayor, por consiguiente, un embrión más grande. Por otra parte, la cebada tiene hojas más finas, por lo que la superficie de hojas por unidad de masa de hojas es más grande, lo que compensa su menor tasa de asimilación con respecto a trigo y resulta en mayor superficie de hojas y crecimiento (López Castañeda *et al.*, 1995), dando un mayor vigor inicial de las plántulas, pudiendo observarse que las primeras hojas son más largas y anchas en cebada (Fig. 14.2). Además, las hojas son de un color verde más claro que las de trigo, siendo en general glabras. En la zona de unión de la vaina con la lámina se encuentran las aurículas abrasadoras y glabras que diferencian a la cebada de otros cereales en estado vegetativo, que tienen aurículas más cortas. Similar a lo que ocurre en trigo, externamente durante esta etapa se observa la aparición y despliegue de hojas. A nivel interno, el ápice continúa diferenciando primordios foliares.

Al igual que en trigo, el pasaje al estado reproductivo está condicionado por la temperatura, el fotoperíodo y la vernalización que modifican la tasa de desarrollo del cultivo y, por lo tanto, influyen en la duración de las etapas ontogénicas. La temperatura, al igual que en trigo es un factor universal, afectando en todas las etapas del cultivo y a medida que esta aumenta se produce un acortamiento de las fases, por lo tanto, el ciclo será más corto. De acuerdo a los

estudios realizados por Takahashi & Yasuda (1971), el hábito primaveral en cebada está determinado por tres genes (*Vrn1*, *vrn2* y *Vrn3*). Los dos genes dominantes y uno recesivo son responsables del hábito primaveral, en tanto que solo el haplotipo conteniendo la combinación de *vrn1*, *Vrn2* y *vrn3* condiciona hábito invernal, es decir con requerimientos de vernalización. En los cultivares argentinos para grano, este requerimiento no ha sido detectado (Whitechurch *et al.*, 2007; Alzueta *et al.*, 2014; Dietz, 2021), aunque si se ha detectado en los cultivares para forraje (Miralles *et al.*, 2011). En cuanto al fotoperíodo, es una planta cuantitativa de día largo, esto nos indica que a medida que aumenta la duración del día la velocidad de desarrollo aumenta y la longitud del ciclo a diferenciación y floración se acorta (Miralles *et al.*, 2014). Alzueta *et al.*, (2014) reporta umbrales de fotoperíodo de 12,8 y 13,6 h. En tanto que Dietz (2021) determinó que el umbral de fotoperíodo varió entre 13,1 y 13,6 h. Si bien hay algunas evidencias de una fase juvenil corta (Roberts *et al.*, 1998), en Argentina no se ha observado dicho atributo (Miralles *et al.*, 2003). Los valores de precocidad intrínseca encontrados fueron variables entre cultivares (Alzueta *et al.*, 2014; Dietz *et al.*, 2021).



Fig. 14.2. Crecimiento de trigo (a la izquierda) y cebada (a la derecha) a los 10 días de la siembra en condiciones de laboratorio.

Etapa reproductiva

Al igual que lo señalado en trigo esta etapa abarca la reproductiva temprana y la reproductiva tardía.

Etapa reproductiva temprana

Corresponde al período que va desde la diferenciación reproductiva (doble lomo) hasta la formación de todas las espiguillas, que coincide con el inicio de la encañazón; en tanto que la reproductiva tardía abarca desde ese momento hasta la floración. La **etapa reproductiva temprana** comienza generalmente entre 3 y 6 hojas, de manera que el macollaje que comienza generalmente en tres o cuatro hojas desplegadas, se produce en esta fase. Cuando se alcanza el estado de doble lomo, el ápice deja de diferenciar hojas, y comienza a diferenciar las espiguillas que conformaran la espiga, que a diferencia de trigo se diferencian en forma acrópeta (desde la base hacia la punta). También de manera diferente a lo que sucede en trigo, las espigas de cebada no presentan una espiguilla terminal que señale el cese de la diferenciación de espiguillas. Sin embargo, este hecho puede identificarse cuando comienza la elongación de las aristas de las espiguillas más desarrolladas dentro de la espiga (García del Moral *et al.*, 1991) que son las basales, por ser las primeras en formarse. Durante este periodo el meristema apical se ubica en el lugar de unión del mesocotilo con el coleóptilo, por debajo de la superficie del suelo. La espiga presenta un raquis central que está compuesto por 10 a 30 nudos. En cada artejo del raquis de la espiga se diferencian tres primordios de espiguillas (dos laterales y una central), denominado "triple arruga". Cada uno de estos primordios seguirá su crecimiento y desarrollo en las cebadas de seis hileras, mientras que en las de dos hileras se atrofian las espiguillas laterales perdurando sólo la espiguilla central (Miralles *et al.*, 2011).

Al igual que en trigo hay sincronía entre la aparición de hojas y la de macollos (Kirby *et al.*, 1985). La cebada tiene un mayor potencial de macollaje que el trigo y en las cebadas de dos hileras este potencial es mayor (García del Moral & García del Moral, 1995). El filocrono de cebada tiende a ser mayor o al menos igual que el de trigo, con escasas diferencias en el número final de hojas. Se demostró que la tasa de aparición de macollos fue mayor en cebada que en trigo. El número máximo de macollos estuvo positivamente asociado a la tasa de aparición de los mismos y aunque la finalización del macollaje fue similar en ambas especies, en cebada el número de macollos fue mayor debido a estas diferencias en la tasa de aparición. Asimismo, un mayor número máximo de macollos estuvo relacionado a una mayor tasa de mortalidad, aunque el número final de macollos estuvo estrechamente ligado al número máximo y por lo tanto el número final se definió durante la fase temprana del macollaje. Además, la cebada presenta mayor cantidad de macollos iniciados por hoja aparecida que el trigo (Alzueta *et al.*, 2012). Se ha determinado que una mayor duración de la fase vegetativa conduce a un incremento del número de hojas desarrolladas, macollos y espiguillas, pero tiene un efecto negativo en la supervivencia de las espiguillas (Kitchen & Rasmusson, 1983).

En el ápice que ha pasado al estado reproductivo se suceden diferentes estadios: doble lomo, triple arruga, primordios de glumas, primordios de glumelas, primordios de estambres y pistilos, carpelos, estilos y finalmente de aristas (Kirby & Appleyard, 1987). Los órganos florales comienzan a diferenciarse en la fase reproductiva temprana luego de doble lomo y triple arruga y continúan en la tardía. El doble lomo se compone al igual que en trigo de primordios de hojas en el lomo inferior y de espiguillas en el superior. Pero en este último se desarrollan tres montículos, uno central que corresponde a la espiguilla central y dos que corresponden a las laterales.

Se observaron mayor número de espiguillas en cebadas de seis hileras que en cebadas de dos hileras. La variación del número de espiguillas por espiga cuando todas las espiguillas se han formado es mayor en cebadas de seis que de dos hileras (Kernich *et al.*, 1997). También se ha determinado que la tasa de supervivencia de las espiguillas fue más alta en la de dos hileras, ya que las de seis tienen más espiguillas por espiga y tienen mayor mortalidad (Kirby & Appleyard, 1987; Arisnabarreta & Miralles, 2006). La diferencia en mortalidad entre ambas cebadas se debe a competencia por asimilados (Kirby, 1988; Arisnabarreta & Miralles, 2004) o a la posición de las espiguillas en la espiga (Arisnabarreta & Miralles, 2006). Kirby & Appleyard (1987) habían determinado que incrementar la duración de la etapa entre el estadio de triple montículo hasta espigazón puede aumentar el rendimiento de la cebada (Kirby & Appleyard, 1987), en tanto que Alqudah & Schnurbusch (2014) determinaron que el aborto comenzó inmediatamente después de que se formaran todas las espiguillas (indicado por la aparición de las aristas en las espiguillas inferiores) y que el mayor porcentaje de abortos se produjo hasta la aparición de las aristas por arriba de la vaina de la hoja bandera (EC49) (Zadoks *et al.*, 1974) y estuvo negativamente correlacionado con el número de espiguillas y con el tiempo térmico requerido para alcanzar el estadio de formación de todas las espiguillas.

Asimismo, Miralles *et al.* (2000) y Alqudah & Schnurbusch (2014) determinaron que la espiga principal juega un papel importante en el rendimiento por planta. También destacaron la importancia de la extensión del período desde la formación de la última espiguilla hasta espigazón para incrementar el rendimiento a través de una mayor supervivencia de espiguillas.

Etapa reproductiva tardía

Cuando se han formado todas las espiguillas de la espiga comienza la **etapa reproductiva tardía**, que puede denominarse también tercer subperíodo. En ese momento comienza la encañazón, se produce un ligero engrosamiento del primer nudo que puede visualizarse muy cerca de la superficie del suelo. Al inicio de esta etapa, termina la diferenciación de macollos y comienzan a morir aquellos que no lograron diferenciar el doble lomo, cesa la diferenciación de espiguillas y continúa la diferenciación de flores que comenzó en la etapa anterior. Hay un importante crecimiento del tallo que estará formado por 5 a 7 entrenudos y puede alcanzar una altura entre 0,6 a 1,3 m, se produce la elongación de entrenudos y luego el crecimiento de la espiga por lo que tallo y espiga compiten por fotoasimilados y nutrientes (Miralles *et al.*, 2014). Las tasas de crecimiento en este momento resultan fundamentales, se encuentra una asociación importante de este parámetro con el número de granos por unidad de área (Arisnabarreta & Miralles, 2008).

La última hoja (bandera) presenta en cebada un área inferior al resto de las hojas, el cultivo alcanza su máximo índice de área foliar, luego la espiga alcanza el estado de bota o vaina engrosada en que la espiga se encuentra encerrada en la vaina de la hoja bandera. Luego aparecen las aristas, en los cultivares que las poseen, por encima de la vaina de la hoja bandera. Esto en cebada indica que las flores están completamente desarrolladas para ser polinizadas (Waddington *et al.*, 1983) y la fecundación (cleistógama) se produce cuando las espiguillas se encuentran encerradas en la vaina de la hoja bandera. Esto implica que no puede advertirse la

antes como sucede en trigo por extrusión de anteras de las espiguillas. La visualización de este estadio en cebada se produce cuando aparecen las aristas por encima de la vaina de la última hoja y en ese momento se define el número de espigas y de flores fértiles por espiga (Miralles *et al.*, 2011).

Un porcentaje importante de las flores (37 y 56% en cebadas de dos y seis hileras) mueren antes de llegar al estado de flor fértil principalmente en la región distal de la espiga (Arisnabarrera & Miralles, 2006). Se produce el desarrollo de las anteras que atraviesan tres estadios, anteras blancas, translúcidas que comienzan a elongar y comienza también el desarrollo de estilos y estigmas, luego se sucede el estadio de anteras verdes y aparecen los estigmas y se produce la meiosis y finalmente el estadio de anteras amarillas en que se forma el polen y el estigma está receptivo (Kirby & Appleyard, 1987).

Desarrollo y llenado del grano

Esta fase, que puede denominarse también como cuarto subperíodo, comienza luego de la fecundación, y abarca el crecimiento del grano y la madurez. Al igual que en trigo, luego de la fecundación ocurre una fase “lag” o cuaje donde hay una activa división celular, que define el número de células endospermáticas y por ende el peso potencial del grano. Al finalizar esta fase de diferenciación celular, queda definido el número de granos y comienza el llenado efectivo, el cual se caracteriza por la acumulación de materia seca en el grano. La tasa de llenado y la duración de esta etapa definirán el peso de los granos. De manera similar a lo descrito para trigo, a medida que avanza este periodo, el grano atraviesa los estados de grano lechoso, pastoso (se produce la madurez fisiológica), grano duro y grano maduro. Entre grano lechoso y pastoso se produce el “plateau hídrico” en que la cantidad de agua que entra y la que se pierde se equilibran y en la que es muy importante el abastecimiento hídrico ya que se produce la mayor tasa de crecimiento del grano. Al alcanzar la madurez fisiológica queda definido el peso de los granos y el rendimiento del cultivo (Miralles *et al.*, 2014). Alqudah *et al.* (2011) reportaron que un estrés por sequía en este período lo acorta y decrece el peso del grano y el rendimiento, por lo que incrementar la longitud del mismo es un objetivo en los programas de mejoramiento.

Generación de rendimiento

El rendimiento se genera mediante los mismos modelos descritos en trigo. En el caso de cebada la hoja bandera es pequeña, aunque siguen siendo las hojas superiores las que concentran la mayor proporción de la radiación interceptada y su área foliar y el coeficiente de extinción determinarán la fracción de radiación interceptada por las hojas inferiores (Carretero *et al.*, 2010). Al igual que en trigo y otros cultivos, en cebada las variaciones en rendimiento son explicadas por los cambios en el número de granos por unidad de área, ya que en general hay menores asociaciones entre el rendimiento y el peso de granos (García del Moral *et al.*, 2003).

Una diferencia con lo que sucede en trigo es que cada espiguilla puede tener entre 9 y 12 primordios de flores y de las que dan grano hasta 4 o excepcionalmente 5, en cebada cada espiguilla diferencia un primordio que posteriormente podrá constituirse o no en una flor fértil que dará grano (Arisnabarreta & Miralles, 2006). Por ello, el número de granos por unidad de área está más asociado a cambios en el número de espigas por unidad de área que a variaciones en el número de granos por espiga, ya que tiene poca plasticidad para modificar el número de granos por espiga. Esto significa que para aumentar el número de granos por unidad de área se debe incrementar el número de espiguillas fértiles por espiga, de manera de aumentar el número de granos por espiga y/o el número de espigas fértiles.

El período crítico de la cebada se ubica unos días antes que el de trigo si se lo considera desde el 50% de espigazón, ya que se produce entre 10 y 40 días previos a la espigazón. Sin embargo, si se tiene en cuenta la verdadera floración del cultivo que es cuando aparecen las aristas, es similar a trigo (unos 30 días antes de ese estadio). El período crítico para la determinación del número de granos por espiga para cebadas de dos hileras es entre espigazón y los 25 días previos a dicho estadio, en tanto para el número de espigas por unidad de superficie se estableció entre 20 y 40 días previos a la espigazón por lo que el período crítico en cebadas de dos hileras puede considerarse algo anterior al del cultivo de trigo debido principalmente a la contribución de espigas por unidad de superficie (Arisnabarreta & Miralles, 2008).

El peso de mil granos es de suma importancia dado que al menos el 85% del grano debe poseer un calibre mayor a 2,5 mm (SAGyP, 2007), con una tolerancia de 80% y a su vez una tolerancia de 4% de granos que pasen la zaranda de 2,2 mm. Alcanzar estos valores puede dificultarse con altos rendimientos. Alvarez Prado *et al.*, 2013 demostraron un ligero incremento en peso de mil granos en cebada, con respecto a trigo cuando se aumentó la relación fuente/destino, lo que indica que la cebada está más limitada por fuente. Aunque en ambientes relativamente secos se ha encontrado más limitación por destino en cebada que en trigo (López Castañeda & Richards, 1994; Bingham, 2009).

Referencias

- Alvarez Prado, S., Gallardo, J.M., Serrago, R., Kruk, B. & Miralles, D. (2013). Comparative behavior of wheat and barley associated with field release and grain weight determination. *Field Crops Research* 144, 28-33.
- Alzueta, I., Abeledo, L.G., Mignone, C.M. & Miralles, D.J. (2012). Differences between wheat and barley in leaf and tillering coordination under contrasting nitrogen and sulfur conditions. *European Journal of Agronomy* 41, 92-102.
- Alqudah, A.M., Samarah, N.H. & Mullen, R.E. (2011). "Drought stress effect on crop pollination, seed set, yield and quality, En E. Lichtfouse (Ed.) *Alternative farming systems, biotechnology, drought stress and ecological fertilization* (193-213), Netherlands: Springer.
- Alqudah, A.M. & Schnurbusch, T. (2014). Awn primordium to tipping is the most decisive developmental phase for spikelet survival in barley. *Functional Plant Biology* 41, 424-436.

- 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.
- Arisnabarreta, S. & Miralles, D.J. (2006). Floret development and grain setting in near isogenic two and six rowed barley lines (*Hordeum vulgare* L.). *Field Crop Research*, 96, 466-476.
- Arisnabarreta, S. & Miralles, D.J. (2008). Critical period for grain number establishment of near isogenic lines of two and six row barley. *Field Crop Research* 107, 196-202
- Bard, A. Müller, K., Schafer-Pregl, R., El Rabey, H., Effgern, S., Ibrahim, H. Pozzi, C., Rohde, W. & Salanini, F. 2000. On the Origin and Domestication History of Barley (*Hordeum vulgare*). Oxford Journals. *Molecular, Biology & Evolution* 17, 499-510.
- Barrero, J.M., Talbot, M.J., White, R.G., Jacobsen, J.V. & Gubler, F. (2009) Anatomical and transcriptomic studies of the coleorhiza reveal the importance of this tissue in regulating dormancy in barley. *Plant Physiology* 150, 1006–1021.
- Bingham, I.J., Walters, D.R., Foulkes, M.J. & Paveley, N.D. (2009). Crop traits and the tolerance of wheat and barley to foliar disease. *Annals of Applied Biology*, 154, 159-173.
- Bonnett, O.T. (1966). Inflorescences of maize, wheat, rye, barley, and oats: their initiation and development. *University of Illinois College of Agriculture, Agricultural Experiment Station Bulletin. Champaign, IL* 721, 59–77.
- Bradford, K.J., Benech-Arnold, R., Côme, D. & Corbineau, F. (2008) Quantifying the sensitivity of barley seed germination to oxygen, abscisic acid and gibberellin using a population-based threshold model. *Journal of Experimental Botany* 59, 335–347.
- Carretero, R. Serrago, R.A. Bancal, M.O. Perelló, A.E.D. & Miralles, D.J. (2010). Absorbed radiation and radiation use efficiency as affected by foliar diseases in relation to their vertical position into the canopy in wheat. *Field Crops Research*, 116, 184-195.
- Cattáneo, M. (2013). El cultivo de cebada en Argentina. 4º Congreso Latinoamericano de Cebada, Bahía Blanca 30 de octubre al 1 de noviembre de 2013.
- Cattáneo, M. (2019). Cebada cervecera. Recuperado de <http://www.cebadacervecera.com.ar>.
- Corbineau, F. & Côme, D. (1980) Quelques caractéristiques de la dormance du caryopse d'Orge (*Hordeum vulgare* L., variété Sonja). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, série D* 290, 547–550.
- Dietz, J.I. (2021). *Determinación del período crítico y requerimientos de fotoperíodo y vernalización en avena*. Tesis doctoral. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/116959>
- García del Moral, L.F. Ramos, J.M. García del Moral, M.B. & Jiménez Tejada, M.P. (1991). Ontogenic approach to grain production in spring barley base on path coefficient analysis. *Crop Science* 31, 1179-1185.
- García del Moral, L. F. García del Moral, M. B. Molina-Cano, J. L. & Slafer, G. A. (2003). Yield stability and development in two-and six-rowed winter barleys under Mediterranean conditions. *Field Crops Research*, 8, 109-119.
- García del Moral, M.B. & García del Moral, L.F. (1995). Tiller production and survival in relation to grain yield in winter and spring barley. *Field Crops Research* 44, 85–93.

- GRDC (Grain Research and Development Corporation). Growth Notes. Barley. Chapter 5: Crop Growth and Physiology. Recuperado de <http://www.GrowNote-Barley-North-4-Physiology.pdf> (grdc.com.au).
- Kernich, G.C., Halloran, G.M. & Flood, R.G. (1997). Variation in duration of pre-anthesis phases of development in barley (*Hordeum vulgare*). *Australian Journal of Agricultural Research* 48, 59-66.
- Kirby, E.J.M., Appleyard, M. & Fellowes, G. (1985). Leaf emergence and tillering in barley and wheat. *Agronomie* 5, 193-200.
- Kirby, E. & Appleyard, M. (1987). *Cereal development guide*. Stoneleigh, UK: NAC Cereal Unit.
- Kirby, E.J.M. (1988). Analysis of leaf, stem and ear growth in wheat from terminal spikelet stage to anthesis. *Field Crops Research* 18, 127-140.
- Kitchen, B.M. & Rasmusson, D.C. (1983). Duration & inheritance of leaf initiation spike initiation & spike growth in barley. *Crop Science* 23, 939-943.
- Lenoir, C., Corbineau, F. & Côme, D. (1983) Rôle des glumelles dans la dormance des semences d'orge. *Physiologie Végétale* 21, 633-643.
- López Castañeda, C. & Richards, R.A. (1994). Variation in temperate cereals in rainfed environments. I. Grain yield, biomass and agronomic characteristics. *Field Crops Research*, 37, 51-62.
- López Castañeda, C. & Richards, R.A. (1995). Variation in early vigour between barley and wheat. *Crop Science* 35, 472-479.
- Lundqvist, U. & Lundqvist, A. (1988). Induced intermedium mutants in barley - origin, morphology and inheritance. *Hereditas*, 108, 13-26.
- Miralles, D.J., Richards, R.A. & Slafer, G.A. (2000). Duration of the stem elongation period influences the number of fertile florets in wheat and barley. *Australian Journal of Plant Physiology* 27, 931-940.
- Miralles, D.J. Slafer, G.A. Richards, R.A. & Rawson, H.M. (2003). Quantitative developmental response to the length of exposure to long photoperiod in wheat and barley. *The Journal of Agricultural Science*, 141, 159-167.
- Miralles, D. Benech Arnold, L. & Abeledo, G. (2011). *Cebada cervecera*. Buenos Aires: Orientación Gráfica Editora.
- Miralles, D.J. González, F.G. Abeledo, L.G. Serrago, R.A. Alzueta, I. García, G.A. De San Caledonio, R.P. & Lo Valvo, P. (2014). *Manual de trigo y cebada para el cono sur procesos fisiológicos y bases de manejo*. Buenos Aires: Orientación Gráfica Editora. 56p.
- Molina Cano, J.L., Fra-Mon, P., Salcedo, G., Aragoncillo, C., Roca de Togores, F. & Garcia-Olmedo, F. (1987). Morocco as a possible domestication center for barley: biochemical and agromorphological evidence. *Theoretical and Applied Genetics*, 73, 531-536.
- Molina Cano, J. L. (1989). *La cebada*. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa.
- Moralejo Vidal, M. (1993). Cebadas dísticas españolas (*Hordeum vulgare* L.): filogenia, bioquímica y aplicación potencial en programas de mejora (Tesis doctoral). Recuperado de <https://www.tdx.cat/handle/10803/8340>.

- Moralejo, M. Romagosa, I. Salcedo, G. Sanchez-Monge, R. & Molina-Cano, J. L. (1994). On the origin of Spanish two-rowed barleys. *Theoretical and Applied Genetics* 87, 829-836.
- 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.
- Rodriguez, M.V., González Martín, J., Insausti, P., Margineda, J.M. & Benech-Arnold, R.L. (2001). Predicting preharvest sprouting susceptibility in barley: a model based on temperature during grain filling. *Agronomy Journal* 93, 1071–1079.
- SAGyP. (2007). Normas de calidad y comercialización de cebada cervecera. Resolución 446/07. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-446-2007-135785/actualización>
- Salas Salvadó, J., Garcia – Lorda, P. & Sánchez Ripollés, J. M. (2005). *La alimentación humana y la nutrición a través de la historia*. Barcelona. Editorial Glosa.
- Simpson, G.M. (1990). *Seed dormancy in grasses*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Takahashi, R. & Yasuda, S. (1971). Genetics of earliness and growth habit in barley. En (R.A. Nilan) *Barley Genetics II (Proceedings of the Second International Barley Genetics Symposium)*. (388–408). Pullman, WA. Washington State University Press.
- Tomaso, J.C. (2004). Cebada cervecera en la Argentina. *Cereales. Revista IDIA XXI* (6), 201-216.
- USDA. (2021). Departamento de Agricultura de Estados Unidos. Recuperado de <https://www.usda.gov/>
- 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, 119-130.
- Whitechurch, E.M. Slafer, G.A. & Miralles, D.J. (2007). Variability in the duration of stem elongation in wheat and barley genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 193, 138-145.
- Zadoks, J.C., Chang, T.T. & Konzak, C.F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14, 415-421.