

# CAPÍTULO 4

## Trigo: siembra y densidad

*Silvina Inés Golik*

### Preparación del suelo y siembra

La labranza tiene como objetivo promover en el suelo cambios favorables de orden físico, químico y biológico que permitan obtener las óptimas condiciones para las labores de siembra, nacimiento y crecimiento de las plantas. Para alcanzar dicha finalidad resulta imprescindible tener en cuenta las condiciones edafoclimáticas de cada región tratando de seguir un camino conservacionista de los recursos. Así, la preparación del suelo comprende los siguientes aspectos: incremento del agua disponible favoreciendo su captación y disminuyendo su escurrimiento, reducción de la erosión, compactación, eficiente control de malezas, adecuado manejo de los rastrojos, conservación de los nutrientes. Teniendo en cuenta todo esto, actualmente, prácticamente todo el cultivo en nuestro país se realiza bajo siembra directa. La labranza convencional o tradicional consistía en una labranza básica a fin de verano con arado de rejas, más o menos superficial (10-12 cm), para incorporar el residuo, controlar malezas y mejorar la captación de agua. Luego de un barbecho de alrededor de 60 días, efectuándose una segunda labranza con arado de rejas cruzado al anterior, por lo menos 30 a 40 días antes de la siembra para que el suelo se asiente naturalmente y brinde una cama firme en profundidad y suelta en la superficie. Procediéndose, luego, hasta la siembra, con las labores de refinamiento con rastra de discos, dientes y vibrocultivadores.

En gran parte de la pampa ondulada, la difusión de la rotación trigo-soja ha provocado un excesivo laboreo del suelo, que unido al poco rastrojo que deja el cultivo de soja, ha producido disminuciones importantes en el contenido de materia orgánica y pérdidas de suelo por erosión. Esto se tradujo en una pérdida de estructura y fertilidad de esos suelos, aumentando los problemas de planchado, compactación y escurrimiento que derivan en un mayor déficit hídrico.

### Siembra directa

Debido a los problemas citados precedentemente, en los últimos años han tomado mucho impulso las labranzas conservacionistas, entre ellas la siembra directa. Esta tecnología fue implementada inicialmente para cultivos de verano, como la soja y el maíz. En la actualidad su uso y difusión se extendió a todos los otros cultivos comerciales, entre ellos el trigo. La siembra directa es parte de un sistema integral de producción de granos que consiste en la implantación

del cultivo sin remoción de suelo y con una cobertura permanente del mismo, con no menos de un 30 %, de residuos de cosecha (Fig. 4.1).

Una de las principales limitantes no sólo en nuestro país, sino a nivel global en la producción de cultivos, es la cantidad de agua disponible. Y esto en gran parte de los casos no es debido a la falta de precipitaciones sino a dificultades en su captación, almacenaje, pérdidas por escurrimiento y evaporación de la misma. Puesto que el manejo convencional de los suelos produce la rotura de su estructura lográndose cada vez menos captación y almacenamiento de agua, a tal punto que sólo se aprovecha el 50% del agua caída como precipitaciones. Además, con este manejo se produce una constante disminución de la materia orgánica. La materia orgánica resulta fundamental tanto en la fertilidad química, a través del aporte de nutrientes, como física del suelo, manteniendo la estabilidad estructural del mismo y favoreciendo con ello la dinámica del agua y del aire (Pognante *et al.*, 2011).

Argentina es a nivel mundial uno de los pioneros en adopción de esta práctica. La adopción de la siembra directa empezó en nuestro país hacia fines de los 80 y ya para fines de los 90 su incorporación era muy marcada, abarcando desde la campaña 2012/13 más del 90 % del área bajo cultivo (más de 30 millones de hectáreas) (Bolsa de Cereales, 2019; Rainaud, 2019). Entre los beneficios de su adopción se pueden citar: mejor aprovechamiento del agua, mayor protección contra la erosión (90% menos de erosión versus la labranza convencional), mejor balance de la materia orgánica, al permitir una degradación más lenta y sostenida en el tiempo, disminución de la formación de costras superficiales, aumentos en la oportunidad de siembra, ya que permite la siembra inmediatamente después de cosechado el cultivo anterior (el ejemplo más claro es la secuencia trigo/ soja de segunda, ampliamente difundida en todas las subregiones trigueras), permite sembrar donde arar no era posible por falta de agua, reduce la cantidad de maquinaria utilizada y por lo tanto el consumo de combustible en un 40% respecto a la labranza convencional (AAPRESID/INTA, 2012).

Los sistemas productivos bajo labranza convencional, que se mantuvieron por más de 40 años, trajeron como consecuencia erosiones hídricas y eólicas causadas por el arrastre de partículas en suspensión y su efecto en la contaminación de cursos de agua, encostramiento, planchado. Siendo el principal problema la pérdida, en promedio del 2% de la materia orgánica, por oxidación de la misma en forma de dióxido de carbono, llevándose el 50% de su fertilidad potencial (por cada 1% de pérdida de materia orgánica, se pierde alrededor de 1200 kg.ha<sup>-1</sup> de N, 120 kg ha<sup>-1</sup> de P y 40 kg.ha<sup>-1</sup> de S). Y es bien sabido que la materia orgánica, una vez desaparecida, la naturaleza tarda miles de años para volver a formarla (AAPRESID, 2012). Nuestro sistema de siembra directa, a diferencia de otros sistemas, no sólo implica sembrar directamente sobre cobertura de residuos, sino que involucra **rotaciones de cultivos y fertilizaciones**. La rotación de cultivos con distintos sistemas radiculares que exploran diferentes estratos del perfil permite una colonización del suelo con raíces de diferente arquitectura que favorecen la generación de macroporos por acción biológica (microorganismos). Estos según su tamaño tendrán funciones de aireación, ingreso de agua al perfil, almacenamiento o bien funciones mixtas (Lorenzatti, 2005). Estos macroporos llamados biocanales se caracterizan por presentar gran estabilidad y continuidad espacial. Esto deriva en una mejor estructura que hace más eficiente el

uso del agua, y el aporte de carbono a través de rastrojos con distinta calidad, relación C/N y volumen, alternando principalmente gramíneas con leguminosas, que nos permite hacer un uso más sustentable del recurso suelo (Lorenzatti, 2005; Pognante *et al.*, 2011). La descomposición gradual, pero constante de los rastrojos en superficie estimula la formación de una capa superficial de suelo enriquecida en compuestos orgánicos, asociada a una intensa actividad biológica (Lorenzatti, 2005). Asimismo, los rastrojos en superficie dejados por este sistema de siembra resultan fundamentales durante los barbechos en subregiones como la V norte y V sur, donde el manejo del cultivo de trigo está muy influenciado por el recurso más limitante: el agua.

Es fundamental almacenar agua de verano–otoño para utilizarla en el cultivo durante los inviernos muy secos. En general se considera que existe una estrecha relación entre la duración del barbecho, que permita acumular una buena cantidad de agua y nutrientes y el logro de buenos rendimientos. Siendo también imprescindible buenas precipitaciones en octubre y noviembre, durante el periodo crítico del trigo. La dinámica del agua y la eficiencia de su utilización mejoran mucho respecto a una labranza convencional ya que la presencia de cobertura sumada a una mejor estructuración de los primeros centímetros hace que aumente la infiltración, disminuyan las pérdidas por escurrimiento y evaporación directa, y mejore la retención y movimiento del agua en el suelo. Todo esto debe ir acompañado con una adecuada estrategia de fertilización que al menos reponga los nutrientes que hoy presentan respuesta (nitrógeno, fósforo y azufre) (Lorenzatti, 2005).

El cultivo de trigo realiza un importante aporte a la cobertura de suelo con sus residuos de cosecha, con una alta relación C/N, que por su distancia de siembra deja un rastrojo distribuido de manera uniforme en la superficie del suelo y se caracteriza por su durabilidad en el tiempo (Forjan & Manso, 2016). Por otro lado, los rastrojos dejados por el cultivo antecesor bajo este sistema de labranza también son muy importantes para la implantación y primeras etapas de desarrollo del trigo debido a la baja ocurrencia de lluvias como mencionamos para las regiones VN y VS, debido a las escasas precipitaciones durante el invierno en gran parte de la región triguera Argentina. Ya durante la primavera, la probabilidad de lluvia aumenta y la disponibilidad hídrica generalmente resulta suficiente para abastecer al cultivo. De esta manera, el trigo puede lograr eficiencias de uso de agua entre 10 y 13 kg de grano por cada mm de agua consumida en zonas como el sudeste de Córdoba (Fraschina *et al.*, 2002; Fraschina *et al.*, 2003a; Fraschina *et al.*, 2012). Esta situación resulta especialmente importante en la región central norte triguera donde el antecesor maíz o sorgo, comparado con los lotes que provienen de soja de primera y segunda siembra, permiten lograr una mayor acumulación de agua en el suelo antes de la siembra de trigo. Las variedades de soja precoces de siembra temprana que maduran durante el mes de marzo también resultan un buen antecesor de trigo siempre que los rastrojos alcancen un mínimo de cobertura (Fraschina *et al.*, 2002). Con respecto a la elección de variedades de trigo para siembra directa se debe analizar previamente cual será el ambiente de producción. Ya que, si bien las variedades que permiten una siembra temprana muestran una buena adaptación, en los buenos ambientes se alcanzan iguales rendimientos con variedades de siembra más tardía (Fraschina *et al.*, 2012). Para la producción de trigo en gran parte del área triguera argentina, la siembra temprana presenta ventajas frente a la siembra más tardía, debido a un mejor uso del agua almacenada en el suelo. Cuando los ambientes de producción

de trigo mejoran, las diferencias desaparecen y prevalece el potencial de rendimiento de la variedad (Fraschina *et al.*, 2012). Para la elección de variedades de trigo adaptadas a siembra directa, también se deberá prestar atención a su comportamiento frente a enfermedades producidas por patógenos necrotróficos, que perduran en los rastrojos como son la mancha amarilla y la fusariosis de la espiga (Fraschina *et al.*, 2002; Galich & Galich, 2000).

Actualmente en el área de mayor expansión del trigo en siembra directa, la rotación más frecuente está dada por el doble cultivo trigo/soja seguido de maíz y una soja de primera siembra. En estos sistemas de producción, la secuencia trigo/soja con buenos resultados físicos suele ser la alternativa más rentable (Peretti, 2001). Para ello el cultivo de soja de segunda siembra debe ser implantado lo antes posible, eligiendo una variedad adecuada que permita alcanzar una buena cobertura lo antes posible y así maximizar la captación de la radiación. Lo deseado sería llegar a sembrar la soja de segunda a fines de noviembre y allí es donde adquieren importancia la elección de variedades de trigo de siembra temprana con madurez rápida o bien ciclos más cortos que permitan una cosecha más temprana y que a su vez, realicen un menor consumo de agua, situación que resulta fundamental para lograr una mayor eficiencia de implantación de la oleaginosa (Fraschina *et al.*, 2002; Frascina *et al.*, 2012).

Entre las desventajas podríamos citar que una descomposición más lenta de los rastrojos nos brinda una menor fertilidad actual, menor control de malezas, mayor presencia de patógenos necrotróficos. Todo ello nos lleva a mayores necesidades de agroquímicos. En general, se considera que es imprescindible la fertilización nitrogenada, aportando fertilidad actual, cuando se utiliza un sistema de siembra directa, pudiendo aplicarse en la siembra o durante el macollaje (AAPRESID, 2012). Podemos tener, también, fallas en la implantación del cultivo, por quedar la semilla sobre los rastrojos y no en contacto con el suelo.



Fig.4.1. Trigo bajo siembra directa.

Fuente: <https://search.creativecommons.org/photos/42b7c8ad-3589-4c45-805e-963658a6e5de>

## Fecha de siembra

Cuando se elige una fecha de siembra, lo primero a considerar es la factibilidad ecológica de producir el trigo en una determinada zona, por lo tanto, se deben cotejar los requerimientos del cultivo con la oferta ambiental. A su vez, dentro de cada zona donde es factible su cultivo, la fecha de siembra determinará cambios en los regímenes fototermales e hídricos a los que las plantas quedarán expuestas durante el ciclo y particularmente durante los períodos críticos para la determinación del rendimiento. El rendimiento del trigo puede tener variaciones significativas en las diferentes subregiones que componen la región triguera argentina y aún dentro de una misma subregión, entre campañas agrícolas. Cotejar los requerimientos del cultivo con la oferta ambiental conlleva a identificar las limitaciones existentes priorizándolas según la reducción que produzcan en dicho rendimiento (Otegui & López Pereira, 2004). Entonces, dentro de los **factores que condicionan la fecha de siembra** del trigo encontramos:

## Heladas

Las heladas definen la estación de crecimiento de numerosos cultivos. Para una determinada zona resulta fundamental conocer las fechas medias de primer y última helada, con sus respectivos desvíos y con un criterio probabilístico. Para el caso del trigo, la afectación por heladas puede incidir en el establecimiento del cultivo, ya que durante la emergencia y hasta el estado de 2 hojas, las plantas de trigo son sensibles a las bajas temperaturas donde es común observar muerte de plantas pequeñas durante la implantación (Fig.4.2). Pero luego de ello, durante el macollaje y hasta el período encañazón su incidencia en el cultivo como factor deletéreo es menor, mientras que si suceden con posterioridad a estas fases pueden provocar pérdidas altamente significativas en el rendimiento, quiere decir que comienza un período de sensibilidad creciente que tiene el máximo de susceptibilidad alrededor de floración o antes con un umbral de  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  con una exposición de 2 horas (Shroyer *et al.*, 1995; Coma, 2004) (Fig.4.3). El mayor efecto en este momento se produce por la reducción de la viabilidad del polen, lo que origina la esterilidad de las flores afectadas. La exposición previa del cultivo a bajas temperaturas antes de la ocurrencia de las primeras heladas en los estadios iniciales del mismo resulta un factor muy importante para atenuar su daño (Miralles, 2015; Corró Molas *et al.*, 2016). Los daños más fácilmente visibles van desde una leve clorosis con pérdida de turgencia o marchitamiento de hojas completas o solamente en las puntas, hasta alcanzar importantes daños en el área foliar con pérdida de tallos durante la encañazón, y esterilidad de flores y de espigas completas cuando las heladas ocurren cerca de la floración (Corró Molas *et al.*, 2016).

Los efectos sobre el rendimiento dependerán no sólo de la capacidad de compensación del cultivo (relacionada a su vez con el momento de ocurrencia y el o los órganos afectados), sino también de la posibilidad de recuperación que permite el ambiente de producción, es decir, dependerá de las condiciones de humedad, temperatura y disponibilidad de nutrientes posterior al momento del daño (Corró Molas *et al.*, 2016).

En una siembra temprana y en un buen ambiente de producción, el trigo puede llegar a compensar alguna pérdida inicial de área foliar, de plantas e incluso de macollos, situación observada en algunas campañas (Di Pane *et al.*, 2004; Corró Molas *et al.*, 2016).

Existe una importante variabilidad entre los genotipos en el comportamiento frente a las heladas durante el período vegetativo (en general los ciclos largos resisten mejor el daño por heladas tempranas) (Miralles, 2015). La fuente principal de diferencias en el requerimiento de vernalización en trigos son las diferencias alélicas encontradas en el locus VRN1, mapeado sobre el grupo 5 de cromosomas homólogos. En esta misma región fue identificado un QTL (loci para rasgo cuantitativo) para tolerancia a heladas en cebada y trigo llamado FR-2. El locus FR-2 se encuentra próximo a VRN-1 (30 centimorgans) (Basualdo *et al.*, 2011).

Los daños ocurridos alrededor de la floración difícilmente puedan ser compensados. La susceptibilidad del cultivo en este momento obliga a elegir una fecha de siembra adecuada para cada variedad de acuerdo a su ciclo y región, y de esa manera poder escapar al efecto de una probable helada tardía desde la anthesis del cultivo (Castellarin, 2009).

Se debe tener particular cuidado cuando la siembra directa presenta abundante acumulación de rastrojo en superficie, ya que el daño por heladas durante la implantación del cultivo de trigo suele ser mayor que en una labranza convencional, puesto que el rastrojo actúa como barrera física para la transferencia de calor del suelo a la planta, aumentando las lesiones por heladas (Alberione & Andreucci, 2017). Este tipo de daño suele verse con frecuencia en las subregiones IIN y VN, como consecuencia de la importante superficie dedicada a la secuencia trigo/soja ocupando lotes que provienen de maíz con abundante cantidad de rastrojo (Alberione & Andreucci, 2017). También se pudo observar, que en varios casos una gran acumulación de rastrojo dificulta el trabajo de las sembradoras, dejando las semillas sin el adecuado contacto con el suelo, exponiéndolas a daños por tener sus raíces expuestas a las primeras heladas (Fraschina *et al.*, Bainotti, 2003b). Posteriormente de la ocurrencia de heladas pueden existir otros factores que pueden agravar más la situación como el calentamiento rápido, las condiciones secas del aire, el viento y la alta evaporación, disminuyendo las posibilidades de recuperación de las plantas (Raper, 2017). No obstante, tanto el trigo como la cebada y la avena son muy tolerantes a temperaturas tan bajas como  $-6^{\circ}\text{C}$ , cuando el meristema apical se encuentra aún por debajo de la superficie del suelo.

En Marcos Juárez el observatorio del INTA en 2019, registró 22 heladas entre junio y julio, que afectaron la implantación de las variedades de ciclo largo, intermedio y corto. Continuaron registrándose heladas durante el macollaje, en agosto afectando la implantación de las siembras más tardías y heladas en septiembre durante la encañazón. Observaciones registradas en años anteriores han mostrado que existe un grupo de variedades muy sensibles a bajas temperaturas durante la implantación, que no deberían usarse en condiciones de siembra directa con abundante rastrojo, debido a que las pérdidas de área foliar no pueden ser compensadas (Fraschina *et al.*, 2000). En nuestra región triguera, el periodo libre de heladas disminuye de noreste hacia el sudoeste (Fig.4.4).





Fig. 4.2. Daño por heladas en estado de pasto en trigo.  
Fuente: Croissant RL, Bugwood.org



Fig.4.3. Daño por heladas en espigazón.  
Fuente: Mary Burrows, Universidad Estatal de Montana, Bugwood.org

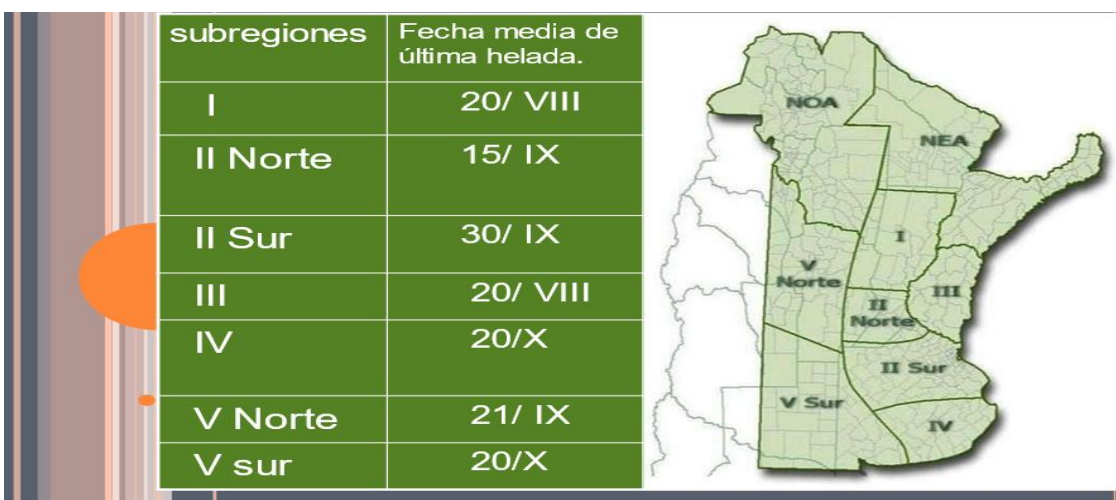


Fig.4.4. Fecha de última helada promedio para las distintas subregiones trigueras del país.  
Fuente: Fernández Long et al., (2011), Sistema de Información de clima y agua, INTA (2014).

## Temperatura de siembra

La estación de crecimiento considerando el periodo libre de heladas no implica la elección de una única fecha de siembra y ciclo de cultivo, sino que nos da un marco de referencia dentro del cual los distintos cultivares pueden cultivarse en función de otras restricciones. Entre ellas se encuentra la temperatura a la cual cada especie, en general, y un cultivar, en particular, es capaz de crecer. Esta temperatura base permite definir el momento a partir del cual se puede comenzar a sembrar en cada sitio en particular, e impone una nueva restricción a la elección de la fecha de siembra.

En el caso del cultivo de trigo a nivel mundial, es posible plantear dos alternativas en función del ambiente y del genotipo considerados: sitios donde el suelo en invierno se congela y la temperatura desciende por debajo de  $-5^{\circ}\text{C}$  (Canadá, Rusia), y por lo tanto se siembran cultivares de ciclo muy corto, sensibles al fotoperíodo e insensibles a la vernalización, son los llamados trigos primaverales (Otegui & López Pereira, 2004). O bien zonas donde nieva y la temperatura del suelo no desciende por debajo de  $-5^{\circ}\text{C}$  y se emplean trigos con altos requerimientos de vernalización, los cuales son sembrados antes de las primeras nevadas, transcurren el invierno en el estado de 4-5 hojas expandidas y reanudan su actividad luego de que la nieve se derrite en primavera; este tipo de cultivares se emplea fundamentalmente en países del centro-norte de Europa (Francia, Alemania) y son los llamados trigos invernales. En Argentina una parte considerable de los cultivares tienen bajos o nulos requerimientos de vernalización, aunque hay otros con importantes requerimientos y pueden ser sensibles o insensibles al fotoperíodo. Estos requerimientos condicionan el ciclo: corto (solo requieren suma térmica para su desarrollo), intermedio (requieren suma térmica y presentan algo de respuesta al fotoperíodo) o largo (responden a la suma térmica, al fotoperíodo y a la vernalización o suma de temperaturas frescas para su desarrollo); son sembrados en otoño- invierno, completando su ciclo al finalizar la primavera o comienzo del verano. La germinación se produce en un amplio rango de temperaturas que va desde los  $4^{\circ}\text{C}$  a los  $37^{\circ}\text{C}$ .

## Temperaturas supraóptimas

Estas temperaturas tienen efectos negativos sobre los cultivos en diferentes etapas. En trigo, un **golpe de calor** puede interrumpir temporal o definitivamente el llenado del grano, con la consecuente reducción del peso del grano y el rendimiento (se define al mismo como la exposición del cultivo a temperaturas por encima de los 32 grados). La probabilidad de golpes de calor fue cambiando, incrementándose, en la década 2000/2010 frente a la anterior, pudiendo afectar estadios más tempranos del cultivo, comprometiendo incluso al número de granos (Miralles, 2015). Cabe destacar que estos golpes de calor resultan bastante frecuentes hacia el norte de la región triguera argentina.



## Requerimientos térmicos para su desarrollo, fotoperíodo, vernalización

Una vez establecido el período durante el cual puede tener lugar la siembra y el ciclo posible del cultivo, deberán analizarse los requerimientos de los distintos cultivares, para establecer su factibilidad de producción. Deberá conocerse la suma térmica en que cada cultivar cumple las etapas que resultan de interés para poder establecer si es posible su inclusión en un sitio determinado y si además presentan o no requerimientos de fotoperíodo y/o de vernalización.

## Régimen hídrico

El crecimiento y el rendimiento de los cultivares son altamente dependientes de la disponibilidad hídrica, ya que su déficit provoca mermas en la producción de magnitud variable según el momento del ciclo en que se produce. Los efectos de una deficiencia son más marcados cuando ocurren a la siembra y en las etapas en que se definen los componentes del rendimiento, especialmente en el periodo crítico. Una manera de evitar la coincidencia del período de déficit con las etapas críticas del cultivo es la modificación de la fecha de siembra. Se busca así ubicar las etapas más sensibles de la fenología en épocas de menor demanda atmosférica y/o de mayores precipitaciones. Sin embargo, la decisión de adelantar la fecha de siembra está necesariamente asociada a la elección de cultivares con buen comportamiento ante bajas temperaturas en estadios iniciales e incluso alguna helada en estado de pasto (Sadras & Hall, 1989; Miralles, 2015).

## Fecha de siembra y rendimiento potencial

Las fechas de siembra del trigo abarcan un amplio rango que va de mayo hasta agosto. Esta amplitud de fechas de siembra determina cambios en el ambiente que explora el cultivo, lo que repercute en la duración del ciclo y en la capacidad de capturar la radiación solar, y por ende en la producción de biomasa total y en el rendimiento. Siendo que la radiación afecta el número de granos por medio de su relación lineal positiva con la tasa de crecimiento del cultivo y la temperatura lo afecta negativamente, acelerando el desarrollo, se ha demostrado que el número de granos, principal componente del rendimiento depende de la relación de estos factores durante el período crítico. Fischer (1985) denominó a esta relación cociente fototermal (Q), representado por la ecuación:  $Q = R/T$ , donde, **R** es la radiación solar media diaria ( $MJ\ m^{-2}\ día^{-1}$ ) y **T** es la temperatura media del período menos 4,5 °C (temperatura base para esta etapa de desarrollo). A mayor valor de Q mayor número de granos por unidad de superficie. Por lo tanto, cuando más se acerque el período crítico del cultivo a los mejores valores del Q, (posee variación temporal y espacial a lo largo de la región triguera), más nos acercaremos al rendimiento potencial (Castellarín, 2009). A medida que la fecha de siembra se retrasa, el cultivo será sometido a mayores temperaturas y fotoperíodo más largo, que provocarán una disminución en la duración del ciclo, con una menor acumulación de biomasa. En caso contrario, las siembras tempranas se hallan asociadas

a mejores condiciones fototermales (Q) alrededor del período crítico. El Q constituye un factor de decisión que, junto con la fecha media de última helada, determinan la fecha de siembra que asegure la ubicación del período crítico bajo las mejores condiciones posibles para cada región. Ubicar el período crítico mucho después de la fecha media de última helada, puede determinar la existencia de un golpe de calor en floración, con un posible aborto de flores y con un efecto aún más negativo sobre el tamaño, peso y calidad comercial del grano. De esta manera, dependiendo del ciclo del cultivar seleccionado, la mejor estrategia es realizar la siembra lo más temprano posible, a fin de maximizar el rendimiento potencial (mayor Q) procurando que la floración escape tanto a la última helada como a un posible golpe de calor. Identificar esta ventana para cada región o localidad implica conocer las características ambientales como de fenología y duración del ciclo de los diferentes cultivares analizados (Otegui & López Pereira, 2004).

En la Región Pampeana, dichos cocientes aumentan de norte a sur, y para una latitud similar, son mayores en ambientes con mayor amplitud térmica. A su vez, el cociente tiende a maximizarse en los meses más fríos – inicio de la primavera. Para el trigo, con una temperatura base cercana a 4,5 °C para la etapa crítica (20 días antes a 10 días posteriores a antesis), los mejores rendimientos en la Región Pampeana se obtendrían haciendo coincidir dicha etapa con los meses de agosto-septiembre. Sin embargo, las heladas tardías en muchas de las subregiones determinan la ubicación de la espigazón en fechas posteriores (Otegui & López Pereira, 2004).

Considerando los datos de los grupos CREA, INTA, Bolsa de Cereales de Bs.As. y Rosario, las fechas y ciclos utilizados en las campañas 2018/19 y 2019/20, para las distintas subregiones trigueras actuales, en promedio son las indicadas en la Fig.4.5.

<p><b>SUBREGION I</b></p> <p><b>CICLO:</b> PREVALECEN LOS CICLOS INTERMEDIOS A CORTOS (70 %) AL NORTE Y LOS CICLOS INTERMEDIOS A LARGOS AL SUR (60%)</p> <p><b>FECHA DE SIEMBRA:</b> 10 AL 30 DE MAYO CICLOS INTERMEDIOS A LARGOS 10 DE JUNIO A PRINCIPIOS DE JULIO CICLOS CORTOS</p>
<p><b>SUBREGION II N</b></p> <p><b>CICLO:</b> SE SIEMBRA UN 50% CICLOS INTERMEDIOS A LARGOS Y UN 50 % CICLOS CORTOS</p> <p><b>FECHA DE SIEMBRA:</b> AL SUR DE SANTA FE, LOS CICLOS LARGOS SE SIEMBRAN DEL 20 DE MAYO AL 1 DE JUNIO Y LOS CICLOS CORTOS DEL 15 DE JUNIO AL 15 DE JULIO. AL NORTE DE BUENOS AIRES CONSIDERANDO EL DOBLE CULTIVO TRIGO/ SOJA DE 2DA, EXISTE UNA TENDENCIA A SIEMBRAS TEMPRANAS DE LOS CICLOS LARGOS, CON UN PERIODO DE LLENADO DE GRANO RÁPIDO O BIEN CICLOS CORTOS EN JUNIO- JULIO.</p>
<p><b>SUBREGION II S</b></p> <p><b>CICLO:</b> 75-80 % DE CICLOS INTERMEDIOS Y LARGOS.</p> <p><b>FECHA DE SIEMBRA:</b> DEL 20 DE MAYO AL 10 DE JUNIO PARA LOS CICLOS LARGOS, LOS CICLOS INTERMEDIOS EN JUNIO Y LOS CICLOS CORTOS DE MEDIADOS DE JUNIO A MEDIADOS DE JULIO</p>

<p><b>SUBREGION III</b></p> <p><b>CICLO:</b> SE SIEMBRAN TODOS LOS CICLOS  <b>FECHA DE SIEMBRA:</b> DEL 20 DE MAYO AL 30 DE JUNIO LOS CICLOS INTERMEDIOS A LARGOS Y DEL 30 DE JUNIO AL 15 DE JULIO LOS CORTOS</p>
<p><b>SUBREGION IV</b></p> <p><b>CICLO:</b> MAYOR PORCENTAJE DE CICLOS INTERMEDIOS Y LARGOS  <b>FECHA DE SIEMBRA:</b> LOS CICLOS LARGOS DE FINES DE MAYO A FINES DE JUNIO Y LOS CICLOS CORTOS DEL 15 DE JULIO AL 15 DE AGOSTO</p>
<p><b>SUBREGION VN</b></p> <p><b>CICLO:</b> 90% DE CICLOS INTERMEDIOS A LARGOS  <b>FECHA DE SIEMBRA:</b> DEL 10 DE MAYO A FINES DE JUNIO LOS CICLOS INTERMEDIOS- LARGOS Y DE FINES DE JUNIO AL 20 DE JULIO LOS CICLOS CORTOS</p>
<p><b>SUBREGION VS</b></p> <p><b>CICLO:</b> CICLOS LARGOS- INTERMEDIOS LARGOS  <b>FECHA DE SIEMBRA:</b> DEL 20 DE MAYO AL 10 DE JUNIO</p>
<p><b>SUBREGIONES NOA Y NEA</b></p> <p><b>CICLO:</b> CORTO-INTERMEDIOS  <b>FECHA DE SIEMBRA:</b> DE FINES DE MAYO A FINES DE JUNIO.</p>

*Fig.4.5. Fechas y ciclos utilizados en las dos últimas campañas (2018/19 y 2019/20), para las distintas subregiones trigueras actuales*

## Intersiembras trigo/soja

Una variante de siembra es la intersiembra, en el cual se dejan hileras para la intersiembra de la soja cuando el trigo se halla en las primeras etapas de la madurez. Cuando la soja nace, el trigo ya está senescente y el consumo de agua no es muy elevado; aunque si bien la soja tiene luz para crecer, la falta de agua, a no ser que se riegue, constituye el mayor problema para esta práctica ya que con este sistema no hay humedad acumulada para la soja porque ha sido consumida por el trigo. Así, la soja dependerá, casi exclusivamente, del agua que caiga durante su ciclo. Y muchas veces esta falta de agua en la implantación de la soja provoca gran mortandad de plántulas de la misma. Por otro lado, con este sistema se pueden esperar reducciones en el rendimiento de trigo del orden del 15-20%. Esta práctica del doble cultivo trigo-soja de segunda se ha extendido a la mayoría de las subregiones trigueras y a medida que se avanza hacia el sur las condiciones ecológicas para la implantación de la soja empeoran y el tiempo para el desarrollo se acorta: por lo tanto en estas subregiones (por ejemplo subregión IV) es donde más se experimenta con la intersiembra, tratando fundamentalmente de adelantar la siembra de la oleaginosa, aunque aún los resultados no son lo satisfactorio que se desearía (Fig.4.6).



Fig. 4.6. Intersiembra trigo/soja.

Fuente: <https://search.creativecommons.org/photos/71192d7e-ab92-46f9-84f4-ee6d6854a8f1>

## Fecha de siembra y el cambio climático

Entre las proyecciones del cambio climático se encuentra el **aumento de las temperaturas medias**, provocando en los cultivos de trigo y cebada el acortamiento de sus ciclos, la modificación de la fecha de floración, la exposición del llenado de granos a mayores temperaturas y el menor período de macollaje. De acuerdo a la etapa del cultivo en el que se dé el **golpe de calor** (exposición del cultivo a temperaturas por encima de los 32 grados), los efectos son distintos. Cuando ocurre entre el fin del período vegetativo y la primera mitad del reproductivo, se logrará un menor número máximo de macollos; cuando el golpe de calor se produce en la segunda parte de la fase reproductiva se da una mayor mortandad de macollos, menor número de flores fértiles y un menor número de granos.m<sup>2</sup> y por ende menor rendimiento. Y cuando los golpes de calor coinciden con el llenado de granos, los efectos son un menor peso de los granos, menor peso hectolítrico y menor calidad comercial e industrial (Miralles, 2015). Miralles (2015) indicó que,

(...) si bien esto trae aparejado un acortamiento del ciclo del cultivo y que, si el período con heladas se reduce por aumentos de la temperatura mínima, cabría pensar en un adelantamiento de la fecha de siembra, pero esto resulta riesgoso, ya que no se da un patrón uniforme en la tendencia del corrimiento de las heladas, lo que puede conducir en igual, menor o mayor riesgo de heladas en la floración.

Asimismo, al sembrarse más temprano, con temperaturas mayores en las primeras etapas del cultivo para adelantar la floración, se pierde capacidad de aclimatación para tolerar heladas

en la etapa de pasto, puesto que un período de aclimatación a temperaturas frescas previas a las heladas permite soportarlas mejor. Siendo los ciclos largos menos susceptibles que los ciclos cortos a dicho fenómeno ambiental.

Al mismo tiempo, Miralles (2015) indicó que

(...) los cultivares actuales de trigo y cebada presentan sensibilidad a la pérdida de rendimiento por atrasos en las fechas de siembra respecto de la fecha óptima. De esta manera, se expone al cultivo a mayores temperaturas acortando el ciclo y reduciendo el rendimiento en valores que oscilan entre 4 y 6% por cada grado de incremento en las temperaturas medias.

## Profundidad de siembra

La profundidad de siembra es esencial para un buen nacimiento e implantación del cultivo y depende del tipo de suelo. Para suelos arcillosos se recomienda sembrar a 3 cm y a 5 cm para suelos arenosos. Se debe tener en cuenta que el trigo lleva su corona, de donde saldrán las raíces adventicias, a 2,5 cm por debajo de la superficie del suelo, independientemente de la profundidad de siembra. Por lo tanto, a mayores profundidades, mayor será el gasto energético de la planta para elevar su corona. Esto puede significar un atraso en la emergencia y una reducción en la capacidad de macollaje.

Un resumen de todo lo visto referido a los efectos de la época de siembra sobre el cultivo de trigo se indica en la Fig. 4.7.



Fig. 4.7. Efectos de la época de siembra sobre el crecimiento, desarrollo, rendimiento y calidad.

## Densidad

La elección de la densidad junto con la fecha de siembra, constituye una de las decisiones más importantes a tomar al momento de comenzar a planear la siembra. Estas medidas de manejo determinan, asumiendo que no existen limitaciones de agua ni nutrientes y existe un efectivo control de plagas, malezas y enfermedades, el nivel potencial de rendimiento a alcanzar con cada variedad. Con el manejo de la densidad de siembra se busca lograr captar más del 90% de la radiación incidente al momento del comienzo de la etapa crítica de generación de rendimiento (inicio de crecimiento de la espiga). Como vimos, cada cultivo posee distintas estrategias de compensación ante disminuciones de la densidad. El trigo se caracteriza por su gran capacidad de compensación a través del macollaje. Esta capacidad, junto con la variación en el número de granos por espiga y el peso de los mismos en menor medida, le permite al cultivo mantener constante el rendimiento final dentro de cierto rango amplio de densidades de siembra. La capacidad de macollaje está determinada genéticamente y, a su vez, se encuentra regulada por condiciones ambientales. Entre otros factores, la densidad de siembra, la fertilidad del lote y la fecha de siembra modifican la expresión del macollaje. Deficiencias de nitrógeno y/o hídricas durante la etapa inicial del cultivo, o bien atrasos en la fecha de siembra, disminuyen en gran medida la capacidad de generar macollos, con la consecuente disminución en la cantidad de espigas, y por ende determina un menor número de granos.m<sup>-2</sup> que es el principal componente del rendimiento.

La densidad de siembra dependerá de las condiciones ecológicas, del cultivar, época y prácticas culturales (fertilización, riego, herbicidas, etc.). En general, se busca que en madurez haya una población de 500-600 espigas.m<sup>-2</sup> y ello dependerá de la cantidad de macollos emitidos por el cultivo. De allí que todas las condiciones que afecten la capacidad de macollaje deben ser tenidas en cuenta para el cálculo de la densidad de plantas a sembrar. Dependiendo de la época de siembra y del cultivar, en zonas semiáridas la densidad aconsejada es de 180-220 pl.m<sup>-2</sup> y para la zona húmeda es de 250-350 pl.m<sup>-2</sup>. Un atraso en la época de siembra trae aparejado un menor número de macollos emitidos lo que hace necesario un aumento de la misma.

Los cultivares de ciclo largo e intermedio-largo tienen una mayor capacidad de macollaje, por lo que se usan densidades más bajas. La densidad también depende de la calidad del ambiente, mejores condiciones de fertilidad y humedad; admiten densidades más altas, con respecto a ambientes con estreses hídricos y/o nutricionales. El tipo de sembradora es otro factor importante a tener en cuenta. La menor densidad se logra con el uso de las llamadas sembradoras de precisión; por el contrario, la densidad se debe aumentar cuando se usa siembra directa, aunque en ese caso no es un problema de la máquina en sí, sino de las condiciones de la cama de siembra, con la presencia de abundantes rastros en superficie, el adecuado contacto semilla suelo suele no ocurrir y en consecuencia disminuye la eficiencia de implantación. Con las sembradoras de precisión se puede bajar la densidad de plantas debido a que la mejor distribución permite que se exprese la plasticidad del cultivo para compensar, dentro de ciertos límites, los componentes del rendimiento y dar rendimientos similares a los obtenidos con una



densidad convencional. Ya por debajo de 100 pl.m<sup>-2</sup>, la mayor cantidad de macollos.planta<sup>-1</sup> no alcanza a compensar el menor número de ellas, dando como resultado un menor rendimiento.

La densidad de siembra es una de las prácticas de manejo que determina la capacidad del cultivo de interceptar recursos: luz, agua y nutrientes. Y frecuentemente está orientada a maximizar la utilización de los recursos y reducir los efectos perjudiciales de los factores abióticos y bióticos con el fin de aumentar los rendimientos y calidad de los granos. Para ello, la densidad debe asegurar coberturas vegetales uniformes y elevadas desde etapas tempranas y especialmente en los períodos críticos del ciclo del cultivo.

Dentro de los mecanismos generales de la respuesta a la densidad encontramos a la competencia. La **competencia** es el proceso por el cual las plantas comparten recursos que se hayan provistos en forma insuficiente para satisfacer su demanda combinada (Satorre, 1988). Es el proceso de mayor importancia en la regulación de las respuestas del cultivo a la densidad. La competencia puede ser interespecífica, cuando se da entre individuos de especies diferentes (por ejemplo, cultivo y malezas) o bien intraespecífica, es decir entre individuos de la misma especie. En este caso puede suceder que la competencia sea entre genotipos semejantes, es decir especies autógamas (trigo) o poblaciones híbridas de especies alógamas (híbridos de maíz) y entre genotipos diferentes de especies de fecundación cruzada (variedades de maíz). En poblaciones de genotipos semejantes es esperable que las necesidades y usos de los recursos limitantes entre los individuos del cultivo sean más parecidas y, por lo tanto, la competencia pueda resultar mayor que entre individuos semejantes, pero genéticamente heterogéneos (Satorre, 1988).

En general, el diseño de los cultivos en el mundo, para la comercialización, tienden al manejo de poblaciones de genotipos semejantes fuertemente seleccionados por su uniformidad genética y similitud fenotípica, utilizando semillas de tamaño parecido y que emergen simultáneamente. Estas son características que tienden a aumentar la competencia intraespecífica, pudiendo resultar en una reducción de la supervivencia, de la producción de biomasa y rendimiento por planta individual. No obstante, un cultivo creciendo en condiciones de elevada competencia a partir de una correcta elección de la densidad de siembra, maximiza la utilización de los recursos por unidad de área y su rendimiento (Satorre, 1999).

También existen **interacciones no competitivas** frente al aumento de la densidad o cambio del arreglo espacial de las plantas, como ser respuestas al ambiente frente a estas situaciones. Existen evidencias que el aumento de la densidad modifica la calidad de la luz que reciben a través de cambios en la relación rojo-rojo lejano, provocando un alargamiento de los tallos e inhibición en la emisión de macollos (Barnes & Bugbee, 1991; Maddonni *et al.*, 2002).

## **Influencia de la densidad sobre la producción de biomasa del cultivo**

Cuando no existen limitantes hídricas ni nutricionales, el crecimiento del cultivo está directamente relacionado con la cantidad de radiación fotosintéticamente activa (RFAi) que es interceptada por el canopeo (ei) y la eficiencia con que dicha radiación es convertida en biomasa.

Cuando se producen reducciones en la densidad existen cultivos que se ven menos afectados que otros en la interceptación de la radiación incidente, debido a su capacidad de compensación, como asimismo en su capacidad de conversión (ec) (aunque para este parámetro no hay un patrón general de respuesta).  $Biomasa = \sum RFA_i \cdot e_i \cdot ec \cdot n$ .

Existen cultivos que tienen la capacidad de compensar bajas densidades y tolerar altas densidades a través de diferentes mecanismos, por ejemplo, la soja a través de ramificaciones, el trigo a través de macollos, el girasol modificando el área foliar, poseen lo que se conoce como plasticidad fenotípica. Otros como el maíz carecen de estas posibilidades, lo que implica que existe muy poco margen de error frente a la densidad a implantar, puesto que posee escasa regulación del área foliar por planta ante variaciones de la densidad, ya que su área foliar es relativamente estable. Por lo tanto, en bajas densidades el maíz no alcanza a desarrollar suficiente área foliar para alcanzar el IAF crítico. En cambio, los cultivos de soja, girasol y trigo poseen la capacidad de aumentar el área foliar por planta ante bajas densidades de siembra, a través de los distintos mecanismos citados anteriormente.

Cuando existen limitaciones hídricas o nutricionales, los mecanismos de compensación de las especies no son los mismos que los citados para capturar la radiación incidente y en general en ambientes con restricciones, la tasa de crecimiento del cultivo o biomasa dependerá más de la disponibilidad de recursos que de su densidad.

## Relaciones entre biomasa y densidad

En general, la biomasa del cultivo producida por unidad de área se incrementa con el aumento de la densidad hasta aproximarse a un valor máximo. El aumento de la densidad provoca un incremento del área foliar del cultivo y consecuentemente de la captación de recursos. Este proceso es continuo hasta que el área foliar se maximiza. Paralelamente, la producción de biomasa por planta va disminuyendo, siendo la producción por unidad de área compensada por el mayor número de individuos. Al alcanzarse el valor crítico de interceptación de la radiación (95%) o de los otros recursos, esta compensación se equilibra y la biomasa del cultivo se estabiliza.

Al inicio del cultivo, la materia seca o biomasa del cultivo por unidad de área está asociada linealmente a su densidad, con una tasa que depende de las características del cultivo. A medida que las plantas del cultivo crecen, es decir aumentan de tamaño y con ello su capacidad para captar recursos, la relación dejará de ser lineal en alguna densidad, dependiendo esto del cultivo. En trigo la competencia entre plantas en las primeras etapas es muy baja y solo puede evidenciarse en muy altas densidades. A medida que el ciclo del cultivo avanza, las plantas aumentan su tamaño y el área foliar y la competencia se establece aún en densidades bajas, de manera que el tamaño de las plantas individuales decrece ante aumentos de la densidad de siembra sobre una densidad umbral donde la biomasa del cultivo se estabiliza (Kruk & Satorre, 2004) (Fig. 4.8). Por lo tanto, el tipo de curva que se origina entre la densidad y la biomasa del cultivo es de tipo asintótica y se extiende sobre un amplio rango de densidades para cultivos

como el trigo con plasticidad fenotípica. De este modo el peso medio de cada individuo del cultivo se reduce, compensando los aumentos en la densidad. Se ha comprobado que plantas de trigo creciendo sin competencia intraespecífica pueden tener un tamaño entre 10 a 80 veces mayor que el que presentan en un cultivo en densidades normales de siembra.

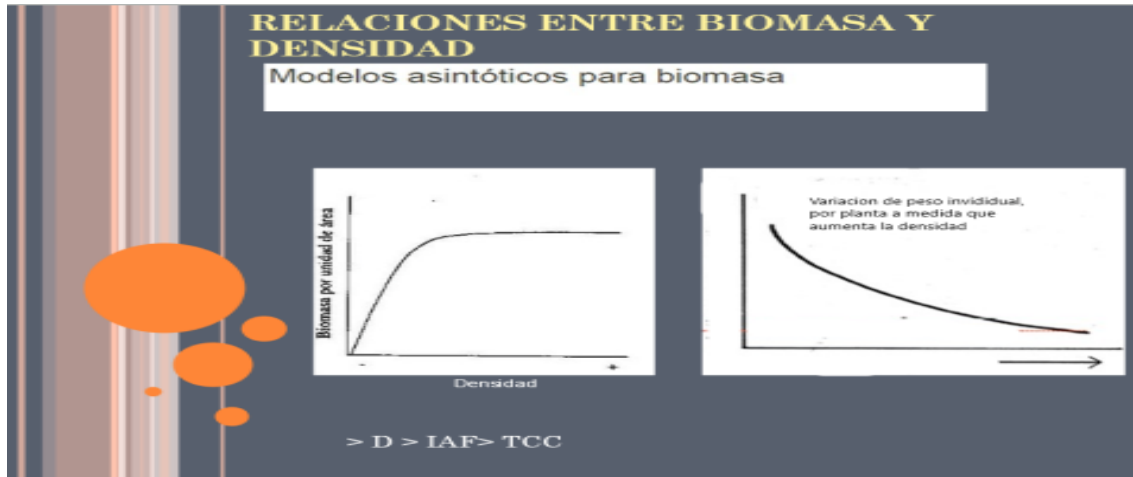


Fig. 4.8. Relación entre el incremento de la densidad y la biomasa del cultivo y de cada planta en forma individual.

## El efecto de la densidad sobre el rendimiento en grano

La sensibilidad del rendimiento y de la biomasa total frente a variaciones en la densidad de plantas, depende de la plasticidad de los genotipos en la generación y fijación de estructuras reproductivas adicionales por planta (Ruget, 1989). Por otra parte, la plasticidad en el crecimiento y los mecanismos de tolerancia a estrés por competencia de cada especie determinarán las respuestas en materia seca total y rendimiento ante aumentos en la densidad de plantas (Andrade *et al.*, 2002).

La respuesta a la densidad de los órganos reproductivos varía según la especie, el genotipo y el rango de densidades considerado, ajustándose en algunas situaciones a un modelo parabólico como en el caso del maíz y en otras, a uno asintótico como en el trigo y la soja. La respuesta de tipo parabólica se ha atribuido al hecho de que la partición de recursos a los órganos de almacenamiento puede ser fuertemente afectada por la competencia.

En general, la elección de la densidad de siembra debería buscar el máximo aprovechamiento de los recursos, para asegurar la mayor productividad de los cultivos. Atento a lo visto en capítulos anteriores, esto se logra maximizando las tasas de crecimiento del cultivo durante sus etapas críticas de generación del rendimiento. El aumento de la captura de recursos, particularmente en las etapas tempranas del cultivo, no necesariamente maximiza el criterio de productividad comentado. Por ejemplo, en condiciones de sequía, una elevada densidad de plantas, que provoca el consumo de agua en exceso por el cultivo en una etapa relativamente temprana, puede reducir la disponibilidad de este recurso durante las etapas críticas, determinando la obtención de rendimientos semejantes a los logrados con los cultivos creciendo a menores densidades.

Para el trigo como para la soja, que presentan tanto para la biomasa como para el rendimiento una relación de tipo **asintótica** con la densidad (Willey & Heath, 1969), el concepto que resulta agrónomicamente más adecuado es el de densidad **óptima económica de siembra**, definida como aquella densidad por encima de la cual el rendimiento extra obtenido iguala o es levemente inferior al costo extra de las semillas utilizadas. Distinto es el caso del rendimiento en maíz, que presenta una relación con la densidad de tipo parabólica, ya que no presenta la plasticidad fenotípica que presentan cultivos como el trigo y la soja. En este caso hablamos de una densidad óptima de siembra, definida como la densidad en la que se obtienen los máximos rendimientos (Kruk & Satorre, 2004).

Hay evidencias de que el aumento de la densidad no solo aumenta la captura de la radiación sino también la de recursos del suelo (agua y nutriente), al menos tempranamente en el ciclo del trigo. Sin embargo, a medida que el cultivo avanza en su ciclo, en ambientes con restricciones, su tasa de crecimiento dependerá más de la disponibilidad de recursos que de su densidad (Kruk & Satorre, 2004).

Puckridge & Donald (1967) analizaron el efecto de la densidad sobre el rendimiento y sus componentes en el cultivo de trigo sobre un amplio rango de densidades (1,4-1.078 pl.m<sup>-2</sup>) para las condiciones de Australia Occidental, con precipitaciones entre 250-450 mm por año. Para dichas condiciones ambientales, el rendimiento por unidad de área fue mayor a densidades intermedias y en cuanto a sus componentes: el peso de los granos no resultó afectado en forma significativa, en cambio, si resultaron muy afectados el número de granos.espiga<sup>-1</sup> y el número de espigas.planta<sup>-1</sup>, presentando un efecto compensador sobre el rendimiento. En condiciones de baja disponibilidad de recursos, las plantas creciendo a altas densidades (severa competencia) muestran una reducción progresiva de la tasa de crecimiento, que afecta el número de granos principalmente durante el período crítico (20 días antes y 10 días después de anthesis). Sin embargo, la cantidad de luz interceptada tempranamente por el cultivo resulta mayor que en bajas densidades y, en consecuencia, la tasa de crecimiento del cultivo en preanthesis puede resultar mayor a altas densidades. Cuando el cultivo alcanza el 95% de interceptación lumínica antes de iniciar el crecimiento de la espiga, el rendimiento del cultivo sería independiente del número de plantas establecidas. Por lo tanto, en un amplio rango de densidades, el peso de las espigas en anthesis y el número de granos, serán lo suficientemente altos para maximizar el rendimiento por unidad de superficie. Ensayos realizados en Argentina corroboran, en líneas generales, esos resultados y señalan la capacidad del cultivo de compensar reducciones en el número de plantas.unidad de área<sup>-1</sup>, principalmente, a través del aumento en el número de espigas de macollos (Lerner & Satorre, 1990). Dado que el rendimiento del cultivo de trigo está positivamente correlacionado con el número de espigas.unidad de área<sup>-1</sup> (Calderini *et al.*, 1995), esto se puede lograr usando bajas densidades de siembra, siendo importante en esta situación la contribución de espigas de macollos o altas densidades de siembra, con espigas provenientes principalmente de los vástagos principales (Satorre, 1999).

A su vez, existen, diversas **características genéticas** que pueden modificar las relaciones **entre** la densidad y el rendimiento a través de su influencia sobre la plasticidad fenotípica. En trigo, los aumentos de la densidad por encima de la densidad óptima no producen cambios

importantes en el rendimiento (a no ser que sea demasiado elevada, lo que aumentaría el riesgo de vuelco y daño por enfermedades e insectos) (Satorre, 1999) mientras que en el maíz puede provocar disminuciones significativas en el rendimiento debido a fenómenos de competencia intraespecífica, por dominancia apical de la panoja (Vega & Andrade, 2000). El **ciclo** del genotipo modifica la relación rendimiento- densidad. Para un ciclo de crecimiento largo la densidad óptima a utilizar es menor que en los genotipos de ciclo de crecimiento más cortos. Esto se debe a la mayor capacidad de capturar recursos de los cultivares de mayor duración de ciclo y por ende de producir macollos (Ventimiglia & Torrens Baudrix, 2015). En condiciones de buena **disponibilidad de agua y nutrientes**, los mayores rendimientos se alcanzan con densidades más altas que en ambientes de menor disponibilidad de recursos (Nafziger, 1998). En trigo, cuando el crecimiento vegetativo se ve restringido por la falta de recursos, suele pensarse en un aumento de la densidad a fin de favorecer una mayor interceptación de radiación por el canopy (Pepper, 1998), sin embargo, si el recurso limitante es el agua y/o nutrientes, cuya situación no cambia durante el período crítico de determinación del rendimiento, una mayor densidad seguramente producirá rendimientos menores, por lo que siempre es aconsejable en estos casos sembrar una densidad baja. La **fecha de siembra** afecta la producción de biomasa de la planta y su rendimiento, por lo que en trigo atrasos en la fecha de siembra aceleran la tasa de desarrollo reduciendo la duración del ciclo de crecimiento, dando como resultado plantas más chicas, por lo que en estos casos aumentos en la densidad actúan compensando ese menor crecimiento (Popa, 1995). La **calidad de la semilla** puede afectar el rendimiento y la respuesta a la densidad de los cultivos. Las semillas con poco vigor pueden reducir la eficiencia de emergencia e implantación del cultivo debido a que las plantas que emergen son débiles y se comportan peor que aquellas provenientes de semillas con alto vigor (Kruk & Satorre, 2004). Los cultivos tradicionalmente se sembraron en hileras distanciadas de modo de permitir el tránsito de maquinarias para el control de malezas en los espacios entre las hileras. Pero en la actualidad, la aparición de herbicidas selectivos en muchos casos no justifica el uso de ciertos **distanciamientos entre hileras**. No obstante, el sistema de dosificación de semillas o la necesidad de aplicar fertilizantes pueden influir en esto (Kruk & Satorre, 2004). En los cultivos de grano, la distancia entre hileras suele ser mayor que la distancia entre plantas dentro de la hilera. La particularidad de este **arreglo espacial** en cada especie se define por la **rectangularidad** que surge del cociente de la distancia entre hileras y la distancia entre plantas dentro de la hilera. Por ejemplo, la rectangularidad de un cultivo de trigo sembrado a 25 cm entre hileras es de 13,75 y mayor que la de uno sembrado a 15 cm entre hileras (4,94), a una misma densidad de 220 pl.m<sup>-2</sup> (Kruk & Satorre, 2004). En general, se considera que el rendimiento del cultivo tiende a ser mayor a cualquier densidad cuando las plantas se distribuyen regularmente (rectangularidad 1:1) dado que se minimiza la competencia por recursos tales como el agua, nutrientes y radiación. La reducción del espaciamiento entre hileras contribuye a anticipar el cierre de los entresurcos e incrementa la producción temprana de biomasa vegetativa, aumentando el aprovechamiento de la radiación solar y la competencia con malezas. No obstante, ese acortamiento de la distancia entre hileras puede resultar negativo para el rendimiento en años secos, puesto que un consumo temprano del agua puede provocar un déficit importante duran-

te el período crítico para la determinación del rendimiento. De lo visto podemos resumir en la Fig. 4.9, los efectos de la disponibilidad de recursos sobre la densidad en el cultivo de trigo.

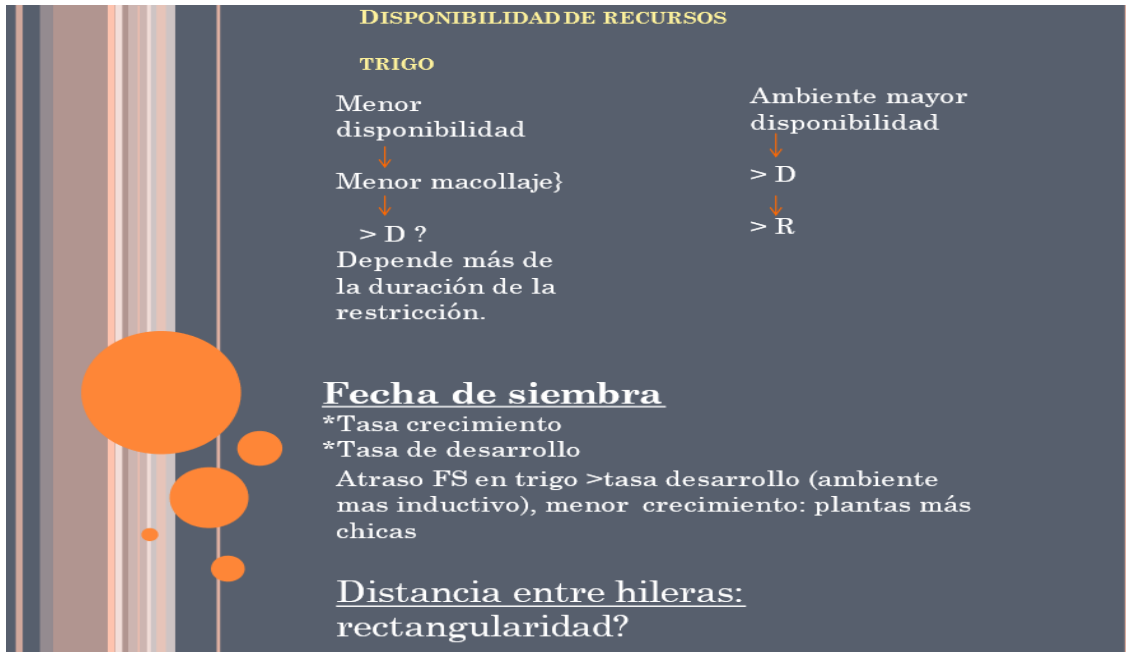


Fig. 4.9. Efectos de la disponibilidad de recursos sobre la densidad del cultivo

## Cálculo de la densidad de siembra

En el cálculo, se necesita el peso de mil semillas (PMG), densidad de plántulas.m<sup>-2</sup> objetivo que va a variar con la variedad y el ambiente, siendo menor para hábitat más secos y mayor para los húmedos, el % de pureza, el % poder germinativo y el % de logro. Debemos multiplicar por 10.000 para llevarlo a kg.ha<sup>-1</sup> de semillas (Pognante *et al.*, 2011).

$$\text{Kg/ha} = \frac{\text{PMG} \times \text{pl/m}^2 \times 10000}{\%P \times \%PG \times \%Logro}$$

## Referencias

- Aapresid. (2012). Evolución de la superficie en Siembra Directa por cultivos. Recuperado de <https://www.aapresid.org.ar>
- Alberione, E. & Andreucci, A. (2017). Daños por heladas en trigos en estadíos de crecimiento temprano. EEA INTA Marcos Juárez. Recuperado de [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_trigo\\_danoheladas17.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_trigo_danoheladas17.pdf).
- Bardner, R. & Fletcher, K. (1974). Insect infestations and their effects on the growth and yield of field crops. A review. *Bulletin of Entomology Research*, 64, 141-160.



- Barnes, C. & Bugbee, B. (1991). Morphological responses of wheat to changes in phytochrome photoequilibrium. *Plant Physiology*, 97, 359-365.
- Basualdo, J. Díaz, M., Echenique, V. & Carrera, A. (2011). Control de la floración y tolerancia al frío. Vernalización en cereales. *AgroUNS, Año IX, N° 16*, 15-17.
- Bolsa de cereales departamento de estimaciones agrícolas. (2019). Recuperado de <https://www.bolsadecereales.com › estimaciones-agricolas>.
- Bragachini, M., Méndez, A. & Scaramuzza, F. (2004). Trigo sobre Maíz. *Proyecto Agricultura de Precisión, INTA Manfredi*.
- Calderini, D.F., Maddonni, G.A., Miralles, D.J., Ruiz, R.A. & Satorre, E.H. (ex aequo) (1995). Trigo: Modelos de alta producción. *Revista CREA*, 177, 44-47.
- Castellarin, J.M. (2009). Influencia de las prácticas de manejo sobre la generación del rendimiento en el cultivo de trigo. *Para mejorar la producción* 40, 23 -38. INTA EEA Oliveros Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Recuperado de <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-influencia-practicas-manejo-sobre-la-generacion-de.pdf>
- Corró Molas, A., Pérez Fernández, J., Figueruelo, A., Funaro, D., Cabo, S. & Olguin Paez, R. (2016). Daño por frío en cereales de invierno. *Informe técnico*. EEA Anguil, AER Gral. Pico. Recuperado de <https://ruralnet.com.ar/dano-frio-cereales-invierno>.
- Chidichimo, H.O., Golik, S.I., Pardi, M.H. & Asborn, M. (2004). Análisis del ápice y crecimiento de la espiga de trigo. Su relación con factores ambientales y de manejo. En VI Congreso Nacional de Trigo, 55–56.
- Di Pane, F.J. & Kraan, G. (2004). Comportamiento a heladas en pasto de variedades de trigo pan (*Triticum aestivum* L.) en la subregión triguera IV. En VI Congreso Nacional de Trigo, 57 – 58.
- Fernández Long, M.E., Barnatán, I.E., Spescha, L., Hurtado, R. & Murphy, G. (2014) Caracterización de las heladas en la región pampeana y su variabilidad en los últimos 10 años. Recuperado de [https://www.agroconsultasonline.com.ar/ticket.html/Fernandez%20Long%20et%20al.pdf?op=d&ticket\\_id=3550&evento\\_id=7224#:~:text=En%20la%20zona%20triguera%20IV,principios%20y%20mediados%20de%20setiembre](https://www.agroconsultasonline.com.ar/ticket.html/Fernandez%20Long%20et%20al.pdf?op=d&ticket_id=3550&evento_id=7224#:~:text=En%20la%20zona%20triguera%20IV,principios%20y%20mediados%20de%20setiembre).
- Fischer, R.A. (1985). Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *Journal of Agricultural Science*, 105, 447 – 461.
- Forján, H. & Manso, L. (2016). Los cereales de invierno en la rotación de cultivos. Recomendaciones de la Chacra Experimental Integrada Barrow para potenciar el funcionamiento de los agroecosistemas mediante un sistema de producción sustentable. INTA. Chacra Experimental Integrada Barrow. Tres Arroyos. Pcia. Buenos Aires. Argentina. Recuperado de <https://intainforma.inta.gob.ar/los-cereales-de-invierno-en-la-rotacion-de-cultivos>
- Fraschina, J., Bainotti, C. & Salines, J. (2003a). El cultivo de trigo y la siembra directa en la región central norte. En *Trigo, Actualización 2003*, 59–61.
- Fraschina, J., Bainotti, C., Salines, J. & Formica, B. (2003b). Daño por frío en trigo. Recuperado de [www.engormix.com](http://www.engormix.com). Último acceso febrero 2021.
- Fraschina, J., Bainotti, C. & Salines, J. (2012). El cultivo de Trigo y la siembra directa en la región central norte. Grupo Mejoramiento de Trigo, EEA INTA Marcos Juárez. Recuperado de

<https://www.agrositio.com.ar/noticia/44899-el-cultivo-de-trigo-y-la-siembra-directa-en-la-region-central-norte>

- Fraschina, J., Salines, J. & Bainotti, C. (2002). El cultivo de trigo y la siembra directa. AAPRE-SID. *Trigo en siembra directa*, pp 31.
- Galich, M T. Villar de & Galich, A. (2000). Manejo de enfermedades del trigo en el área pampeana central norte. *Hoja Informativa n° 339*. EEA INTA Marcos Juárez.
- INTA. (2019). Daños por frío en trigo. Recuperado de <https://www.revistachacra.com.ar>.
- Kruk, B. & Satorre, E. (2004). Densidad y arreglo espacial del cultivo. En Antonio Pascale (Ed.), *Producción de granos. Bases funcionales para su manejo* (13), 279-316. Buenos Aires; Editorial Facultad de Agronomía.
- Lerner, S.E. & Satorre, H.E. (1990). Aplicación de un diseño experimental sistemático al estudio de la respuesta a la densidad de cultivares de trigo. En Asoc Ings. Agrs. del Norte de la de Buenos Aires (Eds.), *Actas II Congreso Nacional de Trigo*, Pergamino. Argentina. Vol 1, 44-50.
- Lorenzatti, S. (2005). Siembra directa: trigo. Su impacto en la materia orgánica. Recuperado de <http://www.eeaoc.org.ar/noticias/noticia.asp?seccion=noticias&id=230>
- Maddoni, G., Otegui, M.E., Andrieu, B., Chelle, M. & Casal, J.J. (2002). Maize leaves turn away from neighbors. *Plant Physiology*, 130, 1181- 1189.
- Miralles, D. (2015) Disertación en "A Todo Trigo 2015". Federación de Acopiadores. Recuperado de <http://www.acopiadores.com> > biblioteca > material > congresos.
- Miralles, D.J., Gonzalez, F.G., Abeledo, L.G., Serrago, R.A., Alzueta, I., Garcia, G.A., de San Caledonio, R.P. & Lo Valvo, P. (2014). En D.J. Miralles, F.G. Gonzalez, L.G. Abeledo, R.A. Serrago, I. Alzueta, G.A.García, R.P. de San Caledonio & P. Lo Valvo (Eds.), *Manual de trigo y cebada para el cono sur. Procesos fisiológicos y bases de manejo*.
- Nafziger, E. (1998). Corn. En *Agronomy Handbook*. (2), 1997-1998. University of Illinois at Urbana-Champaign. College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences Department of Crop Sciences.
- Otegui, M.E. & López Pereira, M. (2004). Fecha de siembra. En Antonio Pascale (Ed.), *Producción de granos. Bases funcionales para su manejo* (259- 275). Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía.
- Pepper, R. (1998). Soybeans En *Agronomy Handbook*. University of Illinois at Urbana-Champaign. College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences Department of Crop Sciences.
- Peretti, M. (2001). Economía del cultivo de trigo en los últimos 20 años. *Trigo Actualización 2001. Información para extensión N° 65* (42– 48). Córdoba: EEA INTA Marcos Juárez.
- Pognante, J., Bragachini, M. & Casini, C. (2011). Siembra Directa. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Argentina. *Actualización Técnica N° 58*.
- Popa, M. (1995). Results on the formation of grain yields under the influence of agronomic factors. *Probleme de Agrofitehnie Teoretica si Aplicata* 17, 57-67.
- Puckridge, D.W. & Donal, C.M. (1967). Competition among wheat plants sown at a wide range of densities. *Australian Journal of Agricultural Research*, 18, 193-211.

- Purvis, O.N. (1961). The physiological analysis of vernalization. *Encyclopedia of Plant Physiology* 16, 76-122.
- Rainaud, M. (2019). Informe de evolución de la siembra directa en Argentina, campaña 2018/19. Recuperado de <https://www.aapresid.org.ar/blog/evolucion-de-siembra-directa-en-argentina-campana-2018-19/>.
- Raper, T. (2017). Freeze-Damage-Jointing-Wheat. Recuperado de <http://news.utcropl.com/2017/03/freeze-damage-jointing-wheat/> Institute of Agriculture the University Tennessee.
- Ruget, E. (1989). Relations entre matière sèche a floraison et rendement en grains chez le maïs : importance du rayonnement disponible par plante. *Agronomie*, 9, 457-465.
- Russel, W. (1986). Contribution of breeding to maize improvement in the United States, 1920s-1980s. *Journal Research*, 51, 6-34.
- Sadras, V., Fereres, A. & Ratcliffe, R. (1999). Wheat growth, yield, and quality as affected by insect herbivores. En E.H. Satohe & G.A. Slafer (Eds.), *Wheat: Ecology and Physiology of yield determination* (183-227). The Haworth Press, Inc. New York, London, Oxford.
- Sadras, V.O. & Hall, A.J. (1989). Patterns of water availability for sunflower crops in semi-arid central Argentina. A simulation-based evaluation of their interactions with cropping strategies and cultivar traits. *Agricultural Systems*, 31, 221-238.
- Satorre, E.H. (1988). *The competitive ability of spring cereals*. PhD Thesis, University of Reading. UK. Recuperado de <https://ethos.bl.uk/OrderDetails.do?uin=uk.bl.ethos.383423>.
- Satorre, E.H. (1999). Plant density and distribution as modifiers of growth and yield. En E.H. Satorre, & G.A. Slafer (Eds.), *Ecology and Physiology of yield determination* (141-159). The Haworth Pre, Inc. New York, London, Oxford.
- Shroye, J., Merrel P., Mikesell, E. & Gary, M. (1995). *Spring Freeze Injury to Kansas Wheat*. Kansas State University.
- Sistema de Información de clima y agua, INTA (2014). Estadísticas de Heladas Meteorológicas, fechas promedio ultima heladas. Recuperado de [http://climayagua.inta.gob.ar/estad%C3%ADsticas\\_de\\_heladas\\_meteorol%C3%B3gicas](http://climayagua.inta.gob.ar/estad%C3%ADsticas_de_heladas_meteorol%C3%B3gicas)
- Vega, C.R.C. & Andrade, F.H. (2000). Densidad de plantas e hileras. En F.H. Andrade y V.O. Sadras (Eds.), *Bases para el manejo del girasol y la soja* (97-133). Argentina: Panamericana S.A.
- Ventimiglia, L & Torrens Baudrix, L. (2015). Trigo: efecto de la densidad de siembra sobre el comportamiento de variedades de ciclo largo y corto. Grupo Mejoramiento de Trigo. Area Mejoramiento Genético Vegetal. Recuperado de [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_9\\_de\\_julio\\_trigo\\_efecto\\_de\\_la\\_densidad\\_de\\_siemb.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_9_de_julio_trigo_efecto_de_la_densidad_de_siemb.pdf)
- Wiley, R. & Heath, S. (1969). The quantitative relationships between population and crop yield. *Advances in Agronomy*, 281-321.