



# **MANUAL DE TRIGO Y CEBADA**

**PARA EL CONO SUR.**

**PROCESOS FISIOLÓGICOS**

**Y BASES DE MANEJO**

**Miralles D.J.; González F.G.; Abeledo L.G.;  
Serrago R.A.; Alzueta I.; García G.A.;  
de San Celedonio R.; lo Valvo P. (Editores)**

Mejorar la eficiencia en el uso de  
insumos y el ajuste fenológico en  
cultivos de trigo y cebada (METRICE  
-Red I1ORT0394)



# MANUAL DE TRIGO Y CEBADA PARA EL CONO SUR. PROCESOS FISIOLÓGICOS Y BASES DE MANEJO

Miralles D.J.; González F.G.; Abeledo L.G.; Serrago R.A.;  
Alzueta I.; García G.A.; de San Celedonio R.; lo Valvo P. (Editores)

Calderini D.F. (Univ. Austral de Chile); Bredemeier, C. (UFRGS; Brasil);  
Viega L. (Univ. De la Republica, Uruguay); Hoffman T (Univ. de la Republica, Uruguay);  
Claudio Jobet (INIA Carillanca, Chile) (Colaboradores)

(Red HORTO394) Mejorar la eficiencia en el uso de insumos y el ajuste fenológico en  
cultivos de trigo y cebada (METRICE)

## Miembros participantes de la Red METRICE



Universitat  
de Lleida,  
España



Universidad  
Austral de  
Chile,  
Chile



Universidad  
de Buenos  
Aires,  
Argentina



Instituto  
Nacional  
de Tecnología  
Agropecuaria  
E.E. Pergamino,  
Argentina



Consejo  
Nacional de  
Investigaciones  
Científicas y  
Técnicas,  
Argentina



Universidad de  
la República,  
Uruguay



Universidad  
Autónoma del  
Estado de  
México,  
México



Universidad  
Federal do Rio  
Grande do Sul,  
Brasil

# MANUAL DE TRIGO Y CEBADA PARA EL CONO SUR.

## PROCESOS FISIOLÓGICOS Y BASES DE MANEJO

El trigo y la cebada son los dos cereales invernales de mayor importancia en el mundo. Del mismo modo, en los países del cono sur ambos cultivos son los de mayor relevancia durante el ciclo invernal. En el caso de trigo la mayor proporción del área del cono sur está sembrada con trigos destinados a la panificación mientras que en el caso de cebada el principal destino en sud América es la industria de malta.

El manual presenta una descripción de los procesos fisiológicos involucrados en el desarrollo y crecimiento de los cultivos y provee algunas bases de manejo para optimizar el rendimiento y la calidad comercial en trigo y cebada. Está especialmente diseñado para ser utilizado como sustento en la toma de decisiones por productores, asesores y técnicos.

El manual fue realizado en el marco de una red de investigadores de distintos países Iberoamericanos nucleados a partir de un proyecto de colaboración CYTED (Programa Iberoamericano de Ciencia y Técnica para el Desarrollo). El objetivo de dicha red (denominada METRICE, Red 110RT0394) es

mejorar la eficiencia en el uso de insumos y el ajuste fenológico en los cultivos de trigo y cebada.

### 1.- CICLO DEL CULTIVO

El ciclo de trigo y cebada puede dividirse en seis etapas de desarrollo (Figura 1):

- **Establecimiento (ES)**, entre siembra y emergencia)
- **Pre-Macollaje (PM)**, entre emergencia e inicio de macollaje),
- **Macollaje (MC)**, entre inicio de macollaje e inicio de encañazon),
- **Encañazón (EN)**, entre inicio de encañazon e inicio de espigazón)
- **Espigazón/Antesis (EA)**, entre inicio de espigazón y fin de antesis)
- **Llenado de grano (LLG)**, entre fin de antesis y madurez fisiológica).

Finalizado el **LLG**, continúa una etapa de **secado del grano (SC)**, donde el rendimiento ya fue definido y el grano sólo pierde humedad (Figura 1).

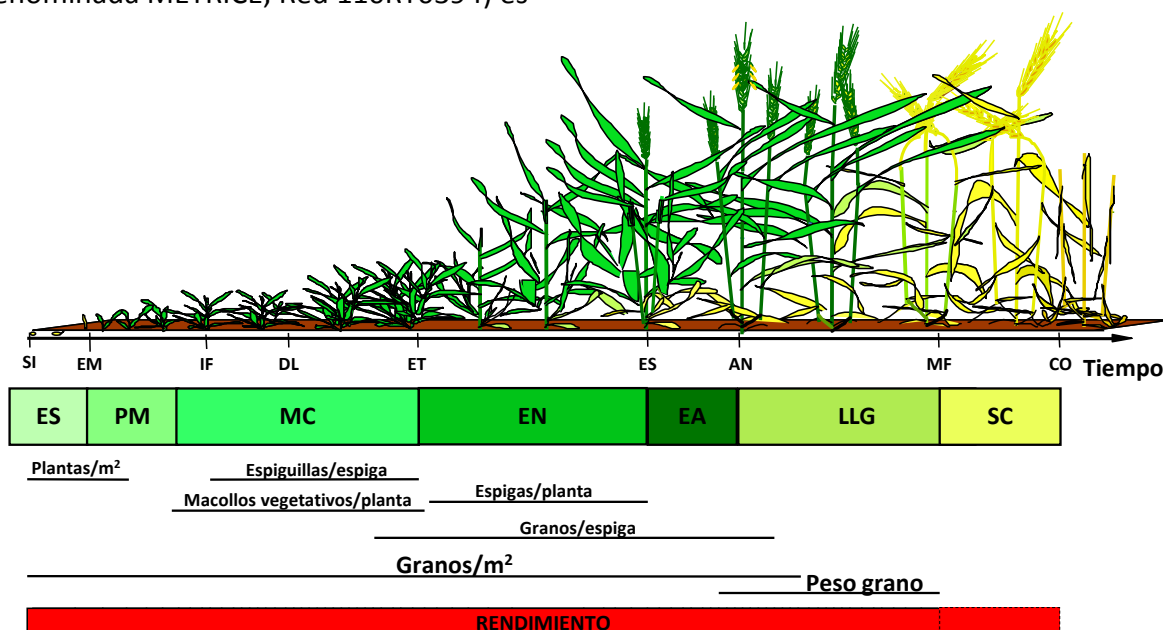


Figura 1. Etapas del ciclo de cultivo (Modificado de Slafer y Rawson 1994)

## 2.- MODELOS DE RENDIMIENTO

Hay tres modelos complementarios que describen la generación del rendimiento:

**Modelo 1: Generación y partición de biomasa sin limitante hídrica:** El rendimiento puede ser expresado a través de la cantidad de biomasa total producida (BT) y de la proporción de la misma que es particionada hacia los órganos reproductivos (índice de cosecha- IC: biomasa de granos /biomasa total del cultivo, adimensional). La BT depende de la capacidad del cultivo de interceptar radiación a lo largo de su ciclo (RADint.acum: radiación interceptada acumulada desde emergencia hasta madurez fisiológica, MJ/m<sup>2</sup>) y de la eficiencia con la cual esa radiación se transforma en biomasa (EUR: eficiencia de uso de la radiación, g/MJ). A su vez, la RADint.acum depende de la fracción de la radiación incidente que es interceptada por los tejidos verdes del cultivo (FRADint: %), principalmente hojas (IAF: índice de área foliar, m<sup>2</sup> hojas/m<sup>2</sup> suelo), de la radiación que incide sobre el cultivo (RADinc), y de la duración del ciclo (D: días).

$$\begin{aligned} \text{Rendimiento} &= \text{BT} * \text{IC} \\ \text{BT} &= \text{RADint.acum} * \text{EUR} \\ &= \text{FRADint} * \text{RADinc} * \text{D} \end{aligned}$$

**Modelo 2: Generación y partición de biomasa con limitación hídrica:** El rendimiento depende de la capacidad del cultivo de consumir agua (CA: mm agua evapotranspirada entre emergencia y madurez fisiológica), de la eficiencia con la cual el agua consumida se transforma en biomasa (EUA: eficiencia uso del agua, Kg/ha mm). Al igual que en el modelo 1 el producto de la BT por el IC determina el rendimiento que alcanzara el cultivo.

$$\text{Rendimiento} = \text{CA} * \text{EUA} * \text{IC}$$

**Modelo 3: Generación de componentes numéricos:** El rendimiento se comprende a partir de los sub-componentes numéricos que conforman el número de granos por unidad de área (NG) y el peso de los granos (PG). Este modelo se puede utilizar bajo condiciones con y sin estreses.

$$\begin{aligned} \text{Rendimiento} &= \text{NG} * \text{PG} \\ \text{NG} &= \text{NEP} * \text{GR/esp} \\ &= \text{esplla/esp} * \text{GR/esplla} \\ \text{PG} &= \text{tasa} * \text{duración} \end{aligned}$$

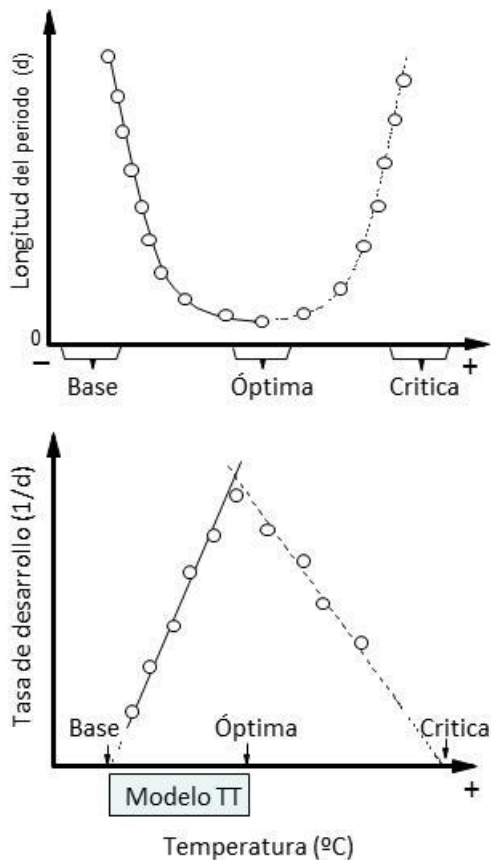
En este esquema pueden identificarse el número de espigas por unidad de área (NEP) y los granos por espiga (GR/esp) como componentes que conforman el NG. A su vez, el GR/esp está conformado por el número de espiguillas por espiga (esplla/esp) y el número de granos por espiguilla (GR/esplla). El peso de los granos queda determinado por el producto de la tasa (tasa) y la duración del llenado (duración).

## 3.- REGULACION DEL CICLO Y SUS ETAPAS POR VARIABLES DEL AMBIENTE

La tasa de desarrollo que afecta la duración del ciclo y sus etapas está regulada por: **a)** la temperatura, **b)** el fotoperíodo (duración del día) y **c)** la acumulación de horas de frío (vernalización). La radiación incidente, la disponibilidad hídrica y la nutrición pueden alterar la duración de las etapas pero en menor magnitud.

**a) Temperatura:** tiene un efecto universal puesto que en todas las etapas del ciclo a medida que la temperatura aumenta (por encima de una base, Tb, y hasta una óptima, To) la tasa de desarrollo se incrementa reduciendo la duración de las etapas. En sentido inverso menores temperaturas (entre la Tb y la To) prolongarán la duración de las etapas (Figura 2). Para “eliminar” este efecto,





**Figura 2.** Longitud de una etapa y tasa de desarrollo en función de la temperatura.

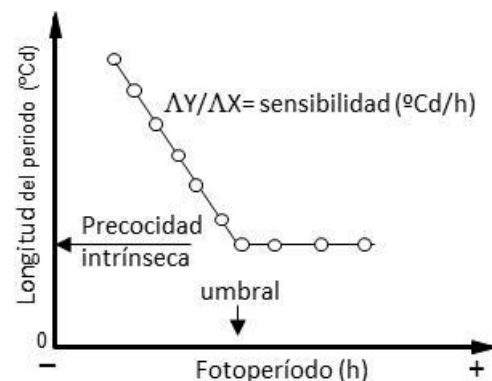
las duraciones pueden expresarse en “grados centígrados días (°Cd)”, que resultan de sumar los valores de temperatura media ( $T_m$ ) por encima de la  $T_b$  (Modelo de Tiempo Térmico- TT). En trigo y cebada los valores de  $T_b$  oscilan entre 0 y 5 °C pero por simplicidad se utiliza 0°C.

$$\begin{aligned}
 &\text{día}=n \\
 &TT = \sum_{\text{día}=1} (T_m - T_b) \\
 &TT = (T_m - T_b) * \text{duración}
 \end{aligned}$$

Por ejemplo, si un cultivar sembrado a principio de Julio llega a antesis luego de 60 días y la temperatura media experimentada fue de 16,6°C, la duración en unidades térmicas es de 1000°Cd [1000°Cd=(16,6°C-0°C)\*60días]. Si el mismo cultivar es sembrado en igual fecha al año siguiente pero experimentando una temperatura media de 20°C, la suma térmica será también de 1000°Cd, pero el ciclo a antesis será más

corto porque “acumula” más temperatura por día. Entonces su ciclo a antesis, en este segundo año, es de 50 días [50 días=1000°Cd/(20°C-0°C)].

**b) Fotoperíodo:** el trigo y la cebada son plantas de día largo, es decir que a mayor duración del día la tasa de desarrollo aumenta y la longitud del ciclo a antesis se reduce hasta alcanzar el fotoperíodo umbral (Figura 3). A partir de dicho valor la duración del ciclo es mínima (se denomina precocidad intrínseca) y no cambia con el fotoperíodo. Debido a que los órganos que detectan el fotoperíodo son las hojas, el cultivo una vez emergido percibe el estímulo fotoperiódico, el que continuará hasta la antesis. Para conocer la respuesta a fotoperíodo en condiciones de campo, donde la temperatura es variable, la duración de ciclo se expresa en unidades térmicas (°Cd).



**Figura 3.** Longitud de una etapa en función de la duración del día (fotoperíodo).

La sensibilidad al fotoperíodo (pendiente de la recta en Figura 3), indica cuánto se reduce el ciclo por unidad de incremento en la duración del día (°Cd/h). Diferentes cultivares, tanto en trigo como en cebada, pueden diferir en la sensibilidad al fotoperíodo, en el fotoperíodo umbral y en la precocidad intrínseca. Entonces, el ciclo a antesis en una determinada localidad, medido en unidades térmicas (°Cd), depende del cultivar y de la fecha de siembra (que

modifica el fotoperíodo). Una vez establecidas las unidades térmicas, el tiempo en días a antesis depende de la temperatura media (ver Figura 2).

**c) Vernalización:** algunos cultivares requieren la exposición a baja temperatura (“acumulación de horas de frío”) para poder progresar en su desarrollo hacia la antesis. Esta “acumulación de horas de frío” comienza en etapas tempranas del ciclo, desde la imbibición de la semilla y hasta inicio de encañazón. Las temperaturas con mayor efecto vernalizante en trigo y cebada oscilan entre 2 y 7°C. A medida que aumenta la exposición a baja temperatura se acelera la tasa de desarrollo y la duración del ciclo a antesis se acorta. En caso contrario, ante siembras tardías, algunos cultivares no llegan a cubrir su requerimiento de horas de frío y se puede producir no sólo un retraso en la fecha de antesis, sino también una espigazón y antesis despereja en el lote. Si ocurre un período de temperaturas elevadas durante los primeros estadios del ciclo del cultivo se puede perder en forma parcial o total la acumulación de horas de frío generando un efecto similar a un atraso en la fecha de siembra.

#### **4. ETAPAS DE DESARROLLO. PROCESOS FISIOLÓGICOS Y BASES DE MANEJO ASOCIADAS**

En esta sección se describen los procesos que ocurren interna y externamente en cada etapa del ciclo y se mencionan algunas pautas de manejo asociadas a los mismos.

##### **4.1. Establecimiento y pre-macollaje**

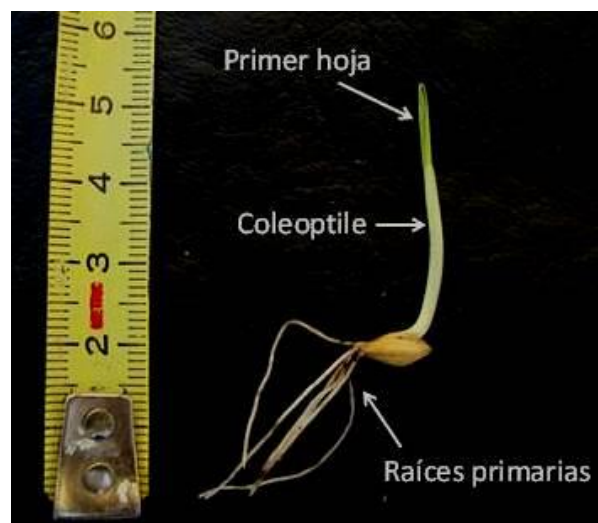
###### **4.1.1. Descripción de procesos**

Una vez que la semilla es colocada en el suelo húmedo se produce la imbibición y germinación. Para ello las semillas absorben entre el 30-35% de su peso en agua. Luego de la imbibición (hinchamiento de la semilla debido a la entrada de agua) la aparición de la radícula (Foto 1) indica que ha ocurrido la germinación. Las raíces primarias comienzan a aparecer y se produce la elongación del

epicotile llevando el coleoptile a la superficie del suelo. La primer hoja verdadera se elonga dentro del coleoptile y emerge en la superficie (Foto 2, Figura 1).



**Foto 1.** Emergencia de la radícula en los cultivos de trigo y cebada (Foto: Miralles 2010)

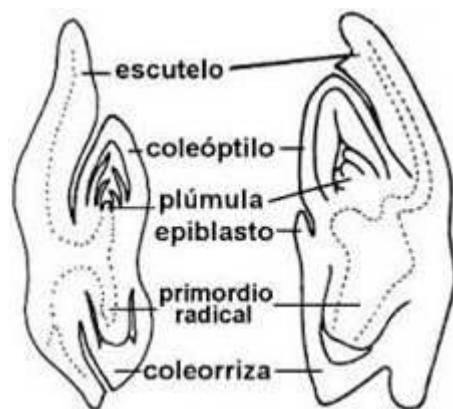


**Foto 2a.** Detalle de la aparición de las raíces primarias, el coleoptile y la primera hoja verdadera en el cultivo de cebada (Foto: Miralles 2009)



**Foto 2b.** Momento de la emergencia de un cultivo de cebada. Se indica el coleoptile y la primera hoja verdadera (Foto: Miralles 2012)

La germinación y emergencia dependen de las reservas de azúcares en la semilla (plántula autótrofa), pero una vez que se produce la aparición de la primera hoja verdadera comienza la fotosíntesis y la absorción de nutrientes del suelo (plántula heterótrofa). El embrión cuenta al momento de la siembra con 3-4 hojas pre-formadas que se iniciaron durante el llenado de grano en la planta madre (Figura 4). Una vez ocurrida la imbibición se inicia la elongación de las hojas pre-formadas y la iniciación de nuevas hojas. El tiempo (en °Cd) que media entre la iniciación de 2 hojas consecutivas en el ápice meristemático (Figura 5 y Foto 3) se denomina Plastocrono, aceptándose un valor general aproximado de 50 °Cd por hoja iniciada. Asumiendo que la duración entre siembra y emergencia oscila entre 100 a 150 °Cd (con buena disponibilidad hídrica en el suelo), en dicho periodo se inician entre 2 y 3 hojas. A la emergencia el cultivo cuenta entonces con 5-7 hojas iniciadas.



**Figura 4.** Corte longitudinal de un embrión de trigo y cebada, mostrando el coleóptilo, los primordios de hojas por debajo del mismo, y los primordios radicales.

La emergencia ocurrirá en un porcentaje de las semillas sembradas, dependiendo del poder germinativo de las mismas, de la profundidad de siembra, de la disponibilidad de humedad en el suelo, del ataque de patógenos, etc. Al emerger el cultivo se determina el número de plantas/m<sup>2</sup>, que multiplicado por el número de espigas/planta determina el número de espigas/m<sup>2</sup> (NEP). Por ello es importante una vez

emergido el cultivo realizar un recuento del número de plántulas establecidas/m<sup>2</sup>. Debido al mayor tamaño de las semillas (o granos) en cebada que en trigo, y por ende, mayor tamaño del embrión (Figura 4), el vigor inicial de las plántulas de cebada es mayor que las



**Figura 5.** Ápice vegetativo mostrando la formación de hojas (Modificado de Gardner *et al.* 1985)



**Foto 3.** Ápice vegetativo de cebada (Foto: Arisnabarreta 2008)

de trigo, siendo más largas y anchas las primeras hojas emergidas (Foto 4a y 4b). Una vez que se produce la emergencia de la primera hoja, las plántulas continúan emitiendo hojas a un ritmo relativamente constante en unidades térmicas denominado Filocrono (oscila entre 90 y 130 °Cd/hoja aparecida, dependiendo del cultivar). Al mismo tiempo continua la iniciación de hojas. En términos generales, debido a las proporciones entre los valores de filocrono y plastocrono, por cada hoja que aparece en la



superficie se han iniciado aproximadamente 2 hojas en el ápice meristemático. Esta relación proporcional se mantendrá hasta que el ápice cambie de estado vegetativo a reproductivo, momento en el cual cesa la iniciación de hojas y comienza la diferenciación de espiguillas dentro de las espigas. Este cambio, denominado “doble lomo” (Figura 1) ocurre en términos generales entre la aparición de la 2 a la 6 hoja, dependiendo del cultivar y de los estímulos ambientales (temperatura, fotoperiodo y vernalización). La aparición de hojas continua hasta que la última hoja iniciada (la hoja bandera) se expanda (Figura 1).



**Foto 4a.** Plántulas de trigo 8 días después de la emergencia (Foto: Alzueta 2008).



**Foto 4b.** Plántulas de cebada 8 días después de la emergencia (Foto: Alzueta 2008)

#### 4.1.2. Bases generales para el manejo

Si bien la temperatura óptima de siembra es de 20-25 °C las temperaturas más comunes durante la época de siembra se ubican en el

rango de 5 a 12 °C dependiendo del sistema de siembra y la localidad (convencional o directa). La humedad en el suelo es clave. Falta o exceso de agua en el suelo provocan una deficiente imbibición de la semilla o una falta de oxigenación por eliminación de los poros de aire en el suelo. En términos generales la siembra no debería realizarse con menos de 30% de agua útil en el suelo. La profundidad de siembra debe asegurar un adecuado contacto con la humedad de suelo pero no debe superar la capacidad máxima de elongación del epicotile (3-4 cm). La elección de la fecha de siembra debería tener en cuenta: (i) las heladas tardías, evitando que ocurran cuando el cultivo se encuentra en estado de bota (entre hoja bandera e inicio de espigazón) en adelante y (ii) los golpes de calor o temperaturas elevadas, evitando que ocurran dese estado de bota (meiosis de los granos de polen) en adelante. La probabilidad de estrés térmico en llenado de grano es alta en muchas regiones productoras, traduciéndose en caídas en el PG (y calibre en cebada).

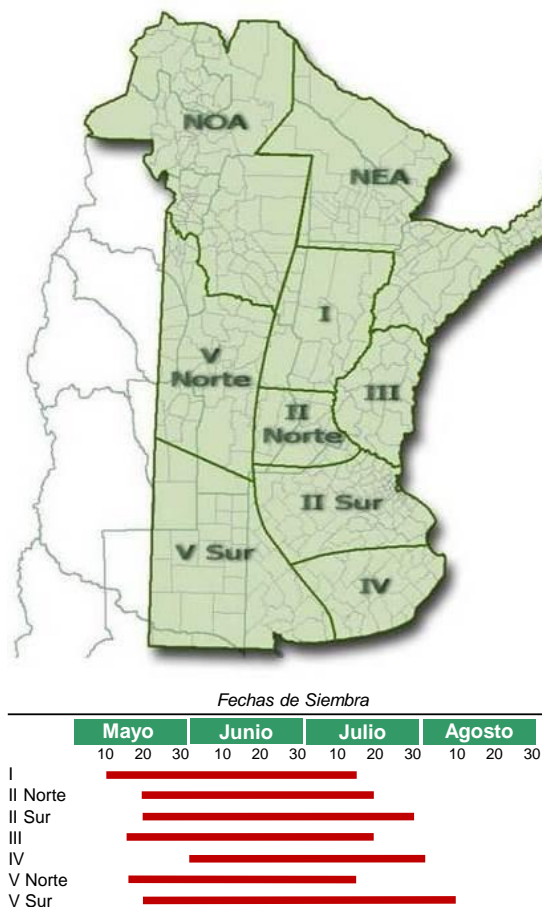
#### 4.1.3. Aspectos particulares y limitaciones de manejo a nivel regional

##### 4.1.3.1. Argentina

La fecha de siembra dependerá de la zona productiva y del ciclo del cultivar a utilizar. En ambas especies, trigo y cebada, los cultivares presentan respuestas al fotoperiodo con distinto grado de sensibilidad y en el caso de trigo algunos materiales presentan requerimientos de vernalización. Sin embargo, los cultivares de cebada cervecera utilizados actualmente en Argentina solo responden al fotoperiodo. En general, para ambas especies, el rango de fechas de siembra oscila entre principio de Mayo y principio de Julio para cultivares de ciclo largo y entre la segunda quincena de Junio y el principio de Agosto para cultivares de ciclo más corto. Los cultivares de ciclo intermedio se ubican en fechas intermedias a las mencionadas para ciclo largos y cortos (Figura 6). Dentro de cada ciclo las fechas



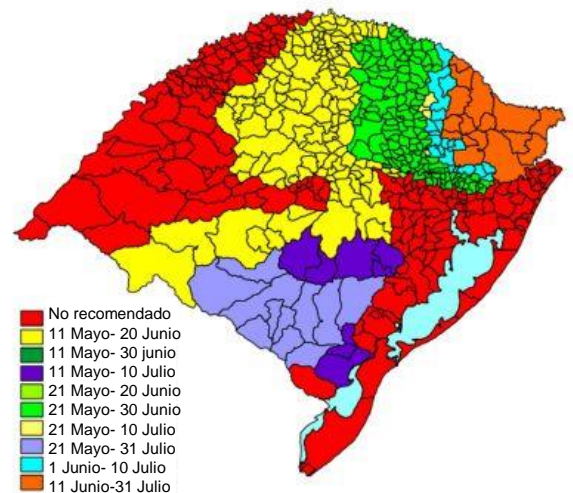
más tempranas corresponden a localidades ubicadas más al norte de la zona triguera Argentina, mientras que las más tardías a las regiones del sur de la provincia de Buenos Aires. En algunas provincias del Norte del país pueden usarse los denominados “trigo de verano” aprovechando las lluvias estivales, debido a su clima monzónico. En este tipo de manejo deberían usarse trigos de ciclo muy cortos y con un adecuado comportamiento sanitario. En términos generales, la densidad de siembra oscila entre 150 y 350 pl/m<sup>2</sup>. La densidad de siembra se incrementa en siembras tardías y/o con cultivares de ciclo intermedio a corto y suele reducirse ante una disminución en la disponibilidad de agua durante el ciclo del cultivo. Realizar el curado de las semillas evita ataques tempranos de patógenos fúngicos como por ejemplo enfermedades foliares de tipo necrotróficas.



**Figura 6.** Mapa indicativo de las distintas regiones trigueras de Argentina ([www. sinavimo.gov.ar](http://www.sinavimo.gov.ar)) y los rangos tentativos de siembra para cada región.

#### 4.1.3.2. Sur de Brasil

El rango de fechas de siembra oscila entre principio de Mayo y fin de Julio, dependiendo del ciclo del cultivar y la región (Figura 7). La densidad de siembra varía entre 250 y 350 pl/m<sup>2</sup> (cultivares más cortos se siembran a mayor densidad). Cuando se realizan siembras de cultivares de ciclo largo para doble propósito (producción de pasto y grano) la densidad de siembra se incrementa a 350-400 plantas/m<sup>2</sup>. El exceso de lluvias en el período de madurez fisiológica a madurez de cosecha es una importante limitación en la producción de cereales invernales en el sur de Brasil, puesto que compromete la calidad industrial de los granos. Por ello, a las condiciones generales a tener en cuenta para la elección de la fecha de siembra (ver ítems i y ii en 4.1.2.) habría que sumarle para esta región particular un tercer criterio: (iii) evitar exceso de precipitación entre madurez fisiológica y comercial. El curado de las semillas evita ataques tempranos de patógenos fúngicos como por ejemplo enfermedades foliares de tipo necrotroficas y enfermedades en semillas y plántulas causadas por hongos del suelo, dado que en general la humedad del suelo y la precipitación son elevadas en el periodo de siembra-establecimiento de los cultivos de invierno en el estado de Rio Grande do Sul.



**Figura 7.** Mapa ilustrativo de las distintas fechas de siembra para el cultivo de cebada cervecera en la región de Rio Grande do Sul ([www.agencia.cnptia.embrapa.br](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br)).

#### 4.1.3.3. Chile

Es importante tener en cuenta que en Chile el área en la que se siembran los cultivos de trigo y de cebada (en especial trigo) cubre un amplio rango de latitudes (entre los 33 y 41° de latitud sur, aunque la mayor proporción de la producción se encuentra entre 36 y 40°). Además de las diferencias climatológicas, también hay que considerar diferencias de suelo y niveles tecnológicos de los agricultores, por tanto, esto implica un amplio rango de manejos para los cultivos. Los trigos que se siembran son invernales, primaverales y alternativos, estos últimos intermedios entre los otros dos grupos y con alta sensibilidad fotoperiódica. En el caso de las cebadas, los materiales utilizados son principalmente primaverales y más circunscriptos en la distribución geográfica. Es importante señalar que el área de producción de cebada cervecera en el país es sensiblemente menor que la destinada a trigo (aproximadamente un 5% de la superficie triguera). Debido a que una parte importante del área sembrada se realiza en suelos de origen volcánico de pH ácido es necesario el encalado para evitar toxicidad por aluminio. La dosis a emplear dependerá del nivel de saturación por aluminio pero puede variar entre 2 y 4 t ha<sup>-1</sup>. Esta es una práctica que se ha hecho común en los agricultores en los últimos años considerándola rutinaria en sus labores de preparación de suelo. La elección del cultivar también es importante para evitar pérdidas en el rendimiento ya que existe diferente sensibilidad genotípica a este factor edáfico. El rango de fechas de siembra va desde Mayo hasta Agosto. Las más tempranas para trigos invernales y/o en latitudes menores y las más tardías para trigos y cebadas primaverales sembrados entre 39 y 41° de latitud. En general se utilizan densidades de siembra altas inclusive para trigos invernales. Los rangos van desde 250 hasta 400 pl m<sup>-2</sup>. En trigos primaverales generalmente se utilizan densidades entre 300 y 350 pl m<sup>-2</sup>. Algunos productores están comenzando a utilizar densidades menores a las tradicionales ya que se está incorporando

la siembra de precisión, sobre todo en los trigos del sur del país. También es importante tratar las semillas para evitar ataques tempranos de enfermedades foliares, de la espiga (carbones) y de raíces como mal del pie (denominado pietín en otros países de la región).

#### 4.1.3.4. Uruguay

Previo a la siembra se debe disponer de un análisis de suelo para definir el cultivo a utilizar y las posibles correcciones de los niveles iniciales de P y N disponibles en el suelo. Además de los niveles de nutrientes disponibles la decisión de cuál de los dos cultivos es aconsejable sembrar en una determinada chacra, debe tener en cuenta el riesgo de anegamiento que presente la chacra, descartando la siembra de cebada en aquellos suelos que presenten mayor probabilidad de ocurrencia de este tipo de eventos. El rango óptimo de fecha de siembra para ambos cultivos en Uruguay es entre el 15 de Mayo y el 15 de Julio. Dependiendo del cultivar utilizado y la zona del país dicho rango se puede extender anticipando en la zona norte o atrasando en la zona sur. Los cultivares se caracterizan de acuerdo a la capacidad y dinámica del macollaje, en particular el grado de sincronía que presente este proceso. Los cultivares de menor sincronización del macollaje se deben sembrar a bajas densidades de siembra para evitar la competencia entre tallos que reduce drásticamente el número y tamaño de espigas, sobre todo en ambientes limitantes. Mientras que aquellos cuyo macollaje es sincronizado admiten un mayor rango de densidad de siembra. Los rangos de densidad de siembra van desde 200 a 450 plantas/m<sup>2</sup>, siendo la población óptima en la mayoría de los casos de 350 plantas/m<sup>2</sup>, tanto para trigo como para cebada.

## 4.2. Macollaje

### 4.2.1. Descripción de procesos

Esta etapa comienza con la aparición de la primera hoja de macollo desde la yema de la hoja más vieja (primera hoja emergida) del vástago principal. En condiciones sin marcadas restricciones bióticas y/o abióticas ello ocurre cuando el cultivo presenta 3 - 4 hojas. Cada hoja del vástago principal y, a su vez, cada hoja de macollo tiene la capacidad de generar un nuevo macollo. Los macollos provenientes de yemas de hojas del vástago principal se denominan macollos primarios, mientras que los macollos provenientes de hojas de un macollo primario se conocen como macollos secundarios. Tanto trigo como cebada poseen una capacidad teórica de generar macollos de forma exponencial. Sin embargo, se alcanza un punto dado a partir del cual la aparición de macollos cesa y luego una proporción variable de los macollos aparecidos mueren (Figura 8). En general, el inicio de crecimiento del tallo (encañazón) desencadena el comienzo de mortandad de macollos que finaliza cuando se alcanza la espigazón. La mortandad de macollos es inversa al orden de aparición, por ello, los macollos que sobreviven son aquellos que aparecieron primero. Al menos 2 son los mecanismos conocidos que disparan el cese de aparición de los macollos: a) cambio de partición de los asimilados hacia los tallos en crecimiento y b) relaciones desfavorables de calidad de luz asociadas a la relación rojo:rojo lejano (R:RL) ya que el sombreado de los macollos en crecimiento reducen la relación R:RL inhibiendo las yemas basales de los tallos (Fotos 5a y 5b). La mortandad de macollos está asociada a procesos de competencia por fotosimilados entre y dentro de las plantas, y ocurre aún en condiciones potenciales de crecimiento. En función de la dinámica de macollaje pueden caracterizarse 5 fases: (i) fase de premacollaje (PM), (ii) fase de aparición de macollos, (iii) fase de establecimiento del número máximo de macollos  $m^{-2}$  (ambas dentro de la fase MC), (iv), fase de mortandad de macollos, y (v) fase de

definición del número final de macollos fértiles/ $m^2$  (espigas/ $m^2$ ) (ambas sub-etapas durante la fase de encañazón EN) (Figura 1).



**Foto 5a.** Plantas de trigo y cebada mostrando los macollos que se han originado en las yemas de las axilas de las hojas. El cultivo se encontraba en mediados del periodo de macollaje (Foto: Abeledo 2011)

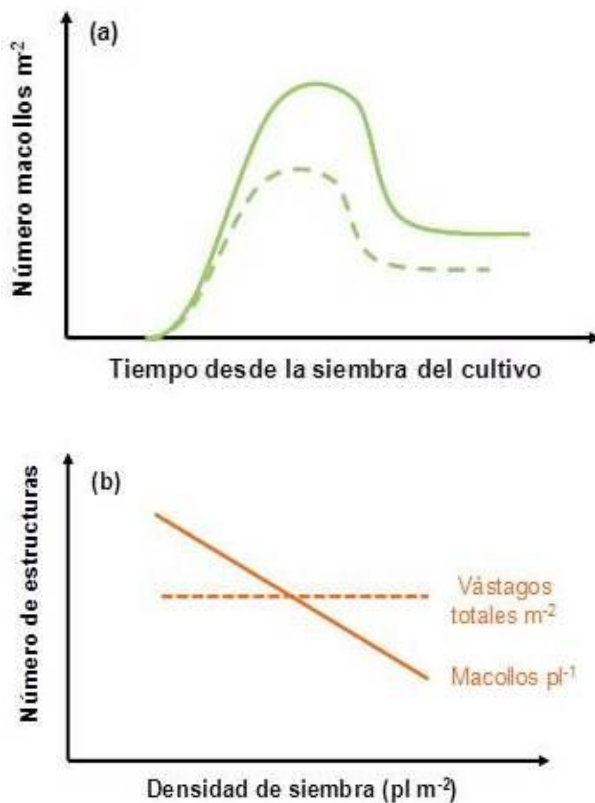


**Foto 5b.** Plantas de trigo y cebada mostrando el detalle de los vástagos principales y los macollos que se han originado en las yemas de las axilas de las hojas (Foto: Abeledo 2011).

Los macollos constituyen uno de los componentes numéricos más relevantes del rendimiento, ya que de ellos depende el número de espigas/ $m^2$  (NEP). Además, cuanto sea mayor el número de macollos mayor será el área foliar alcanzada permitiendo interceptar una alta proporción de la radiación incidente (FRADint) en forma temprana en el ciclo. De esta forma se incrementa la RADint.acum, y el rendimiento. Bajo condiciones normales de cultivo, cuando

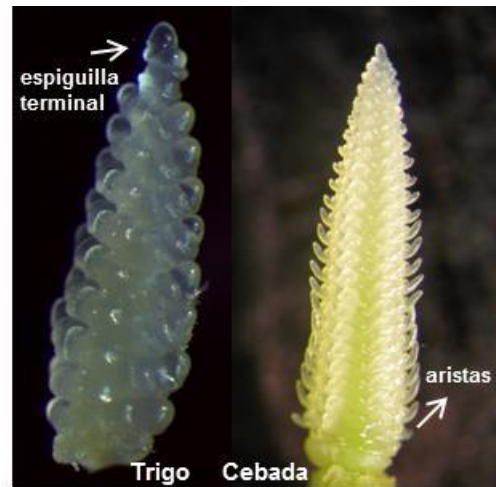


aparece el primer macollo el ápice del vástago principal se encuentra en estado



**Figura 8.** (a) Dinámica de macollaje para un cultivo creciendo ante condiciones de alta disponibilidad de recursos (o fecha de siembra temprana) (línea continua) o baja disponibilidad de recursos (o fecha de siembra tardía) (línea punteada); (b) Variaciones en el número de macollos logrados por planta (línea continua) o en el número de vástagos totales m<sup>-2</sup> en función de la densidad de siembra.

vegetativo (Foto 3). El pasaje al estado reproductivo ocurrirá en algún momento, generalmente dentro del período de macollaje, dependiendo de la respuesta del cultivar a los factores ambientales (temperatura, fotoperíodo y vernalización). A partir de aquí comienza la iniciación de espiguillas, que finaliza cuando se alcanza el estado de espiguilla terminal en trigo (espiga de crecimiento determinado - Foto 6) o el estado de inicio de elongación de aristas en cebada (espiga de crecimiento indeterminado - Foto 6). El proceso de diferenciación de espiguillas se genera desde el centro de la espiga hacia la parte superior e inferior en el



**Foto 6.** Fotos de trigo en espiguilla terminal y cebada en máximo número de primordios o aparición de aristas (Foto trigo: González 2004, Foto cebada: Arisnabarreta 2008)

caso del trigo y desde la base hacia el ápice en el caso de la cebada. De este modo, el marcador final que identifica la última espiguilla formada en trigo es la aparición de la espiguilla terminal (Foto 6), mientras que en cebada (con una estructura de espiga indeterminada), el cese de la diferenciación de las espiguillas se produce en coincidencia con la diferenciación de las aristas en las espiguillas basales (Foto 6). Por consiguiente, durante la etapa de macollaje está teniendo lugar la definición de las espigas potenciales (en la fenología externa del cultivo) y la definición del número de espiguillas por espiga (a nivel apical). La diferenciación de flores en cada una de las espiguillas que componen la espiga en el caso de trigo ha comenzado en un periodo previo a la diferenciación de la espiguilla terminal y posterior al inicio de la diferenciación de las espiguillas. Este proceso de diferenciación de primordios de flores prosigue durante la etapa siguiente del ciclo.

#### 4.2.2. Bases generales para el manejo

La fecha y densidad de siembra, junto a la disponibilidad de recursos (agua, nutrientes) modulan la dinámica de macollaje y condicionan tanto la cantidad de macollos aparecidos como el porcentaje de mortandad de los mismos. La cantidad de macollos

aparecidos por planta y que alcanzan el estado de macollo fértil a madurez será mayor cuanto más prolongado sea el período de macollaje (i.e fechas de siembra tempranas), y mayor la disponibilidad de recursos. Ello determina que retrasos en la fecha de siembra deban ir acompañados de un aumento en la densidad de siembra para lograr una adecuada cobertura del suelo y aprovechar la radiación incidente (Foto 7a y 7b). Para una fecha de siembra específica y condición hídrico-nutricional dada, altas densidades de siembra restringen la cantidad de macollos aparecidos por planta pero el número de espigas/m<sup>2</sup> logrado (o vástagos totales por m<sup>2</sup>) para diferentes densidades suele no verse modificado debido a la compensación entre la cantidad de macollos establecidos/planta y el número de plantas/m<sup>2</sup> (Figura 8). En condiciones agronómicas normales llegan a establecerse de uno a tres macollos con espigas por planta, más el vástago principal, lo cual representa alrededor de 400-700 espigas/m<sup>2</sup>. Si a la siembra del cultivo se parte de una condición nutricional deficitaria en el suelo, sería necesario fertilizar en ese momento. La fertilización con nitrógeno a siembra es una de las prácticas de manejo que favorece fuertemente la aparición de macollos, mientras que fertilizaciones a inicio de macollaje reducen la mortandad de macollos (Foto 8a y 8b). En ambos casos ello se traduce en un aumento en el número de espigas/m<sup>2</sup> (NEP). La fertilización al macollaje se recomienda en cultivos correctamente implantados y con una adecuada disponibilidad hídrica durante la etapa de pre-macollaje.

Tanto en trigo y como en cebada existen cultivares con diferente capacidad potencial de macollar, lo cual debe tenerse en cuenta al momento de ajustar la densidad de siembra. Una mayor capacidad de producir macollos puede determinar leves reducciones en la densidad de siembra respecto de otro cultivar con menor capacidad de macollaje. La presencia de enfermedades y plagas disminuyen la generación de macollos. Es



**Foto 7a.** Cultivo de trigo en inicio de macollaje (Foto: LoValvo 2013)



**Foto 7b.** Cultivo de trigo en pleno macollaje (Foto: LoValvo 2013)

común en este momento la aparición de diferentes enfermedades necrotróficas y plagas como orugas defoliadoras y/o pulgones. Su control, o la decisión de seguir relevando el lote a futuro, depende de los umbrales de daño establecidos para cada zona. El cultivo debe permanecer libre de malezas, por ello se debe recorrer el lote para identificar y cuantificar las malezas presentes. El estado fenológico del cultivo y el desarrollo y especie de malezas presentes definen el tipo de herbicida a utilizar y el momento de la aplicación. Un aspecto adicional a considerar es el historial de malezas del lote.

En resumen, la capacidad de macollaje del cultivo depende de la interacción entre la fecha y densidad de siembra, el genotipo utilizado y la disponibilidad de recursos a lo largo del ciclo del cultivo (fertilización, agua). Para mantener el número de macollos, modificaciones en una de esas variables debe ser acompañada de cambios en alguna otra.



**Foto 8a.** Cultivo de cebada en estado de espigazón sin agregado de N (Foto: Abeledo 2011)



**Foto 8b.** Cultivo de cebada en estado de espigazón con agregado de N a la siembra. Comparar las diferencias de color (contenido de clorofila en hojas) y en grado de cobertura del suelo con Foto 7a (Foto: Abeledo 2011)

#### 4.2.3. Aspectos y limitaciones de manejo a nivel regional

##### 4.2.3.1. Argentina

Durante la etapa de macollaje es posiblemente la última oportunidad de realizar una fertilización en el cultivo que impacte sobre el rendimiento a lograr. Fertilizaciones más tardías tienen principalmente efecto en el contenido de proteína de los granos. Al inicio de la etapa de macollaje se debe llegar con baja densidad de malezas en el lote a los efectos de reducir la competencia de las mismas con el cultivo. Las malezas más perjudiciales que acompañan a los cultivos de trigo o cebada durante esta etapa son avena negra (*Avena*

*fatua*), cebadilla criolla (*Bromus unioloides*) y raigrás criollo (*Lolium multiflorum*). Entre las plagas más comunes de la región pampeana figuran distintas especies de pulgones (pulgón verde, *Schizaphis graminum*; pulgón amarillo, *Metopolophium dirhodum*; pulgón ruso del trigo, *Diuraphis noxia*). Su presencia es favorecida ante condiciones de sequía. Las principales enfermedades durante esta etapa son producidas tanto por agentes biotróficos como necrotróficos. Entre las producidas por agentes biotróficos figuran (resaltándose con subrayado las más comunes para esta etapa) la roya de la hoja (*Puccinia hordei* en cebada y *Puccinia triticina* en trigo), la roya amarilla (*Puccinia striiformis*), y el oídio (*Erysiphe graminis*). Entre las producidas por agentes necrotróficos aparecen la mancha amarilla en trigo (*Drechslera tritici-repentis*), septoriosis de la hoja (*Septoria tritici*), mancha en red (*Drechslera teres*) y escaldadura en cebada (*Rhynchosporium secalis*). Estas enfermedades son favorecidas por condiciones de alta humedad. Tanto para plagas como enfermedades la realización de un control depende del grado de infestación y de la incidencia y severidad de la enfermedad, de acuerdo a los umbrales definidos en función de cada adversidad y sitio.

##### 4.2.3.2. Sur de Brasil

La fertilización con nitrógeno debe ser realizada a la siembra y entre los períodos de macollaje e inicio de encañazón, correspondiendo, en general, al estadio de 4 a 7 hojas en el vástago principal. Las malezas más frecuentes en los cultivos de trigo o cebada durante esta etapa son avena negra (*Avena fatua*), raigrás criollo (*Lolium multiflorum*), y nabo (*Raphanus* spp). Entre las plagas más comunes figuran distintas especies de pulgones (pulgón verde, *Schizaphis graminum*; pulgón amarillo, *Metopolophium dirhodum*; pulgón ruso del trigo, *Diuraphis noxia*). La presencia de dichas plagas en el sur de Brasil es favorecida ante condiciones de inviernos más benignos y con baja cantidad de lluvias. Entre las principales



enfermedades de tipo biotróficas se pueden mencionar la roya de la hoja (*Puccinia hordei* en cebada y *Puccinia triticina* en trigo), la roya amarilla (*Puccinia striiformis*), y el oídio en cebada (*Erysiphe graminis*). Entre las producidas por agentes necrotróficos aparecen la mancha amarilla en trigo (*Drechslera tritici-repentis*), mancha en red (*Drechslera teres*) y mancha marrón (*Bipolaris sorokiniana*).

#### 4.2.3.3. Chile

En suelos de origen volcánico (dónde se concentra la mayor parte de la producción de trigo y cebada en Chile) además de la fertilización nitrogenada es común la fertilización con fósforo debido a la retención de este elemento en el suelo. El fósforo es aplicado a la siembra y el nitrógeno fraccionado en dos o tres momentos. Generalmente la parcialización de nitrógeno es (i) a la siembra y (ii) en pleno o fines de macollaje. Debido al alto potencial de rendimiento, en especial en la zona sur del área triguera (39-41° de latitud sur) las fertilizaciones nitrogenadas alcanzan altos valores (160 kg N ha<sup>-2</sup> o más). En los últimos años ha tomado importancia el control de malezas como la ballica anual (*Lolium multiflorum*) en los cultivos de trigo y cebada debido a la resistencia a herbicidas registrada por los productores. Por el mismo motivo, la avenilla (*Avena fatua*) es una maleza importante ya que es difícil de controlar en cultivos de gramíneas. Otras malezas como rábano (*Brasica napus*), mostaza (*Brasica nigra*) y yuyo (*Brasica rapa*) son comunes dependiendo de la zona, en los cultivos de trigo y cebada pero más fáciles de controlar con herbicidas selectivos. Las plagas más comunes son los pulgones (pulgón verde, *Schizaphis graminum*; pulgón de la hoja, *Metopolophium dirhodum*; y pulgón el de la avena *Sitobion avenae*). En cebada también son importantes el pulgón verde y el de la hoja que transmiten el virus del enanismo amarillo de la cebada (por ejemplo, *Schizaphis graminum* y *Metopolophium dirhodum*). En la zona sur de trigo y cebada

(39-41° de latitud sur) es importante la presencia de gusano blanco (*Hylamorpha elegans* y *Phytoloema herrmanni*) en el suelo, sobre todo después de rotaciones con praderas naturales. Las royas son una de las enfermedades importantes del cultivo de trigo diferenciando su incidencia entre la zona centro norte y sur. En la primera, la roya amarilla o estriada (*Puccinia striiformis*) es la más importante (aunque también puede tener importancia en la zona sur) y la roya colorada o polvillo de la hoja (*Puccinia triticina*) en el sur. Desde la etapa de macollaje son importantes las manchas foliares como la septoriosis (*Septoria tritici*) y septoriosis de las glumas (*Septoria nodorum*). En cebada tiene importancia la escaldadura de la hoja (*Rhynchosporium secalis*), la mancha reticulada (*Helminthosporium teres*) y la mancha listada de la hoja (*Helminthosporium gramineum*). En la zona sur, con suelos ricos en materia orgánica (10% o más) una enfermedad de importancia, especialmente por la falta de medios de control excepto rotaciones, es el mal del pie (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*). De menor importancia es la mancha ocular (*Ceratobasidium cereale*). Los problemas de fusariosis son generalmente en raíces ya que es muy baja la incidencia de *Fusarium graminearum* en la espiga de trigo (golpe blanco) en Chile.

#### 4.2.3.4. Uruguay

Para las condiciones de Uruguay es recomendable un nuevo análisis de suelo en esta etapa de macollaje para conocer los niveles de nitrato disponibles para el cultivo. Las dosis de fertilizante nitrogenado a utilizar se deben ajustar de acuerdo a los niveles críticos (entre 13 y 14 ppm N-NO<sub>3</sub>) para esta etapa en ambos cultivos. Al finalizar el período de macollaje (inicio de encañado) se puede nuevamente corregir el nivel de nutriente nitrogenado mediante el contenido total de N en planta teniendo en cuenta los niveles críticos (3.9 y 4.1 % N en tallo principal). Estos niveles críticos descienden si el potencial del rendimiento del cultivo es

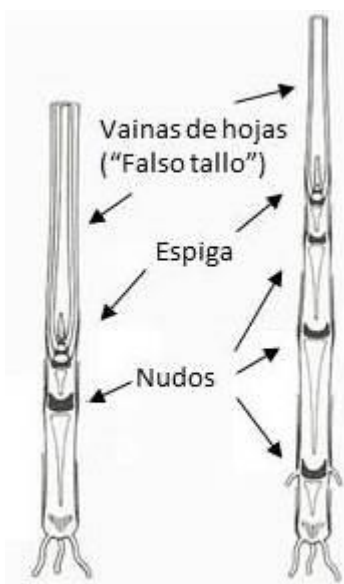
bajo y se incrementan en la medida que el potencial de rendimiento en este estadio es mayor. Agregados por encima de estos niveles críticos no resultan en incrementos del rendimiento y por el contrario pueden traducirse en incrementos del % de proteína en grano no deseado en el caso de cebada. Las plagas y enfermedades son similares a las mencionadas en Argentina especialmente en

la región del litoral. De este modo, enfermedades como royas, oídios en trigo y mancha en red y mancha marrón son frecuentes en esta región. Por otro lado, enfermedades como fusarium (o golpe blanco de la espiga) presentan cierta regularidad asociada a las condiciones climáticas favorables (humedad y temperatura) en el período de antesis.

### **4.3. Encañazón, Espigazón, Antesis**

#### **4.3.1. Descripción de procesos**

La encañazón comienza con la detección del primer nudo en la base de la planta y se caracteriza por la elongación de los entrenudos que dan forma a lo que se conoce como el “tallo verdadero” de la planta (los 4-5 primeros nudos ubicados en la base de los tallos no se elongan apreciablemente) (Figura 9). Poco después de iniciada la elongación del tallo comienza el crecimiento de la espiga, por lo que ambos órganos crecen de forma simultánea compitiendo por asimilados y nutrientes (Figura 10). El comienzo de encañazón coincide con el cese de la diferenciación de macollos y el comienzo de la mortandad de los mismos, debido a que los asimilados se particionan principalmente hacia el tallo en crecimiento (Figura 10).



**Figura 9.** Esquema de una planta en inicio de encañazón (Modificado de Zadoks *et al.* 1974).

A nivel de ápice meristemático, el comienzo de encañazón coincide generalmente con el cese de diferenciación de espiguillas (Foto 9). La diferenciación de primordios de flores, que comienza antes de finalizar la diferenciación de espiguillas, continúa dentro de las espiguillas alcanzándose el máximo número de primordios florales una vez iniciada la encañazón (Figura 10). Una proporción importante de dichos primordios

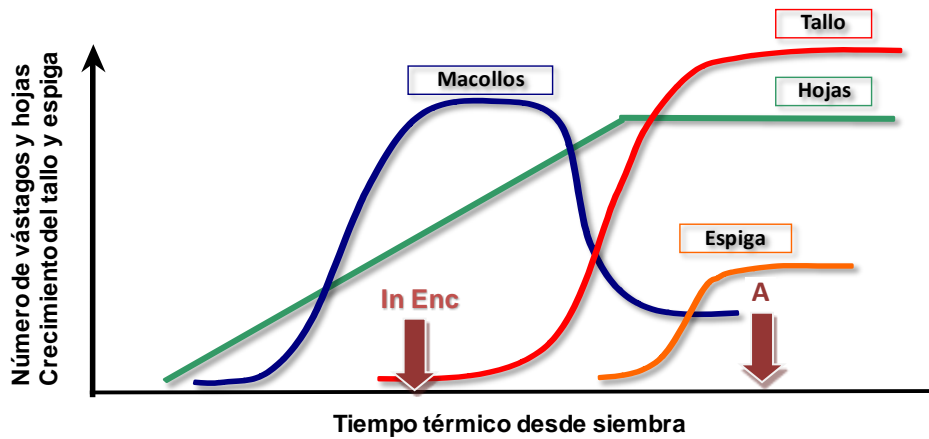


**Foto 9.** Detalle de la elongación de los entrenudos y la formación de la espiguilla terminal dentro del ápice de trigo (Fotos Miralles 2010)

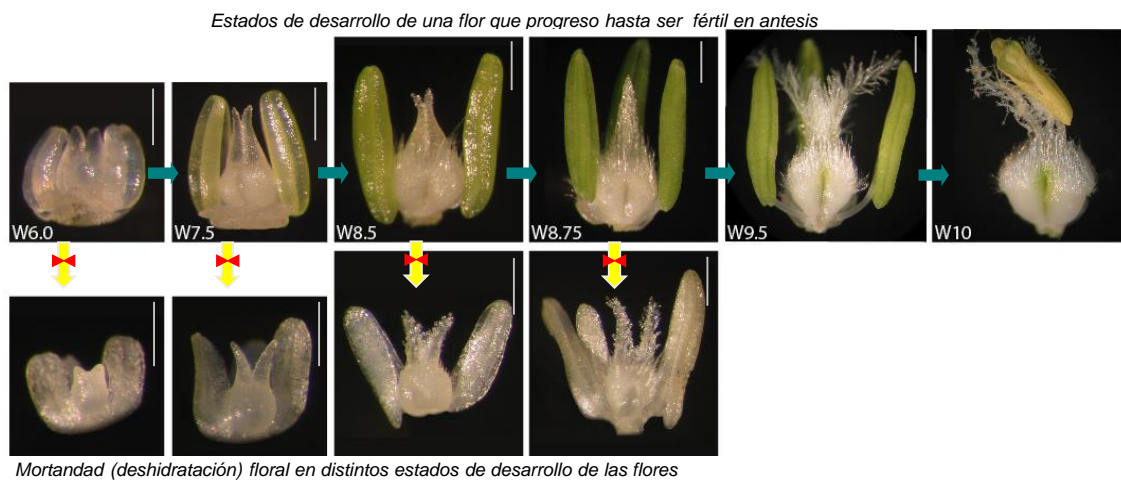
muere antes de alcanzar el estado de flor fértil (Foto 10). Dependiendo del cultivar y de las condiciones de crecimiento, la mortandad oscila entre 37 y 40% en cebada (Arisnabarreta y Miralles, 2006) y entre 60 y 85% en trigo (González *et al.* 2011) (Foto 11). La mortandad de las flores se debe a la limitada disponibilidad de asimilados para el crecimiento de la espiga debido al crecimiento simultáneo del tallo (Kirby 1988, González *et al.* 2011). Este período de mortandad floral comienza próximo a la aparición de la hoja bandera y prosigue hasta antesis (Figura 10), donde se alcanza el máximo número de flores fértiles/m<sup>2</sup> (o número potencial de granos/m<sup>2</sup>).

El despliegue de la lámina de la hoja bandera (momento en el que se alcanza la máxima área foliar por unidad de superficie o IAF máximo) coincide con el estado de bota o vaina engrosada (la espiga está encerrada en la vaina de la hoja bandera). En el caso de cebada, inmediatamente después de ocurrido el estado de bota, se observa el comienzo de la aparición de las aristas por encima de la vaina de la hoja bandera, y es un indicador de que las flores han alcanzado el estado de flor fértil y la antesis está ocurriendo. De esta manera, la fecundación en cebada se produce cuando la espiga se encuentra aún dentro de la vaina de la hoja





**Figura 10.** Esquema de la generación de macollos y hojas y crecimiento del tallo y la espiga. (Modificado de Slafer *et al.* 2003)

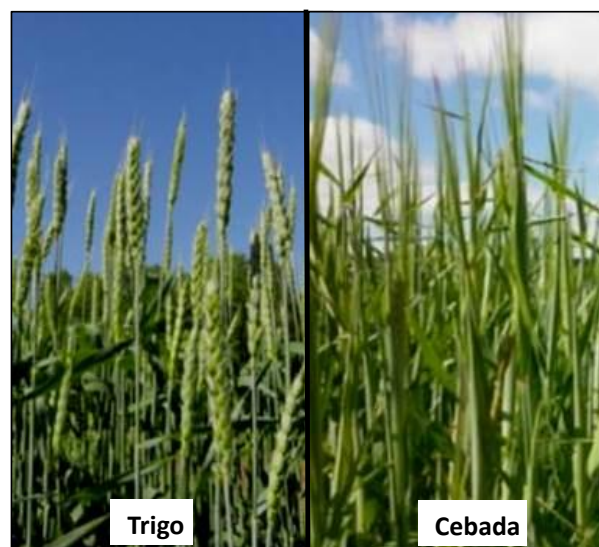


**Foto 10.** Evolución de una flor que progresa normalmente hasta ser fértil en antesis (W10) (arriba) y fotos de flores que mueren (deshidratán) antes de llegar a estado fértil (abajo) (Modificado de González *et al.* 2011).

bandera. En trigo, con la elongación del último entrenudo (el pedúnculo), se produce la emergencia de la espiga (espigazón) por sobre la vaina de la hoja bandera, y a los pocos días se produce la autofecundación y luego la aparición de las anteras o antesis (Foto 11). Bajo condiciones libres de estrés abiótico y biótico, una alta proporción de las flores fecundadas cuaja y resulta en granos a cosecha (>90%, González *et al.* 2003).

#### 4.3.2. Bases generales para el manejo

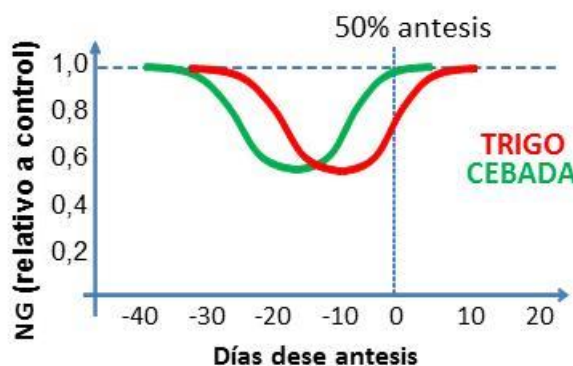
Si bien la determinación del rendimiento ocurre durante todo el ciclo del cultivo, no todas las etapas tienen la misma importancia para la definición del rendimiento ante variaciones en la oferta de recursos. Dentro



**Foto 11.** Foto de un cultivo de trigo y cebada en antesis. Nótese que en el caso de cebada la antesis se produce dentro de la vaina de la hoja bandera.

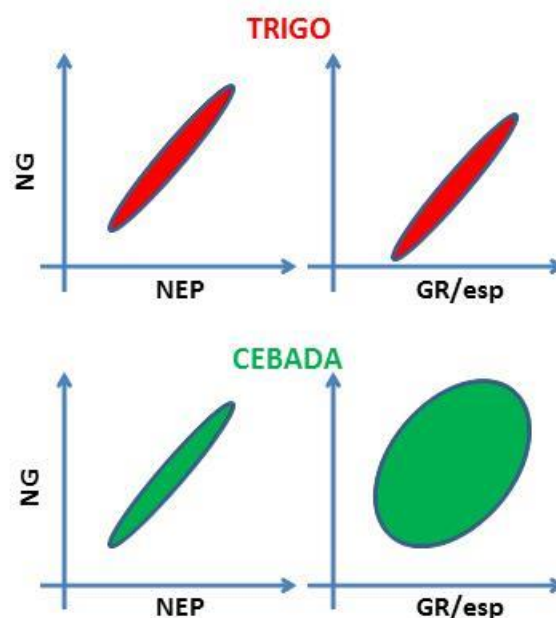
de la etapa encañazón-espigazón-antesis se encuentra el **período crítico** para la determinación del rendimiento tanto en trigo como en cebada (Figura 11). En dicho período se está determinando el principal componente del rendimiento, el **número de granos por unidad de área (NG)**, como así también el **peso potencial** de estos granos. Considerando los subcomponentes del NG, el número de espigas/m<sup>2</sup> (NEP) depende de la supervivencia de macollos, mientras que el número de granos por espigas (GR/esp) está relacionado con la supervivencia de flores y el cuaje de granos. A su vez, el tamaño de los ovarios de las flores influye sobre el peso final de los granos (Calderini *et. al.* 2001), flores más grandes resultan en granos de mayor peso potencial. Por lo tanto, durante este período crítico el cultivo debe contar con una adecuada disponibilidad de recursos para maximizar la determinación de estos componentes del rendimiento.

El período crítico en trigo se ubica, dependiendo de las condiciones ambientales, desde aproximadamente 3 semanas previas hasta 1 semana posterior a la antesis (Fischer 1985). En cebada ocurre más temprano abarcando aproximadamente las 4 semanas previas a antesis o aparición de las aristas (Arisnabarreta y Miralles 2008) (Figura 11).



**Figura 11.** Variaciones en el número de granos por unidad de área (NG) en trigo y cebada, relativo a un control bajo condiciones potenciales, frente a disminuciones de la disponibilidad de recursos u ocurrencia de estreses bióticos y abióticos, alrededor de antesis (adaptado de Fischer, 1985 y de Arisnabarreta y Miralles, 2008).

Esta pequeña diferencia radica en la diferente plasticidad reproductiva de estos cultivos. Trigo tiene una espiga más plástica que cebada, dado que diferencia muchas flores por espiguilla, alcanzando entre 2 y 5 flores fértiles, mientras que cebada tiene una mayor capacidad de macollaje. Por lo tanto, en trigo la determinación del NG depende tanto del NEP como del GR/esp, mientras que en cebada se asocia principalmente con el NEP (Figura 12).



**Figura 12.** Relación entre los principales componentes numéricos del NG en trigo y cebada.

Dada la relevancia del período crítico, la mayoría de las medidas de manejo tienen como objetivo maximizar la tasa de crecimiento del cultivo durante dicho período. La elección de la fecha de siembra procura ubicar el período crítico en el mejor ambiente fototermal (alta radiación y moderada temperatura) e hídrico posible, evitando la ocurrencia de estreses abióticos como heladas, anegamiento o golpes de calor. La densidad de siembra debe asegurar la máxima captura de los recursos disponibles previo al inicio del período crítico, reduciendo el impacto de factores bióticos (ejemplo generación de microambiente proclive a la aparición de enfermedades) y/o abióticos

(ejemplo fuerte consumo de agua en etapas previas en un ambiente con probable déficit hídrico o producción de tallos de diámetro reducido propensos al vuelco). Bajo condiciones libres de estreses el cultivo debe interceptar más del 95% de la radiación incidente (FRADint) al inicio del período crítico. En segundo lugar aparecen las medidas relacionadas con la fertilización (Foto 12) y la prevención y/o control de adversidades fitosanitarias, tendiente a incrementar la disponibilidad de nutrientes (fertilización) y maximizar la captura y utilización de éstos y otros recursos como radiación y agua.



**Foto 12.** Detalle de los macollos establecidos al momento de la espigazón en un cultivo de cebada con aplicación (izquierda) y sin aplicación (derecha) de N a la siembra (Foto: Abeledo 2011)

#### 4.3.3. Aspectos y limitaciones de manejo a nivel regional

##### 4.3.3.1. Argentina

La principal medida de manejo llevada a cabo durante esta etapa del cultivo es la aplicación de fungicidas, combinados en algunos casos con insecticidas, en el estadio de hoja

bandera (DC39). Esta etapa requiere de un monitoreo constante de aparición de síntomas de enfermedades y daños de insectos. El monitoreo comienza más tempranamente en el cultivo de cebada dado el desfase ontogénico del período crítico con respecto a trigo. Los fungicidas comúnmente utilizados son mezclas de triazoles y estrobirulinas dependiendo de la enfermedad y del grado de protección en el tiempo que se quiera aplicar ya que los triazoles tienen en general un efecto curativo mientras que las estrobirulinas presentan la característica de ser preventivas. Por otra parte, algunos planteos de alta tecnología tendientes a maximizar (trigo) u optimizar (cebada) el contenido de proteína en grano suelen realizar aplicaciones foliares de N.

##### 4.3.3.2. Sur de Brasil

Los aspectos relacionados con el monitoreo y control de enfermedades (aplicación de fungicidas) son los mismos descritos para Argentina. En trigo, la fertilización de nitrógeno después del inicio de encañazon y alrededor de la antesis normalmente no incrementa (o incrementa muy poco) el rendimiento de granos, más puede aumentar el peso de los granos y el peso hectolítrico y el contenido proteico de los mismos. En algunas cultivares de trigo, el aumento del contenido proteico resulta en un aumento de la fuerza del gluten (valor W).

##### 4.3.3.3. Chile

En planteos con tres parcializaciones para la aplicación de nitrógeno, en esta etapa se realiza la última fertilización aunque esta práctica es menos común que la aplicación en dos momentos. La aplicación de herbicidas hormonales fuera del período recomendado (entre comienzos y fines de macollaje) genera daños en la espiga que pueden ocurrir en algunos casos de producción. El monitoreo de enfermedades es una de las actividades más comunes que se realizan en la etapa inicio de encañazon-antesis. En la zona sur del área triguera es importante la aplicación de reguladores de crecimiento, sobre todo en



los sistemas de alta producción dada la potencialidad de rendimiento de los cultivos de trigo y cebada (más de 10 tn ha<sup>-1</sup>, lo que implica un alto peso de espiga), la altura de planta (entre 90 y 100 cm) y la probabilidad de ocurrencia de temporales durante el llenado de los granos.

#### 4.3.3.4. Uruguay

Durante esta etapa de cultivo se debe prestar especial atención al estado sanitario, en particular si se han utilizado cultivares de baja tolerancia a algunas de las enfermedades más frecuentes en la región. Dada las condiciones hídricas particulares de Uruguay en invierno y principios de primavera, predominan enfermedades de hongos necrotrofos que alcanzan niveles de incidencia y severidad temprano en la estación de crecimiento, mucho antes del estado de bota (DC40). La problemática tecnológica principal desde el punto de vista sanitario, sobre todo en inviernos y principios de primavera cálidos y lluviosos, son en cebada Mancha borrosa (*Bipolares sorokiniana*) y actualmente Ramularia (*Ramularia colosigni*), especialmente por la baja resistencia genética de los cultivares en producción y la menor disponibilidad y menor

eficiencia de control de los fungicidas en comercialización. En estas mismas condiciones, en trigo, la problemática está asociada a la roya de la hoja (aunque hay disponibilidad de cultivares resistentes y fungicidas efectivos), aunque la principal dificultad radica en alta frecuencia de años con presencia y aparición temprana de mancha amarilla (*Hermiltosporium tritic repentis*), para la cual se cuenta con muy bajo número de cultivares con resistencia genética. Cuando el antecesor al trigo, es trigo del año anterior, en años típicos en Uruguay, la infección aparece desde estadios tan tempranos como 3 hojas. En estas condiciones no existe actualmente solución tecnológica, dada la alta cantidad de inóculo disponible en el rastrojo. Es por ello, que desde el punto de vista tecnológico, la única alternativa es evitar la siembra de trigo sobre trigo.

#### 4.4. Llenado de granos y secado

##### 4.4.1. Descripción de procesos

Luego de la antesis y fecundación comienza la etapa de llenado de grano donde se termina de definir (i) cuántas flores fecundadas se establecen como grano a cosecha (etapa de cuaje o fase *lag*) y (ii) el peso de grano logrado (etapa de llenado efectivo). La fase *lag* comprende los primeros ca. 15-20 días desde la antesis del cultivo y se caracteriza por una activa división celular que define el número de células endospermáticas y por ende el peso potencial del grano. La acumulación de peso seco (i.e. peso sin humedad) en el grano es muy pequeña pero se observa una rápida acumulación de agua en el mismo (Brocklehurst 1977) (Figura 13). Al finalizar la fase *lag* o cuaje queda definido el NG en el cultivo, componente principal del rendimiento. La fase de llenado efectivo comienza con la finalización de la fase *lag* y termina en madurez fisiológica (momento en el que se alcanza el máximo peso seco del grano). Durante esta etapa el grano acumula la mayor parte de su peso seco, el cual queda determinado por (i) la cantidad de materia seca acumulada en el grano por unidad de tiempo (tasa de llenado) y (ii) por la duración de la etapa entre fin de fase *lag* y madurez fisiológica. La acumulación de agua en el grano continúa durante esta etapa hasta que el contenido hídrico del grano permanece constante (plateau hídrico), y finaliza al alcanzar la madurez fisiológica. La humedad de los granos al momento de madurez fisiológica oscila entre 36 y 41% (Calderini *et al.* 2000; Alvarez Prado *et al.* 2013). En este momento, el rendimiento del cultivo ya está determinado. De aquí a humedad de cosecha (14-16%) el grano sólo pierde humedad (Figura 13). Las fuentes de asimilados principales que disponen los cultivos de trigo y cebada para el llenado de granos son en orden decreciente de importancia: (i) la fotosíntesis de hojas, (ii) la removilización de reservas almacenadas en los tallos y (iii) la fotosíntesis de las espigas (Figura 14). Los cultivos de trigo y cebada son cultivos principalmente limitados por destinos o

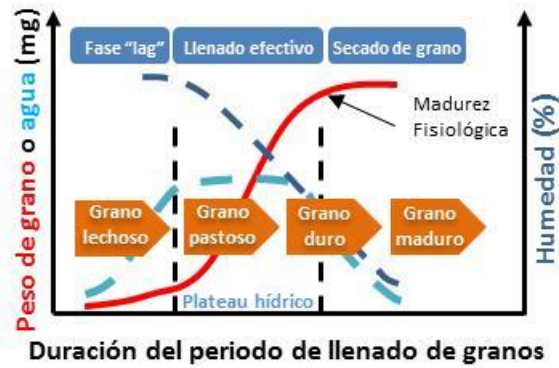


Figura 13. Esquema teórico en donde se muestra la evolución del peso de grano, de agua y el porcentaje de humedad en función del tiempo expresado en días desde la antesis del cultivo.



Figura 14. Esquema teórico que muestra la importancia relativa de las distintas fuentes de asimilados para el llenado de granos en el cultivo de trigo y cebada sanos y estresados

levemente co-limitado por fuente (fotoasimilados) y por destinos (número y peso de granos) durante el llenado de grano. Es decir, se encuentran pocos o nulos aumentos en el peso de grano ante incrementos importantes en la disponibilidad de asimilados por grano (producto de la reducción en el número de destinos), así

como también leves reducciones en el peso de grano ante reducciones importantes en la fuente durante el llenado de granos (eg. producto de defoliaciones). La capacidad de utilizar reservas almacenadas en los tallos para compensar reducciones en la fotosíntesis durante el llenado de grano ha sido propuesto como el mecanismo principal que explica este comportamiento en los cultivos de trigo y cebada (Figura 14).

#### *4.4.2. Bases generales para el manejo*

Diferentes características relacionadas con factores genéticos (i.e. granos de diferentes posiciones dentro de la espigas) y ambientales (i.e. disponibilidad hídrica y temperatura) pueden afectar el peso de grano. En trigo, el peso de grano de las diferentes posiciones dentro de las espiguillas es claramente distinto. Estas diferencias están asociadas al peso potencial de grano (Miralles y Slafer 1995). Por otro lado, marcados déficit hídricos durante el llenado de los granos producen acortamientos marcados de la duración del llenado de granos (Nicolas *et al.* 1985, Bhullar y Jenner 1986). Aumentos en la temperatura del aire durante el llenado efectivo de los granos producen reducciones en el peso de grano asociadas a acortamientos marcados de la duración del llenado (Sofield *et al.* 1977). De esta manera, el incremento en la tasa de llenado de grano por efecto de la alta temperatura, no compensa la menor duración del llenado de grano (Sofield *et al.* 1977). Por ello, la elección de la fecha de siembra debe procurar evitar la exposición del llenado de grano a altas temperaturas y/o déficit hídricos severos.

#### *4.4.3. Aspectos y limitaciones de manejo a nivel regional*

##### *4.4.3.1. Argentina*

Durante esta etapa las medidas de manejo que se realizan son escasas ya que una vez iniciado el llenado de granos se ha definido el NG (principal componente del rendimiento) y resta completar el llenado de grano en las

mejores condiciones posibles de modo de evitar exponer el periodo de llenado a excesivas lluvias y/o altas temperaturas que puedan afectar el peso final de los mismos. Por ello, la decisión de la fecha de siembra y la predicción de cuándo ocurrirá el momento de la antesis son claves para evitar exponer el periodo de llenado de granos a condiciones desfavorables. Sin embargo, en esta etapa pueden ocurrir algunas restricciones bióticas que deberían ser monitoreadas. Por ejemplo, re infecciones tempranas de enfermedades foliares como por ejemplo roya de la hoja y septoriosis de la espiga. La aparición de fusarium (o golpe blanco) en el momento en que se produce la antesis es una de las enfermedades más importantes a nivel de espiga, no siendo frecuente en general en la zona triguera y cebadera de Argentina pero con mayor incidencia a medida que el cultivo se realiza hacia el norte y este del país (ejemplo litoral). Plagas como por ejemplo orugas defoliadoras o desgranadoras pueden casusa daños indirectos (a través de reducciones de área foliar) o directos reduciendo el GR/esp. Por ello, es importante el monitoreo del cultivo especialmente durante las etapas tempranas del llenado de grano.

##### *4.4.3.2. Sur de Brasil*

En esta etapa gran parte del potencial productivo de los cultivos de trigo y cebada (NEP y GR/esp) ya se encuentra establecido. Así, durante esta etapa se definirá el peso individual de los granos. En el sur de Brasil, esta etapa ocurre en general en los meses de septiembre a noviembre. Las principales limitaciones al adecuado llenado de granos son el exceso de lluvias, que resultan en reducidos niveles de radiación solar (reducción en la tasa fotosintética) y aumento de la humedad del aire, incrementando la incidencia de enfermedades fúngicas (roya de la hoja, manchas foliares, giberella). En esta etapa, es frecuente la aplicación de fungicidas en los ambientes de producción de cereales invernales en la región sur de Brasil,

especialmente en años con elevada precipitación en la primavera. Además, el exceso de lluvias entre la madurez fisiológica y la madurez de cosecha puede resultar en la germinación de los granos en la espiga, reduciendo el valor comercial y la calidad industrial de los mismos.

#### *4.4.3.3. Chile*

Como en otros países analizados en este manual, son pocas las prácticas de manejo que se realizan durante el llenado de los granos más allá del monitoreo de enfermedades como las royas y septoriosis o posibles incidencias de plagas. La comercialización de trigo en Chile se realiza en base a 15% de humedad de los granos y en cebada entre 12 y 13%. Por lo tanto, la cosecha a tiempo es importante para la comercialización del producto y para evitar inconvenientes que disminuyan el rendimiento, la calidad y el precio de los granos. En el sur del área triguera la ocurrencia de tendadura (vuelco o acame) no es infrecuente dadas las condiciones comentadas en la sección anterior. Las precipitaciones comunes durante el llenado de los granos, o inmediatamente después de madurez fisiológica pueden provocar el brotado de los granos tanto en trigo como en cebada. El bajo déficit de presión de vapor es una característica del sur del área triguera a diferencia de la zona centro-sur que presenta régimen de precipitaciones mediterráneo.

Como consecuencia, a partir de aproximadamente los 39° de latitud, la etapa entre madurez fisiológica (37% de humedad en los granos) y madurez de cosecha (15%) puede demorarse. Esto, aumenta el riesgo de pérdida de rendimiento cosechado y favorece la ocurrencia de brotado y granos punta negra que deterioran la calidad maltera o molinera y disminuyen el precio de comercialización.

#### *4.4.3.4. Uruguay*

Similar a la etapa anterior, el énfasis debe ser puesto en el monitoreo de plagas y enfermedades que pueden restringir la concreción del potencial del rendimiento logrado debido a caídas en el peso de los granos.



## Bibliografía

- Alvarez Prado S, Gallardo JM, Serrago RA, Kruk BC, Miralles DJ (2013). Comparative behavior of wheat and barley associated with field release and grain weight determination. *Field Crops Research* 144, 28-33.
- Alzueta I, Abeledo LG, Mignone CM, Miralles DJ (2012). Differences between wheat and barley in leaf and tillering coordination under contrasting nitrogen and sulfur conditions. *European Journal of Agronomy* 41, 92-102.
- Arisnabarreta S, Miralles DJ (2006). Floret development and grain setting in near isogenic two- and six-rowed barley lines (*Hordeum vulgare* L.). *Field Crops Research* 96, 466-476
- Arisnabarreta S, Miralles DJ (2008). Critical period for grain number establishment of near isogenic lines of two- and six-rowed barley. *Field Crops Research*. 107, 196-202.
- Brocklehurst PA (1977). Factors controlling grain weight in wheat. *Nature* 266, 348-349.
- Bhullar SS, Jenner CF (1986). Effects of a brief episode of elevated temperature on grain filling in wheat ears cultured on solutions of sucrose. *Australian Journal of Plant Physiology* 13(5), 617 – 626.
- Calderini DF, Abeledo LG, Slafer GA (2000). Physiological maturity in wheat based on kernel water and dry matter. *Agronomy Journal* 92, 895–901.
- Fischer RA (1985). Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *Journal of Agricultural Science*, 105, 447-461.
- González FG, Miralles DJ, Slafer GA (2011). Wheat floret survival as related to spike growth during pre-anthesis. *Journal of Experimental Botany* 62, 4889-4901.
- González FG, Miralles DJ, Slafer GA (2003). Grain and floret number in response to photoperiod during stem elongation in fully and slightly vernalized wheats. *Field Crops Research*, 81, 17-27.
- Kirby EJM (1988). Analysis of leaf, stem and ear growth in wheat from terminal spikelet stage to anthesis. *Field Crops Research* 18, 127-140.
- Miralles DJ, Arisnabarreta S, Alzueta I (2011). Desarrollo ontogénico y generación del rendimiento. En: *Cebada cervecera*. Miralles DJ, Benech-Arnold RL, Abeledo LG (Eds.). Editorial Facultad de Agronomía.
- Miralles DJ y Slafer GA (1995). Individual grain weight responses to genetic reduction in culm length in wheat as affected by source-sink manipulations. *Field Crops Research*. 43: 55-66
- Nicolas M; Lambers H, Simpson RJ, Dalling MJ (1985). Effect of Drought on Metabolism and Partitioning of Carbon in Two Wheat Varieties Differing in Drought-tolerance; *Annals of Botany* 55 (5), 727-742.
- Slafer GA, Rawson HM (1994). Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors. A re-examination of some assumptions made by physiologists and modelers. *Australian Journal of Plant Physiology* 21, 393-426.
- Slafer GA, Calderini DF, Miralles DJ, Savin R (2001). Guía de Manejo de Trigo. *Revista Super Campo* 81, 67-98.
- Slafer GA, Miralles DJ, Savin R, Whitechurch EM, González FG (2003). Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en trigo. En: *Producción de granos. Bases funcionales para su manejo* (Satorre EH, Benech-Arnold R, Slafer GA, de la Fuente EB, Miralles DJ, Otegui ME, Savin R (Eds.)), 101-134.
- Sofield I, Evans LT, Cook MG, Wardlaw IF (1977). Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. *Australian Journal of Plant Physiology*, 4, 785–797.