



Trabajo Final de Carrera

***“Determinación de Requerimientos de
Vernalización y Fotoperiodo en genotipos
argentinos de Avena”***

Da Silva Laura Victoria

Carrera: Ingeniería Agronómica

Director: PhD. MSc. Ing. Agr. María Rosa Simón

Co – Director: MSc. Ing. Agr. Dietz Juan Ignacio

Fecha de entrega: 5 de diciembre de 2018

DEDICATORIAS

*Esta tesis es dedicada a mis padres, **Alicia y Esteban**, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, por la confianza y el apoyo.*

*A mi **Mamá** y mi **Abuela** por su amor incondicional, por acompañarme durante toda la carrera y creer en mí.*

*A **Juani**, no sólo por hacer posible el desarrollo y elaboración de este trabajo, sino también por ser mi inspiración y mi motivación.*

*A mis hermanos **David, Natalia y Sofía** porque son el mejor regalo que me dio la vida.*

AGRADECIMIENTOS

*Un especial agradecimiento a **MSc. Ing. Agr Juan Ignacio Dietz** por su constante apoyo, acompañamiento, motivación y dedicación a lo largo del desarrollo de este trabajo.*

*A la **Dra. María Rosa Simón** por su trabajo, predisposición y aportes para la elaboración y redacción de la tesis.*

A todas las personas que colaboraron en los ensayos de campo.

*Al **personal no-docente de la Estación Experimental J. Hirschhorn** por facilitar la realización de los ensayos a campo.*

A mis compañeros y amigos de la Facultad, con quienes compartí muchas horas de estudio y momentos entrañables a lo largo de este camino de formación profesional y personal.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

<u>TÍTULO</u>	<u>PÁGINA</u>
ÍNDICE DE TABLAS.....	<u>2</u>
ÍNDICE DE FIGURAS.....	<u>2</u>
RESUMEN.....	<u>4</u>
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	<u>6</u>
1.1. <u>Importancia mundial y nacional de la avena</u>	<u>6</u>
1.2. <u>Requerimientos edafoclimáticos</u>	<u>8</u>
1.3 <u>Requerimientos ambientales</u>	<u>9</u>
a) Temperatura	
b) Vernalización y Fotoperiodo	
HIPÓTESIS.....	<u>15</u>
OBJETIVOS.....	<u>15</u>
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	<u>16</u>
2.1. <u>Datos climáticos y de suelo</u>	<u>18</u>
3. RESULTADOS	<u>21</u>
a) Avena	
b) Trigo	
3.1. <u>Sensibilidad y umbral fotoperiódico</u>	<u>29</u>
4. DISCUSIÓN.....	<u>30</u>
5. CONCLUSIONES.....	<u>36</u>
6. BIBLIOGRAFÍA.....	<u>38</u>

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Superficie sembrada con avena por provincia (Ministerio de Agroindustria, 2017).	Pág.7
Tabla 2. Análisis de suelo en el sitio de los ensayos	Pág.21
Tabla 3. Cuadrados medios (CM) y valor de p (ANOVA) de tiempo térmico en un ensayo compuesto por tres genotipos de avena y tres de trigo.....	Pág.21
Tabla 4: Rectas de regresión entre Tiempo térmico y fotoperiodo, coeficiente de determinación (R^2), valor de probabilidad, Tiempo térmico en fecha de siembra 4 (TT FS4), fecha de umbral calculada y umbral calculado, de un ensayo con seis genotipos.....	Pág.30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Principales países productores de avena (USDA, 2018)	Pág. 7
Figura 1.2. Respuesta general al fotoperiodo en cereales de invierno. Longitud del período de desarrollo ($^{\circ}\text{Cdía}$) en función de la duración del día (fotoperiodo en horas). Extraído de Miralles <i>et al.</i> (2014).....	Pág.13
Figura 2.1. Temperatura media mensual y temperatura media mensual histórica desde junio 2014 a febrero 2015 en la Estación Experimental Julio Hirschhörn. Los Hornos, Argentina.....	Pág.19
Figura 2.2. Precipitaciones media mensual y precipitaciones media mensual histórica desde junio 2014 a febrero 2015 en la Estación Experimental Julio Hirschhörn. Los Hornos, Argentina.....	Pág.20
Figura 3. Duración de la etapa Em-Flor en Tiempo Térmico ($^{\circ}\text{Cdía}$) para L1 (avena). Fechas de siembra: FS1, FS2, FS3, FS4 y FS5 .Tratamientos de vernalización 0, 20 y 40 días	Pág.22

Figura 4. Duración de la etapa Em-Flor en Tiempo Térmico (°Cdía) para L5 (avena). Fechas de siembra: **FS1, FS2, FS3, FS4 y FS5** .Tratamientos de vernalización **0, 20 y 40**

Días.....Pág.24

Figura 5. Duración de la etapa emergencia- floración (Em-Flor) en Tiempo Térmico (°Cdía) para Bonaerense INTA Maná (avena). Fechas de siembra: **FS1, FS2, FS3, FS4 y FS5** .Tratamientos de vernalización **0, 20 y 40**

días.....Pág.25

Figura 6. Duración de la etapa Em-Flor en Tiempo Térmico (°Cdía) para BioINTA3005 (trigo). Fechas de siembra: **FS1, FS2, FS3, FS4 y FS5** .Tratamientos de vernalización **0, 20 y 40**

días.....Pág.26

Figura 7. Duración de la etapa Em-Flor en Tiempo Térmico (°Cdía) para Klein Gladiador (trigo). Fechas de siembra: **FS1, FS2, FS3, FS4 y FS5** .Tratamientos de vernalización **0, 20 y 40**

días.....Pág.27

Figura 8. Duración de la etapa Em-Flor en Tiempo Térmico (°Cdía) para Klein Tauro (trigo). Fechas de siembra: **FS1, FS2, FS3, FS4 y FS5** .Tratamientos de vernalización **0, 20 y 40**

días.....Pág.28

Figura 9. Rectas de regresión entre Tiempo Térmico y Fotoperíodo para los genotipos de avena y trigo evaluados.....**Pág.29**

RESUMEN

En Argentina, el área sembrada con avena (*Avena sp.*) se extiende de los 30° a 38° de latitud Sur, abarcando desde Santiago del Estero hasta el Sur de Buenos Aires, determinando que el cultivo sea afectado por diferentes condiciones ambientales. La adecuación de su patrón de desarrollo a cada ambiente requiere el estudio de los factores ambientales que intervienen (temperatura, fotoperiodo y vernalización) y que regulan el mismo en cada fase fenológica y de las características genotípicas que lo condicionan, siendo esto indispensable para predecir el comportamiento agronómico de los genotipos y el rendimiento en áreas conocidas. Por ello, los objetivos del trabajo fueron determinar la respuesta a la vernalización y al fotoperíodo; determinar umbrales fotoperiódicos, pendientes de sensibilidad y establecer rangos de vernalización adecuada para cada genotipo de avena y de trigo. El ensayo se llevó adelante en la Estación Experimental Julio Hirschhörn desde mayo de 2014 hasta marzo de 2015. Se sembraron tres genotipos de trigo y tres de avena en cinco fechas de siembra (de julio a diciembre abarcando fotoperiodos menores a 10 horas (h) hasta +/- 14 h) y con tres tratamientos de vernalización (40 días, 20 días y 0 días en cámara de crecimiento a 4°C, más vernalización natural). El diseño del ensayo fue en parcelas divididas con tres repeticiones, siendo la parcela principal las fechas de siembra, la subparcela los tratamientos de vernalización y la sub-subparcela los genotipos. Se tomaron las fechas de emergencia (Em) y floración (Flor) en cada uno de los tratamientos. Se evaluaron las sumas térmicas necesarias del periodo Em-Flor. Los datos se analizaron mediante ANOVA para parcelas divididas y las medias se compararon con el test de LSD ($P < 0,01$). Se demostró que los genotipos de avena y trigo poseen diferentes requerimientos de vernalización a excepción de la L1 (avena) que resultó ser

insensible. Bonaerense INTA Maná, Klein Gladiador y Klein Tauro además presentaron umbrales bajos de vernalización y bajas pendientes de sensibilidad. Por otro lado, los genotipos mostraron respuestas cuantitativas al fotoperiodo largo (a mayor duración del día se redujo el tiempo a floración), variabilidad en el umbral fotoperiódico (con valores de saturación desde 12h 21' hasta 13h 11') y diferente precocidad intrínseca. Finalmente el análisis de regresión mostró que L5 fue la de mayor pendiente, indicando mayor sensibilidad, seguida por Bonaerense INTA Maná y L1. En el caso de los trigos, Klein Gladiador fue el genotipo con mayor pendiente, Klein Tauro presentó una pendiente baja. Por su parte, la pendiente de BioINTA3005 no se puede considerar porque la regresión no fue significativa.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La avena (*Avena sp.*) pertenece a la familia de las poáceas (Poaceae) siendo de gran importancia económica y nutricional a nivel mundial, siendo la especie hexaploide *Avena sativa* L. la más cultivada seguida por *Avena byzantina* L.

Su grano es reconocido como alimento fundamental en la dieta humana por su alto valor nutricional en comparación con otros cereales, destacándose por su contenido de carbohidratos, proteínas de elevado valor biológico (especialmente con alto contenido del aminoácido lisina), vitaminas, minerales y fibras en el grano. También es uno de los cereales de invierno más importante destinados a la alimentación del ganado, por su versatilidad y valor nutritivo. Se caracteriza por ser buena productora de grano, como así también de forraje de buena calidad, lo que le otorga multiplicidad de usos: forraje verde, forraje conservado (heno o ensilado), doble propósito (biomasa verde y grano), cultivo de cobertura y uso del rastrojo. Otro uso conocido de la avena es en la industria cosmética y en medicina con fines terapéuticos por sus numerosos beneficios para la salud.

1.1. Importancia mundial y nacional de la avena

La avena es el sexto cereal más importante del mundo en producción de grano, después del trigo pan (*Triticum aestivum* L.), maíz (*Zea mays* L.), arroz (*Oryza sativa* L.), cebada (*Hordeum vulgare* L.) y sorgo (*Sorghum bicolor* L.) (USDA, 2018). Las zonas productoras se encuentran ubicadas en regiones donde predominan climas fríos, concentrándose entre las latitudes 35 y 50° N, y 30 y 50° S. La producción mundial se encuentra alrededor de 22,3 millones de t con un rendimiento promedio por hectárea de 2.300 kg.ha⁻¹ (USDA, 2018). Los principales productores son la UE, Rusia, Canadá, Australia, EEUU, Chile, Argentina y Brasil (USDA, 2018) (Figura 1).

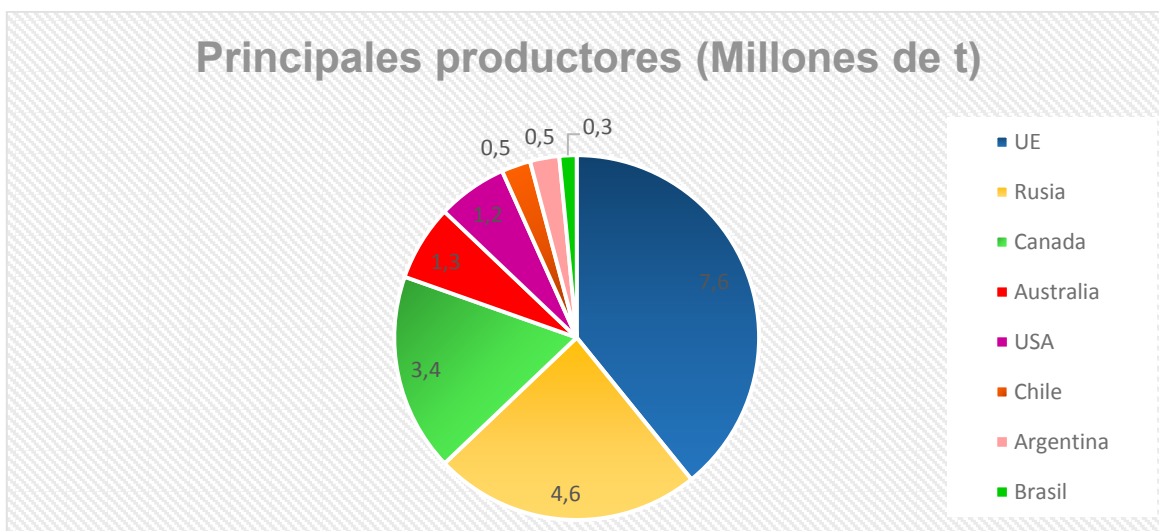


Figura 1.1. Principales países productores (USDA, 2018).

En Argentina el área sembrada es de 1,3 millones de hectáreas, la gran mayoría para uso forrajero (Ministerio de Agroindustria, 2017). La provincia de Buenos Aires concentra el 56 % de la superficie seguida por La Pampa y Córdoba. (Tabla 1).

Tabla 1. Superficie sembrada con avena por provincia (Ministerio de Agroindustria, 2017).

Orden	Provincia	Superficie (ha)	Proporción
1	Buenos Aires	747.810	56%
2	La Pampa	207.500	15%
3	Córdoba	177.370	13%
4	Santa Fe	99.500	7%
5	Entre Ríos	86.700	7%
6	San Luis	19.000	1%
7	Santiago del Estero	6.500	0,3%
TOTAL		1.344.380	

En la campaña 2016/2017 del total de la superficie sembrada se cosecharon 321054 ha, con un rendimiento promedio de 2450 kg.ha⁻¹ y una producción total de 784981 mil t (Ministerio de Agroindustria, 2017).

En nuestro país, la mayor parte de la superficie sembrada se utiliza para alimentación animal. Es una de las principales fuentes de forraje verde durante el invierno en la región pampeana, tanto para la producción de carne como de leche, conservando un alto valor nutritivo durante la mayor parte de su ciclo, distinguiéndose por ello del resto de los cereales forrajeros. En lo que refiere a la siembra para grano, la avena compite por la superficie con cultivos de mayor trascendencia como trigo y cebada. Además presenta algunas desventajas si los comparamos con éstos, entre ellas un mercado pequeño en volumen y muy selectivo respecto a la calidad, mayor vuelco cuando se fertiliza con altas dosis de nitrógeno, dificultad de la cosecha por desgrane y enfermedades foliares.

El cultivo forma parte de las rotaciones, especialmente en la región sur de la Provincia de Buenos Aires, siendo una alternativa interesante ya que se adapta perfectamente a la zona. En algunas de las últimas campañas se observó un aumento en el área destinada a avena para grano en el sudeste de la provincia de Buenos Aires (Forjan & Manso, 2015).

1.2. Requerimientos edafoclimáticos

La avena es una planta de invierno, y las mayores áreas de producción se localizan en los climas templados más fríos, aunque tiene una menor resistencia al frío que la cebada y el trigo. La germinación tiene lugar a partir de temperaturas de suelo de 3 a 5 °C (Forsberg & Reeves, 1995).

Sus necesidades hídricas son las más elevadas en relación a los otros cereales de invierno al tener un coeficiente de transpiración elevado requiere más agua para producir una unidad de materia seca (Beratto & Rivas, 2003).

La avena es un planta rústica que crece en diferentes suelos, se ha observado que puede tolerar suelos ácidos con un pH de 4,5 (Stoskopf, 1985), pero para obtener

rendimientos altos se requiere un pH no menor a 5,3 a 5,7 (Alam & Adams, 1979). Los suelos salinos son perjudiciales para su crecimiento, siendo clasificada como de tolerancia mediana a la sal.

1.3 Requerimientos ambientales

Los cereales de invierno, entre ellos la avena, son cultivados en todo el mundo, desde el Ecuador hasta altas latitudes (60° latitud Norte y 40° Sur) y desde el nivel del mar hasta por encima de los 2000 m de altitud. La adaptación a condiciones tan diferentes de cultivo requiere la adecuación de su patrón de desarrollo a cada ambiente. El desarrollo vegetal puede definirse como la secuencia de acontecimientos fenológicos (controlados por factores genéticos y ambientales) que determinan los cambios morfológicos y funcionales de la planta y que conducen a la acumulación de biomasa, pasaje al estado reproductivo y a la formación de los componentes de rendimiento. Por ello es fundamental posicionar las etapas más importantes de la generación del rendimiento con posterioridad a los meses de menor temperatura y mayor riesgo de heladas. El estudio de los factores ambientales que regulan el desarrollo en cada fase fenológica y las características genotípicas que condicionan el mismo, resulta indispensable para predecir el comportamiento agronómico de los genotipos y el rendimiento en áreas de condiciones climáticas conocidas.

La mayor parte de la información disponible sobre los procesos que regulan el desarrollo se ha profundizado en trigo. Algunos autores (Fischer, 1984; Kirby & Appleyard, 1987; Masle *et al.*, 1989; Hay & Kirby, 1991; Slafer & Rawson, 1994) indican que los principales factores ambientales que intervienen son: la temperatura, la vernalización y el fotoperiodo pudiendo generalizarse dicha afirmación para todos los cereales de invierno, entre ellos la avena, de la que se dispone de escasa información.

a) Temperatura

De los tres factores mencionados, la temperatura es el factor universal que afecta la duración de todas las etapas ontogénicas de los cereales de invierno, desde la germinación hasta la madurez fisiológica (Miralles, 2004). Cuando las plantas son expuestas a temperaturas más elevadas, las etapas transcurren más rápidamente, provocando la aceleración del desarrollo. Cada fase del desarrollo requiere un mínimo de acumulación de temperatura, por encima de una temperatura base, para llegar a su término y para que la planta pueda pasar a la fase siguiente. La universalidad de las respuestas a la temperatura permite considerar la duración del ciclo del cultivo y de sus etapas en unidades que se conocen como tiempo térmico, permitiendo que la duración de cualquier etapa resulte independiente de la temperatura de crecimiento. La temperatura base generalmente se toma como 0°C en cereales de invierno (Bauer *et al.*, 1984; Slafer & Rawson, 1994; Cao & Moss, 1989). Cabe remarcar el concepto de tiempo térmico o suma térmica, que consiste en la suma de los valores de temperatura media diaria que superen a la temperatura base (aquella temperatura por debajo de la cual no hay crecimiento en la especie). Este criterio puede utilizarse para la totalidad del ciclo o por etapas, según la siguiente ecuación:

$$TTA-B = \sum (T_{mi} - T_b)$$

Donde TTA-B es el tiempo térmico comprendido entre los estadios fenológicos A y B expresado en grados-día (°Cdía), T_{mi} es la temperatura media de cada día i (°C), y T_b es la temperatura base del cultivo (*i.e.* aquella temperatura a la cual el cultivo detiene su crecimiento).

b) Vernalización y Fotoperiodo

A diferencia de lo que ocurre con la temperatura, la respuesta a la vernalización y al fotoperiodo ocurre en periodos particulares dentro del ciclo del cultivo. La vernalización consiste en la necesidad de exponer a la planta a un período determinado de bajas temperaturas para que adquiera la capacidad de realizar la transición del estado vegetativo al estado reproductivo y de florecer (Igartua *et al.*, 2008). Éste proceso es sólo inductivo es decir, que prepara a la planta para florecer pero no provoca la floración, la misma ocurre después de acumular una cantidad determinada de grados día. La percepción del estímulo (ápice en activo crecimiento) y la respuesta están separadas temporalmente. La percepción se puede producir desde la imbibición de la semilla hasta que el ápice cambia de vegetativo a reproductivo (Purvis, 1961). Las plantas vernalizadas mantienen la inducción luego de la exposición a temperaturas bajas (a menos que sean des-vernalizadas) y esta ‘memoria’ se mantiene estable a través de las sucesivas divisiones mitóticas hasta el momento que ocurre la floración.

La vernalización es un mecanismo importante para los cultivos de siembra otoñal, ya que los requerimientos de vernalización previenen el crecimiento prematuro de los primordios florales, retrasando el desarrollo hasta la llegada de la primavera cuando las temperaturas aumentan y los riesgos de daños por fríos son menores. 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 (Miralles, *et al.*, 2014). Se suele medir en “horas de frío” a los cuales tiene que estar sometida una planta para que pueda florecer de forma adecuada, siendo la respuesta de la planta acumulativa. El trigo y otras plantas anuales de invierno poseen requerimientos cuantitativos, ya que no es condición absoluta la

vernalización para que se produzca la floración. Sin embargo, un tratamiento de frío durante un periodo prolongado acelera el proceso. Existe una relación directa entre la duración del período de frío y la disminución del tiempo para el inicio de la floración. No todos los genotipos poseen los mismos requerimientos, ni responden de igual manera a la vernalización; los trigos de invierno suelen responder más marcadamente y requerir tiempos de exposición más prolongados que los de primavera para alcanzar la máxima tasa de desarrollo hacia la iniciación floral. Slafer & Rawson (1994) mencionan que los trigos varían desde genotipos con altos requerimientos de vernalización hasta genotipos insensibles.

El fotoperiodo se define como la duración (horas) de los ciclos de luz y oscuridad diaria a los que se expone un ser vivo. La respuesta de las plantas a los cambios en el número de horas de luz (fisiológicamente, en realidad a las horas de oscuridad) es uno de los principales factores determinantes de la duración de las diferentes fases de desarrollo y, por tanto, de adaptación al ambiente (Evans, 1993). La respuesta puede ser de tipo cuantitativa, acortándose las etapas progresivamente al aumentar el largo del día en la medida que se acerca al fotoperiodo umbral u óptimo; o cualitativa, hasta no alcanzar el umbral, no hay desarrollo (Miralles *et al.*, 2003).

Los cereales de invierno son generalmente plantas de día largo de tipo cuantitativo, es decir, aceleran su floración cuando se cultivan en condiciones de día largo (más de 12 horas de luz por día) (Thomas & Vince, 1997). A mayor duración del día la tasa de desarrollo aumenta hasta un determinado punto llamado fotoperiodo umbral, donde la respuesta a este factor se satura (Figura 1.2). Por encima de este punto un incremento del fotoperiodo no supone un cambio en la tasa de desarrollo y la duración de las etapas sólo es definida por la temperatura (la duración del ciclo ontogénico es mínima). La

sensibilidad al fotoperiodo (pendiente de la recta en la Figura 1.2) indica cuánto se reduce el ciclo por unidad de incremento en la duración del día ($^{\circ}\text{Cd}/\text{h}$). El rango de sensibilidad varía ampliamente entre los distintos cultivares de trigo (Major, 1980), siendo la respuesta generalmente cuantitativa, existiendo también cultivares insensibles.

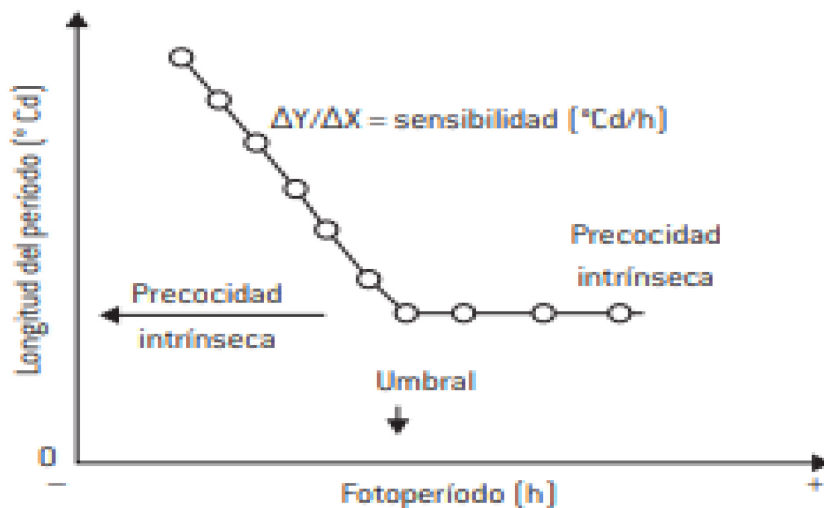


Figura 1.2 Respuesta general al fotoperiodo. Longitud del periodo de desarrollo ($^{\circ}\text{Cdía}$) en función de la duración del día (fotoperiodo en horas). Extraído de Miralles *et al.* (2014).

El estímulo fotoperiódico es percibido por las hojas, por ello, las plantas no pueden responder a la duración del día hasta después de la emergencia (Hay & Kirby, 1991). El fotoperiodo afecta la duración y el número de hojas que puede diferenciarse durante la fase de iniciación foliar. En general los días largos reducen el tiempo hasta espigado y reducen el número de hojas, ejerciendo un ligero efecto sobre la tasa de aparición de las mismas. Esto implica que a menor duración de la etapa por fotoperiodos más largos, habrá menor número de espiguillas (aunque generadas a una tasa mayor) y menor será el número final de hojas.

Puede ocurrir, aunque excepcionalmente, que un genotipo no sea sensible ni a la vernalización ni al fotoperiodo. En estos casos y también cuando las respuestas a la vernalización y al fotoperiodo están saturadas, las posibles diferencias en el desarrollo entre los genotipos se deben a la precocidad intrínseca de cada uno de ellos (Flood & Halloran, 1984; Masle *et al.* 1989; Slafer, 1996). La precocidad intrínseca puede ser definida como el mínimo número de días a floración de un genotipo una vez que se satisfacen los requerimientos de vernalización y fotoperiodo (Van Beem *et al.*, 2005).

El fotoperiodo y la vernalización son generalmente considerados como los responsables de casi todas las diferencias entre cultivares de trigo en la duración del ciclo (Slafer *et al.*, 2001). Se ha demostrado que la respuesta a estas variables ambientales es controlada por varios genes Ppd, Vrn (Laurie, 1997, Holland *et al.*, 1997, Trevaskis *et al.*, 2006). En avena han sido identificados genes que condicionan sensibilidad al fotoperiodo, usando marcadores moleculares (Wight *et al.*, 1994; Holland *et al.*, 1997) y además un gen de insensibilidad fue descubierto en varios genotipos canadienses (Sampson & Burrows, 1972).

Si bien la información sobre los factores ambientales que condicionan el pasaje al estado reproductivo en avena es escasa, la influencia de días largos y el efecto de bajas temperaturas durante el desarrollo temprano de genotipos primaverales (Doroshenko & Razumov, 1929; Wiggans & Frey, 1955; Shands & Cisar, 1982; Bleken & Skjelvag, 1986) e invernales (Qualset & Peterson, 1978) ha sido observado por varios investigadores en cultivares y especies silvestres de Avena. Al respecto Loskutov (2001) estudiando especies recolectadas en diferentes centros de origen, encontró que la mayoría de éstas eran más sensibles a temperaturas vernalizantes, que a la duración del día, para llegar a floración. En este sentido, Sorrels & Simmons (1992), encontraron que en genotipos de

avena sensibles a la vernalización, la respuesta al fotoperiodo sólo se produce después de que se cumpla el requisito de la vernalización. Por otra parte, estudios realizados por Locatelli *et al.* (2008) indicaron que los genotipos de avena responden en forma diferencial al fotoperiodo y vernalización.

En Argentina, el área sembrada con avena se extiende de los 30° a 38° de latitud Sur, abarcando desde Santiago del Estero hasta el sur de Buenos Aires, determinando que el cultivo sea afectado por diferentes condiciones ambientales, aunque no hay estudios realizados sobre la respuesta a la vernalización y al fotoperiodo de diferentes genotipos. Por ello, conocer los requerimientos de vernalización y fotoperiodo que poseen los genotipos argentinos, permitirá la selección de los más adecuados para una zona y fecha de siembra determinada, con el fin de ubicar las diferentes etapas del desarrollo bajo las mejores condiciones ambientales posibles y aumentar la duración de aquellas vinculadas a la generación del rendimiento.

HIPÓTESIS

- ***Los genotipos argentinos de avena se diferencian en sus requerimientos de vernalización y fotoperiodo, al igual que lo hacen los genotipos de trigo.***

OBJETIVOS

- **Determinar la respuesta a la vernalización y el fotoperiodo en diversos genotipos de avena en comparación con genotipos de trigo.**
- **Determinar umbrales fotoperiódicos y pendientes de sensibilidad.**
- **Establecer rangos de vernalización adecuada para cada genotipo.**

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó adelante en la Estación Experimental Julio Hirschhörn, perteneciente a la FCAYF (UNLP), desde mayo de 2014 hasta marzo de 2015. En cinco fechas de siembra (FS) y tres tratamientos de vernalización, se sembraron tres genotipos de avena y tres de trigo, para determinar cómo inciden el fotoperiodo y la vernalización en el pasaje al estado reproductivo en cada cereal y entre cultivares. Los genotipos de avena incluyeron líneas en filiales avanzadas del criadero de FCAYF-UNLP, Línea 1 (L1) y Línea 5 (L5) y un cultivar comercial, Bonaerense INTA Maná de la Chacra Experimental Integrada Barrow. Los genotipos de trigo correspondieron a los cultivares comerciales Klein Gladiador, Klein Tauro y BioINTA 3005. Todos los genotipos se seleccionaron por poseer distinto ciclo fenológico entre ellos. El diseño del ensayo fue en parcelas divididas, siendo la parcela principal la fecha de siembra, la subparcela los tratamientos de vernalización y la sub-subparcela los genotipos con tres repeticiones.

Los tratamientos de fotoperiodo fueron representados por la variación natural de la duración del día a través del año, utilizando para ello siembras escalonadas en diferentes épocas del año (FS1: 2 julio, FS2: 12 agosto, FS3: 29 septiembre, FS4: 10 noviembre y FS5: 10 diciembre). Las siembras comenzaron a principios de julio, para disponer del fotoperiodo más corto (-10 h.), y la última en diciembre, para lograr un fotoperiodo más largo (+/-14 h.). La última siembra se hizo para exceder el umbral que ha sido estimado en 13,4 h para genotipos argentinos de trigo (Miralles *et al.*, 2007), aunque hubiera sido descartada en caso de que el estrés térmico determinara inconvenientes en el desarrollo y crecimiento de las plantas. Se realizaron tres tratamientos de vernalización: 40 días, 20 días y 0 días (sólo la vernalización impuesta por el ambiente) en cada fecha de siembra para permitir la determinación de umbrales de vernalización óptimos. A los tratamientos

20 y 40 días se les sumó la vernalización ambiental, considerando las horas de frío acumuladas por debajo de 12 °C durante el período ensayado. Las semillas se colocaron en papel absorbente dentro de cajas de Petri para que germinaran, se ajustó el contenido de humedad hasta un 50-55 % de su peso seco. Se colocaron en oscuridad en cámara de crecimiento a 4°C. Después de la vernalización, se seleccionaron las semillas con coleoptilos de entre 10 a 20 mm de longitud (para asegurar que las semillas de diferentes genotipos estuvieran en similar estado de desarrollo) y se las trasplantó al ensayo de campo en surcos de 1m de largo distanciados a 0,20 m. Previo a la siembra se realizó un desmalezado de las parcelas, refinado de los terrones remanentes y nivelado del terreno.

Se tomaron las fechas de emergencia (Em) y floración (Flor) de cada genotipo en cada uno de los tratamientos. Para ello se tuvieron en cuenta las características morfológicas propias de cada uno de los cereales. En avena se tomó floración como la fecha de inicio de aparición de panoja por encima de la hoja bandera; y en trigo se consideró anthesis (EC 60, Zadoks *et al.*, 1974) representada por el 50% de las espigas con anteras amarillas visibles. Se evaluaron las sumas térmicas necesarias del período emergencia-floración. Se cuantificó la respuesta a la vernalización y fotoperiodo utilizando la recíproca del tiempo térmico hasta la floración. En aquellos tratamientos que permanecieron en estado vegetativo (EC 21: macollaje) durante el período evaluado, se estableció un valor arbitrario de 2500 °C día para poder ser analizado estadísticamente. En tanto que la precocidad intrínseca, se estimó calculando el tiempo térmico (TT) desde la emergencia de la plántula hasta floración para el tratamiento con mayor vernalización y en la última época de siembra que implica un mayor fotoperiodo. Se realizó la regresión lineal para los genotipos con los TT del tratamiento 40 días de vernalización (considerando que

los requerimientos de vernalización fueron cubiertos) en las tres primeras fechas de siembra.

Una forma de calcular el fotoperiodo umbral con mayor aproximación sería a partir de la recta de regresión, buscando el valor de x (Fecha), asumiendo que el valor de y es correspondiente al valor de TT en la **FS4** (fecha a partir de la cual no se encuentran diferencias significativas entre las fechas de siembra, menor TT del genotipo = precocidad intrínseca). Por lo tanto, a partir del valor x (Fecha calculada) se busca la duración del día en horas para dicha fecha. Las distintas épocas de siembra y tratamientos de vernalización permitieron determinar umbrales óptimos de fotoperiodo y vernalización

Los datos se analizaron mediante el programa estadístico ANOVA (análisis de varianza) para parcelas divididas y las medias se compararon mediante LSD ($P < 0,01$).

2.1. Datos climáticos y de suelo

Durante el período en el cual se llevó a cabo el ensayo a campo, se realizó un registro diario de las temperaturas y las precipitaciones registradas en la estación meteorológica situada a 200 m de los ensayos. Además se calcularon las horas de frío acumuladas por debajo de 12 grados, que se estimaron como vernalizantes (Miralles, 2004; Trione & Metzger, 1970) que posteriormente fueron utilizadas en el análisis de vernalización. Los datos fueron obtenidos del Boletín Agrometeorológico Mensual de la Estación Experimental Julio Hirschhörn. Asimismo se tomaron muestras de suelo previo a la siembra, las mismas fueron analizadas en el Laboratorio de Edafología de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.

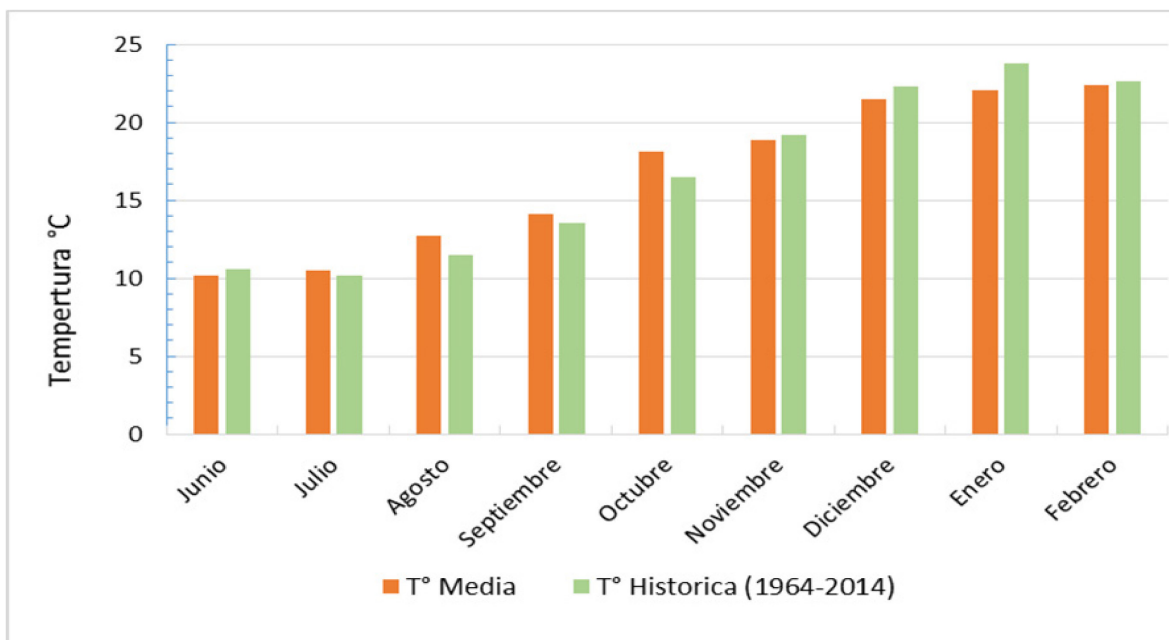


Figura 2.1. Temperatura media mensual y temperatura media mensual histórica desde junio 2014 a febrero 2015 en la Estación Experimental Julio Hirschhörm. Los Hornos, Argentina.

Al analizar el comportamiento de la temperatura de forma continua, teniendo en cuenta los valores medios mensuales (Figura 2.1), se puede observar que para el año en que se realizó el ensayo, las temperaturas fueron similares a los valores históricos, a excepción de los meses de agosto, septiembre y octubre donde se registraron mayores temperaturas medias mensuales y enero con temperaturas más bajas que la media histórica. La temperatura media mensual presentó un valor mínimo en junio (10.3°C) y máximo en el mes de febrero (22.4°C). Se observan aumentos de temperaturas medias a partir de septiembre junto a un incremento de los valores en la radiación incidente. A partir de octubre el incremento se debió a que (por lo general) las temperaturas máximas se mantuvieron por encima de los 20°C .

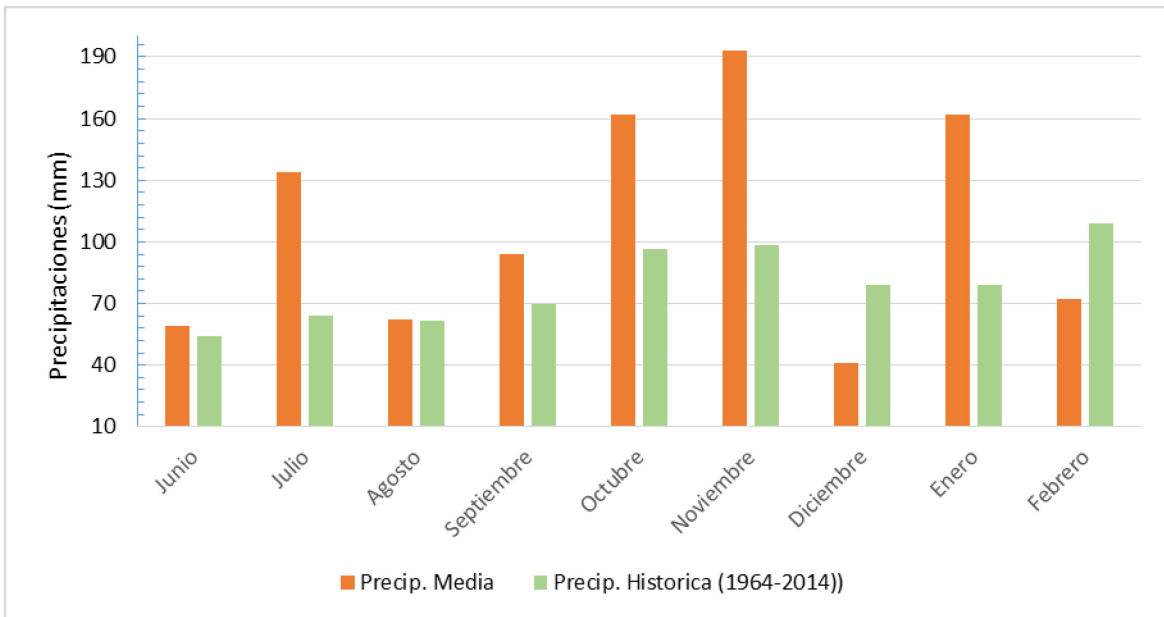


Figura 2.2. Precipitaciones media mensual y precipitaciones media mensual histórica desde junio 2014 a febrero 2015 en la Estación Experimental Julio Hirschhörn. Los Hornos, Argentina.

En figura 2.2 se observa una marcada variabilidad que se manifiesta a través de la diferencia entre las precipitaciones registradas durante el año de ensayo (barras de color naranja), en comparación a las que corresponden a un registro de lluvias mensuales que comprende desde los años 1964 hasta 2014 (barras verdes).

Se observa que los meses de julio (134 mm), octubre (162 mm) y noviembre (193 mm) y enero (162 mm), presentaron los mayores valores de precipitaciones totales, en tanto que, los meses más deficientes en precipitaciones fueron junio (59 mm), agosto (62 mm), diciembre (41 mm) y febrero (72 mm).

El suelo fue un Argiudol típico (Serie Los Hornos) con las siguientes características (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de suelo en el sitio de los ensayos.

	0-20 cm	20-40 cm
pH (1:2,5)	6,15	5,9
Carbono [%]	1,92	
Materia Orgánica[%]	3,31	
Nitrógeno total [%]	0,17	
Fósforo [ppm]	16,1	

3. RESULTADOS

En la Tabla 3 se reporta el ANOVA para la variable Tiempo Térmico, presentando diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) para los tratamientos fecha de siembra (FS), vernalización (Ver) y genotipo (Ge). Además, las interacciones dobles *FS x Ver*, *FS x Ge* y *Ver x Ge* y la interacción triple *FS X Ver X Ge*, presentaron diferencias altamente significativas. Como el análisis conjunto de la interacción triple dificultaría el entendimiento, se graficó para cada genotipo de avena y de trigo por separado.

Tabla 3: Cuadrados medios (CM) y valor de p (ANOVA) de tiempo térmico en un ensayo compuesto por tres genotipos de avena y tres de trigo.

	GL	Cuadrados medios y valor de p
Fecha de siembra (FS)	4	234196 (<0,001)
Error	8	250,3
Vernalización (Ver)	2	1284348,5 (<0,001)
FS x Ver	8	107775 (<0,001)
Error	20	185
Genotipo (Ge)	5	7040664,3 (<0,001)
FS x Ge	20	597443,9 (<0,001)
Ver x Ge	10	192066 (<0,001)
FS x Ver x Ge	40	125738 (<0,001)
Error	150	114,8
Total	269	

GL: grados de libertad, $p < 0,001$

a) Avena

Bajo las condiciones de nuestro ensayo, en **L1** no se encontraron diferencias significativas para el tratamiento Vernalización, debido a que el TT acumulado entre los tratamientos **0, 20 y 40 días** no varió en ninguna de las fechas de siembra, aunque si hubo diferencias significativas entre las fechas de siembra (Figura 3).

El TT acumulado desde Em-Flor disminuyó significativamente por influencia del fotoperiodo, desde **FS1** (1479°Cdía) hasta **FS4** (1024°Cdía), no observándose diferencias significativas entre **FS4 y FS5** (1020,9°Cdía) (Figura 3).

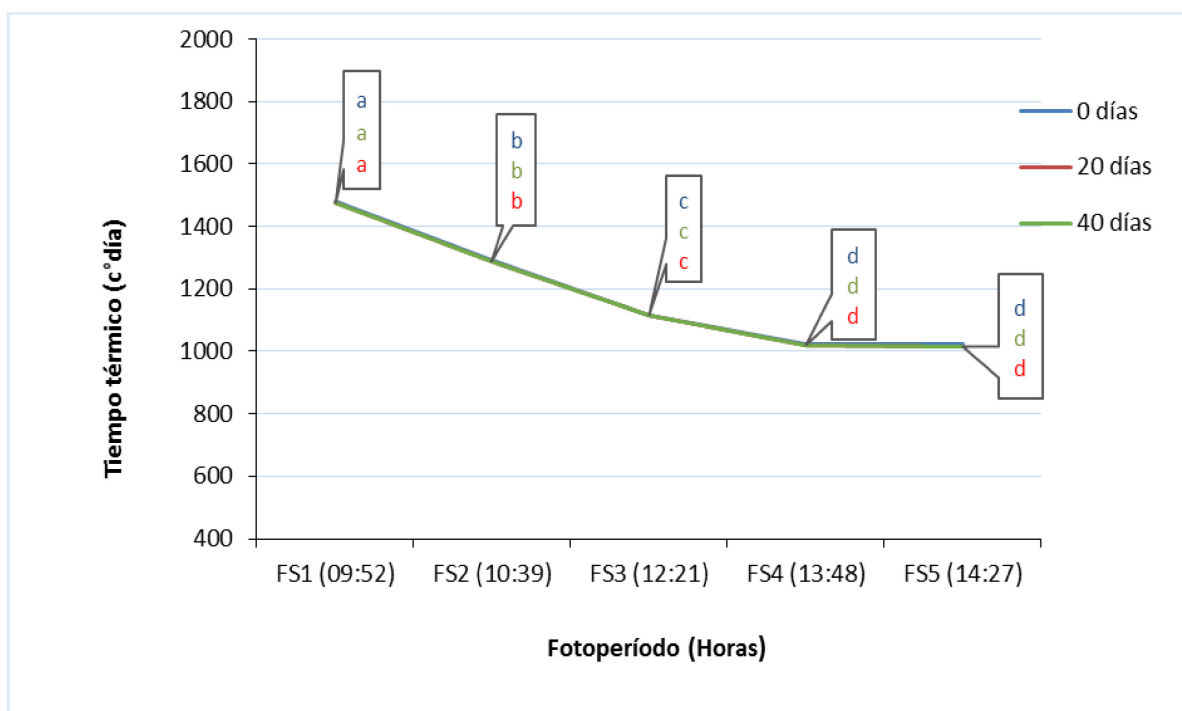


Figura 3. Duración de la etapa Em-Flor en Tiempo Térmico (°Cdía) para **L1** (avena). Fechas de siembra: **FS1, FS2, FS3, FS4 y FS5** (los números entre paréntesis corresponden a la duración, en horas, de luz solar diaria en cada FS). Tratamientos de vernalización **0, 20 y 40 días** (las líneas se superponen por no haber diferencia entre los tratamientos en ninguna de las FS). Letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas entre todos los tratamientos de FS y Ver (LSD <0,01)

En **L5** se encontraron diferencias significativas para los tratamientos Vernalización y Fecha de siembra. En **FS1** y **FS2** no hubo diferencias en TT acumulado en el período Em-Flor entre los tratamientos de vernalización. Sin embargo, a partir de **FS3** los tratamientos **40 días** (988 °Cdia) y **20 días** (973,4 °Cdia) acumularon menor tiempo térmico que el tratamiento **0 día** (1234,8° Cdia). Este comportamiento se repitió e incrementó en **FS4** y **FS5**, mostrando una diferencia significativa entre los tratamientos de vernalización respecto al no vernalizado (0 día) (Figura 4).

En respuesta al fotoperiodo, los tratamientos de vernalización **20 y 40 días**, tuvieron una disminución significativa de TT acumulado desde **FS1 a FS4** (1599 °Cdia a 919 °Cdia y 1601 °Cdia a 919 °Cdia respectivamente), a medida que se desplazó la fecha de siembra hacia fotoperiodos más largos, mientras que en la **FS5** el TT se mantuvo constante no diferenciando de la **FS4**. Por el contrario, en el tratamiento **0 día** de vernalización, esta disminución de TT acumulado se manifestó hasta la **FS3**, y a partir de **FS4** el TT se incrementó de manera significativa respecto de las anteriores fechas (1357°Cdía). En **FS5** las plantas del tratamiento **0 día** permanecieron en EC 21, por ello se puso 2500°Cdía, de manera de permitir el análisis conjunto de datos (Figura 4).

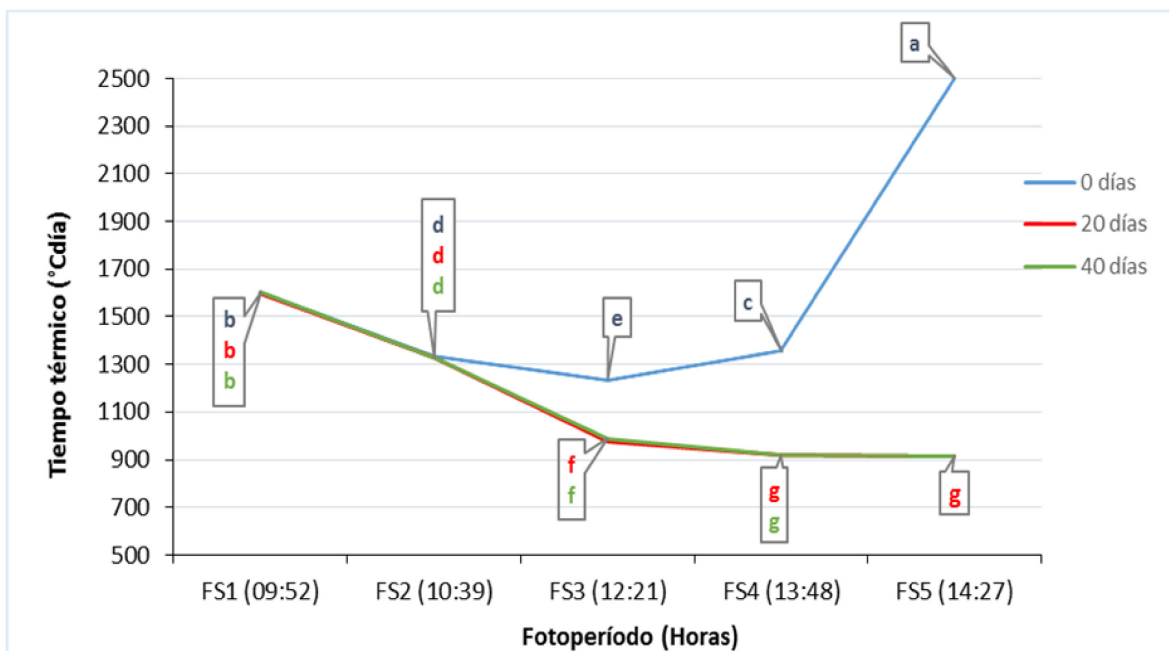


Figura 4. Duración de la etapa Em-Flor en Tiempo Térmico ($^{\circ}\text{Cdía}$) para **L5** (avena). Fechas de siembra: **FS1, FS2, FS3, FS4** y **FS5** (los números entre paréntesis corresponden a la duración, en horas, de luz solar diaria en cada FS). Tratamientos de vernalización **0, 20 y 40 días**. Letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas entre todos los tratamientos de FS y Ver (LSD $<0,01$)

En **Bonaerense INTA Maná** se encontraron diferencias entre tratamientos. Los tratamientos de vernalización **20 y 40 días** no se diferenciaron significativamente en ninguna de las fechas de siembra, mientras que si lo hicieron respecto al tratamiento **0 día** que acumuló mayor TT en todas las fechas (Figura 5). Al atrasarse la fecha de siembra, la diferencia entre los tratamientos de vernalización se incrementó, siendo de $206,5^{\circ}\text{Cdía}$ en **FS4** y $216,4^{\circ}\text{Cdía}$ en **FS5**, tanto para 20 como para 40 días respecto a 0 día.

Para el factor fotoperíodo, en los tres tratamientos de vernalización hubo una disminución significativa de TT desde **FS1** hasta **FS3**. Sin embargo, en las **FS4 y FS5**, los tratamientos con vernalización (**20 y 40 días**), acumularon igual TT en el periodo analizado, mientras que sin vernalización (**0 día**) el TT aumentó 31°Cdía en **FS4** y 44°Cdía en **FS5** respecto a **FS3**.

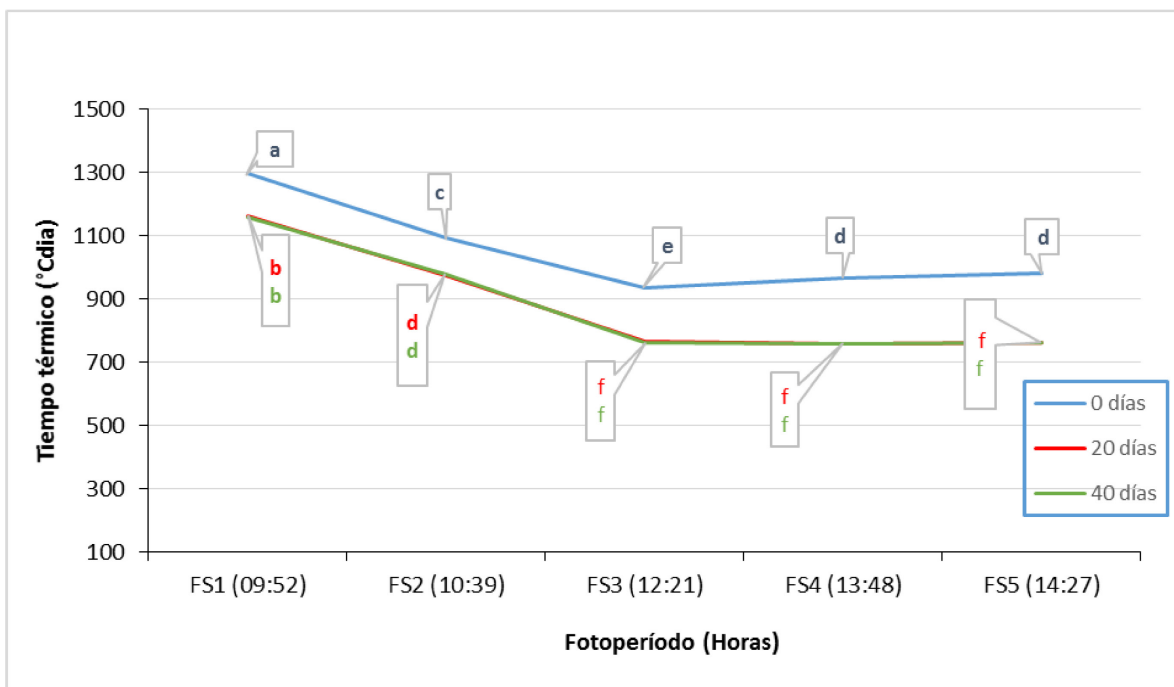


Figura 5. Duración de la etapa Em-Flor en Tiempo Térmico ($^{\circ}\text{C}\text{día}$) para **Bonaerense INTA Maná** (avena). Fechas de siembra: **FS1, FS2, FS3, FS4 y FS5** (los números entre paréntesis corresponden a la duración en horas de luz solar diaria, en cada FS). Tratamientos de vernalización **0, 20 y 40 días**. Letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas entre todos los tratamientos de FS y Ver (LSD <0,01)

a) Trigo

En el cultivar de trigo **BioINTA 3005** hubo diferencias significativas entre tratamientos, porque los tratamientos de vernalización tuvieron un efecto diferente sobre el **TT** acumulado a través de las fechas de siembra. En **FS1 y FS2** hubo diferencias entre los tratamientos **0 día, 20 días y 40 días**; en **FS3** el tratamiento 40 días fue el único que se diferenció, mientras que en las **FS4 y FS5** los tres tratamientos permanecieron en estado vegetativo (EC 21).

En **FS1** se observaron diferencias entre los tres tratamientos de vernalización, reflejadas en el **TT** acumulado durante el periodo Em-Flor, siendo de $1617^{\circ}\text{C}\text{día}$ para **0 día**, $1448^{\circ}\text{C}\text{día}$ para **20 días** y $1371^{\circ}\text{C}\text{día}$ para **40 días**. En el mismo sentido, en **FS2** los tres tratamientos de vernalización se diferenciaron significativamente, siendo las sumas

térmicas requeridas de 2202, 1733 y 1304°Cdia para **0 día**, **20 días** y **40 días** respectivamente. En FS3 los tratamientos **0 día** y **20 días** permanecieron en macollaje (EC 21) durante el periodo evaluado, mientras que **40 días** llegó a antesis con 1327 °Cdia (Figura 6).

Para el factor ‘fotoperiodo’ se observó que los tratamientos **0 día** y **20 días** en la **FS2** requirieron mayor **TT** que en **FS1** (**0 día**: 2202 vs 1617,7 °Cdia; **20 días**: 1733,5 vs 1448,4 °Cdia), y que a partir de la **FS3** permanecieron en macollaje. En contraste, en el tratamiento **40 días** disminuyó el **TT** en la **FS2** comparado con **FS1** (1371 vs 1304), pero en la **FS3** se incrementó en relación con la **FS2** (1327 vs 1304 °Cdia).

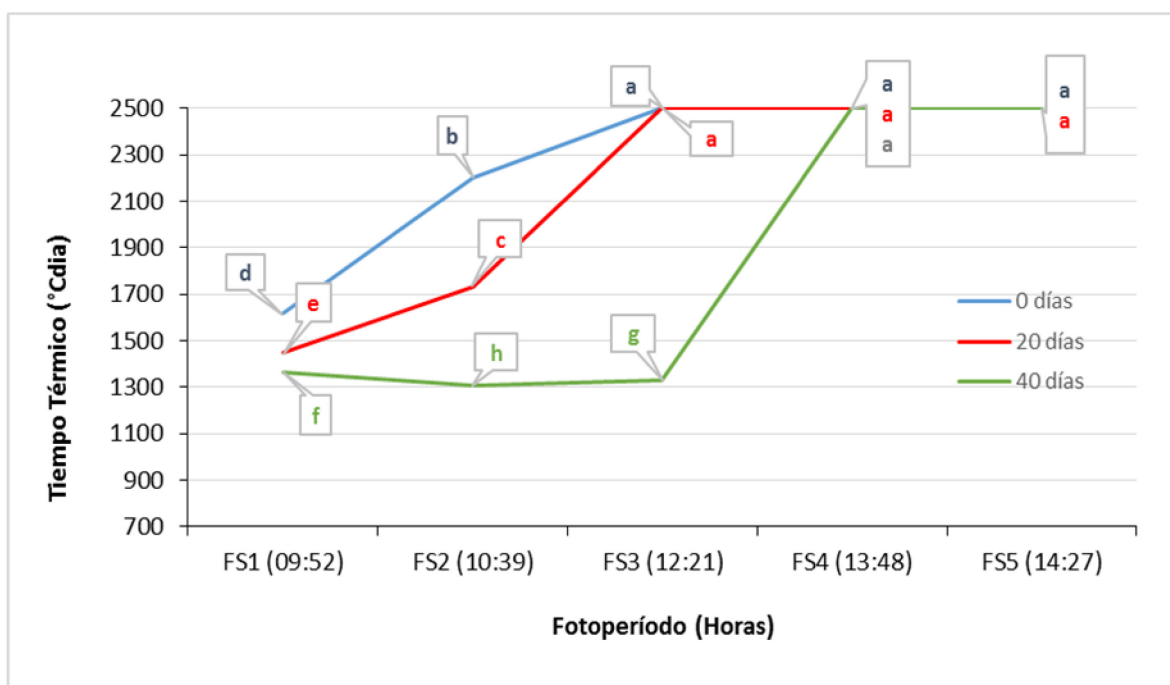


Figura 6. Duración de la etapa Em-Flor en Tiempo Térmico (°Cdia) para BioINTA3005 (trigo). Fechas de siembra: **FS1, FS2, FS3, FS4 y FS5** (los números entre paréntesis corresponden a la duración, en horas, de luz solar diaria en cada FS). Tratamientos de vernalización **0, 20 y 40 días**. Letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas entre todos los tratamientos de FS y Ver (LSD <0,01)

En el cultivar **Klein Gladiador** se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. Los tratamientos **20 y 40 días** de vernalización no se diferenciaron en

ninguna de las **FS**, mientras que si lo hicieron respecto al tratamiento **0 día**. Dichas diferencias entre los tratamientos de vernalización, se incrementaron a través de las sucesivas **FS**, siendo de 202,3°Cdia en **FS4** y 244,3°Cdia en **FS5**, tanto para 20 como para 40 días (Figura 7).

Respecto al fotoperiodo, en los tres tratamientos de vernalización hubo una reducción significativa del TT desde **FS1** hasta **FS4**. Sin embargo, en el tratamiento **0 día** la disminución fue menor entre **FS2-FS3** (66,1°Cdia) y **FS3-FS4** (45,27°Cdia) en comparación a los tratamientos que fueron vernalizados (**FS2-FS3** 145,9°Cdia; 150,4°Cdia y **FS3-FS4** 106,7°Cdia; 101,3°Cdia para **20 y 40 días** respectivamente). En **FS5** los tratamientos con **20 y 40 días** de vernalización, no variaron en TT acumulado (1042,2 °Cdia) respecto a la **FS4**, mientras que en **0 día** el TT se incrementó en 43,97°Cdia (Figura 7).

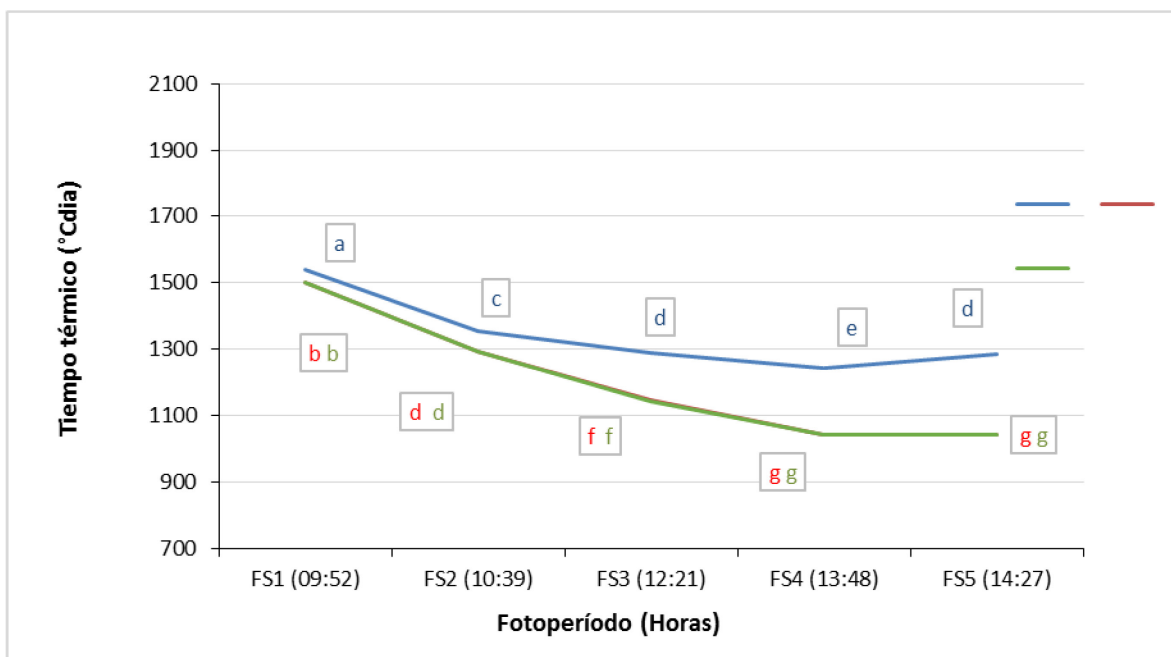


Figura 7. Duración de la etapa Em-Flor en Tiempo Térmico (°Cdia) para **Klein Gladiator** (trigo). Fechas de siembra: **FS1, FS2, FS3, FS4 y FS5** (los números entre paréntesis corresponden a la duración, en horas, de luz solar diaria en cada FS). Tratamientos de vernalización **0, 20 y 40 días**. Letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas entre todos los tratamientos de FS y Ver (LSD <0,01).

En el cultivar Klein **Tauro** se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. Los tratamientos de vernalización **20 y 40 días** no se diferenciaron significativamente en ninguna de las fechas de siembra, mientras que si lo hicieron respecto al tratamiento **0 día**. Por otro lado, al atrasarse la fecha de siembra, aumentaron las diferencias de TT hasta floración en relación al tratamiento 0 día, la diferencia entre los tratamientos de vernalización fue de 174°Cdia (tanto para 20 como para 40 días) en **FS4** y 236-240°Cdia en **FS5**.

En lo que refiere a fotoperiodo, se encontró una disminución significativa de TT en los tratamientos de vernalización 20 y 40 días, desde **FS1** hasta **FS3**, no diferenciando en **FS4** y **FS5** respecto a **FS3**. En el tratamiento **0 día** la disminución fue hasta **FS2**, permaneciendo constante en las **FS3** y **FS4**, finalmente incrementó en la **FS5** y se diferenció significativamente de todas las demás **FS**.

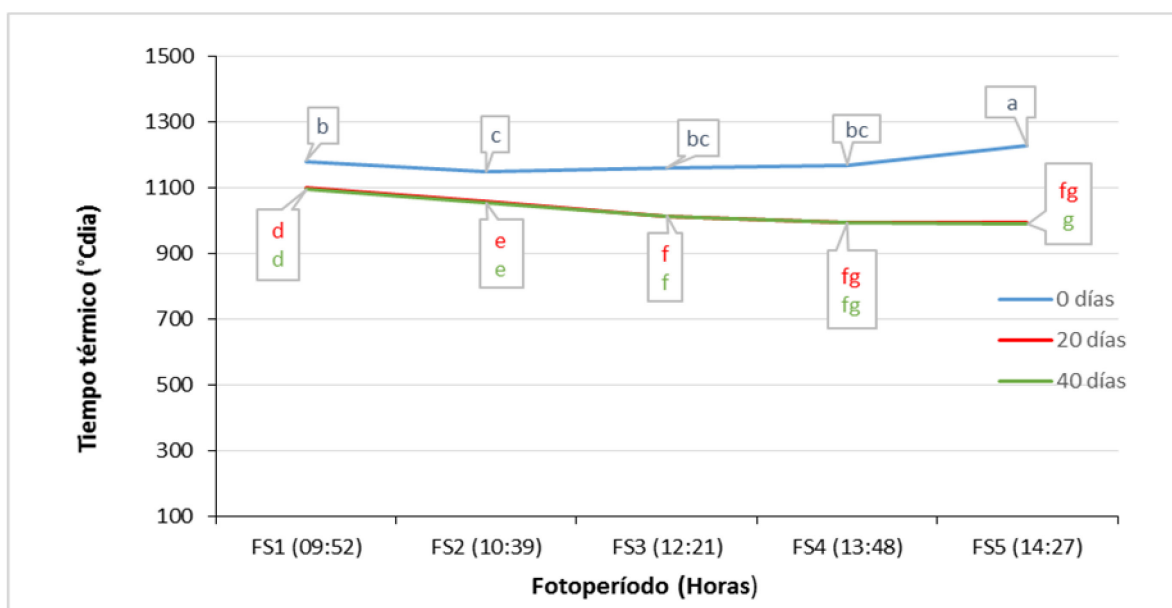


Figura 8. Duración de la etapa Em-Flor en Tiempo Térmico (°Cdía) para **Klein Tauro** (trigo). Fechas de siembra: **FS1, FS2, FS3, FS4** y **FS5** (los números entre paréntesis corresponden a la duración, en horas, de luz solar diaria en cada FS). Tratamientos de vernalización **0, 20 y 40 días**. Letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas entre todos los tratamientos de FS y Ver (LSD <0,01).

3.1 Sensibilidad y umbral fotoperiódico

Con los TT del tratamiento 40 días de vernalización (considerando que los requerimientos de vernalización fueron cubiertos) en las tres primeras fechas de siembra, se realizó la regresión lineal para los genotipos.

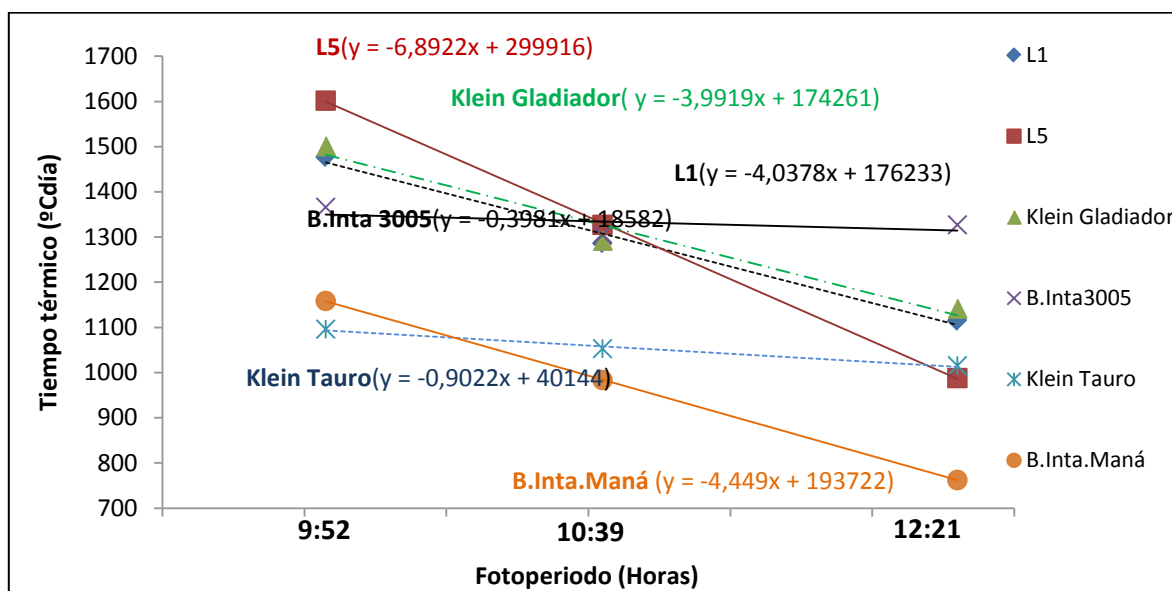


Figura 9. Rectas de regresión entre Tiempo Térmico y Fotoperiodo para los genotipos de avena (L1 y L5 y cv Maná) y trigo evaluados (Klein Gladiador, Klein Tauro y BioINTA 3005).

Los resultados del análisis de regresión para cada genotipo fueron significativos con valores de probabilidad entre $P < 0.02$ y $P < 0.10$, a excepción de BioINTA 3005 ($P = 0,613$) (Tabla 4). En las rectas de regresión se observa que la pendiente es negativa, es decir que aumentos en la duración del día disminuyen el TT acumulado desde Em-Flor. La L5 fue la de mayor pendiente (-6,89), seguida por Bonaerense INTA Maná (-4,49) y L1 (-4,03). En el caso de los trigos, Klein Gladiador fue el genotipo con mayor pendiente (-3,99), seguida por Klein Tauro (-0,90), mientras que la pendiente de BioINTA3005 no se puede considerar porque la regresión no fue significativa.

Tabla 4: Rectas de regresión entre Tiempo térmico y fotoperiodo, valor de probabilidad, coeficiente de determinación (R^2), Tiempo térmico en fecha de siembra 4 (TT FS4), fecha de umbral calculada y umbral calculado, de un ensayo con seis genotipos.

Genotipo	Recta de regresión	P-valor	R^2	TT FS4	Fecha umbral calculada	Umbral calculado
Línea 1	$y=-4,0378*X+176233$	0,064	0,98	1018,5	20-10	13:06
Línea 5	$y=-6,8922*X+299916$	0,071	0,99	919	8-10	12:41
Bonaerense INTA Maná	$y=-4,449*X+193722$	0,025	0,99	759,5	29-9	12:21
Klein Gladiador	$y=-3,9919*X+174261$	0,105	0,97	1040,2	20-10	13:06
Klein Tauro	$y=-0,9022*X+40144$	0,066	0,98	992,9	22-10	13:11
BioINTA 3005	$y=-0,3981x +18582$	0,613	0,32			

*Para el cv BioINTA 3005 no se pudo calcular la fecha umbral (valor de X) por no conocer el TT (y) en la FS4, ya que las plantas permanecieron en estado vegetativo.

Se encontró variabilidad genética para el umbral fotoperiódico, con valores de saturación desde 12hs 21' hasta 13hs 11'. Los genotipos que mostraron umbrales más bajos fueron Maná (12:21) y L5 (12:41). Además, L1 y Klein Gladiador presentaron un umbral de 13:06, mientras que Tauro 13:11 (Tabla 4). Por último, no se pudo calcular el umbral para BioINTA 3005 ya que para el tratamiento 40 días en las FS4 y FS5 permaneció en estado vegetativo durante el periodo evaluado, no pudiendo medirse el TT Em-Flor.

4. DISCUSIÓN

En nuestro país, la superficie cultivada con avena se extiende de los 30° a 38° de latitud Sur, abarcando desde Santiago del Estero hasta el sur de Buenos Aires, determinando que el cultivo sea sembrado bajo diferentes condiciones ambientales. Si bien trabajos previos mencionan que la temperatura, la vernalización y el fotoperiodo son los factores responsables y condicionantes del desarrollo en trigo (Fischer, 1984; Kirby &

Appleyard, 1987; Masle *et al.*, 1989; Hay & Kirby, 1991; Slafer & Rawson, 1994), no es conocido cómo se comportan en genotipos argentinos de avena ante estas variables.

Los genotipos argentinos de avena y trigo evaluados, mostraron diferencias en los requerimientos de vernalización. Estos resultados son coincidentes con los mencionados por diversos autores en avena (Sorrels & Simmons, 1992; Loskutov, 2001; Locatelli *et al.*, 2008) y trigo (Slafer & Rawson, 1994; Gonzalez *et al.*, 2002). La línea L1 demostró ser insensible a la vernalización por no presentar diferencias significativas entre los tratamientos en ninguna de las FS, mientras que Bonaerense INTA Maná y L5 mostraron bajos requerimientos, con umbrales menores a 480 h de frío a 4 °C (no hubo diferencias entre los tratamientos 20 y 40 días en ninguna de las FS). Sin embargo, L5 no presentó diferencias significativas en TT acumulado entre los tratamientos de vernalización en FS1 y FS2, lo que indicaría que posee menores requerimientos que Maná (mostró diferencias entre los tratamientos de vernalización desde FS1). Por su parte, los trigos Klein Gladiador y Klein Tauro tuvieron requerimientos bajos (umbrales menores a 480 h de frío a 4 °C), mientras que BioINTA 3005 requerimientos altos, con un umbral mayor a las 960 h a 4°C del tratamiento 40 días, ya que en las FS4 y FS5 donde las horas de frío del ambiente fueron bajas (24 h y 13 h respectivamente, <12°C) no cambio de estado (EC 21). Slafer & Rawson (1994) mencionan que los trigos varían desde genotipos con altos requerimientos de vernalización hasta genotipos insensibles. Por su parte, Miralles *et al.*, (2004) señalan que parte de los de trigos argentinos presentan requerimientos de vernalización, y que éstos no pueden ser sembrados en zonas con altas temperaturas medias durante las etapas tempranas del cultivo ya que se correrá un alto riesgo de que retrasen la floración con los consiguientes efectos negativos sobre el número y el peso de los granos (mayor temperatura de llenado).

El avance en las FS (desde FS1 a FS4) modificó las condiciones ambientales a la que los genotipos fueron expuestos (temperaturas medias más altas y menor cantidad de horas de frío), viéndose afectado el comportamiento de éstos cuando las horas de frío brindadas por el ambiente fueron sub-óptimas (por debajo del umbral). En el caso de Bonaerense INTA Maná, Klein Gladiador y Klein Tauro además de presentar umbrales bajos de vernalización, tendrían bajas pendientes de sensibilidad, porque el incremento del TT (en el tratamiento 0 día) fue bajo como respuesta a la disminución en la cantidad de horas de frío ambientales. Por el contrario, en L5 (umbral bajo) el incremento del TT para 0 día fue significativamente mayor en la FS4 (fecha donde hubo 24 h < a 12°C), mientras que en la FS5 no alcanzó la floración durante el periodo evaluado (fecha donde hubo 11 h < a 12°C), pudiéndose observar que un cambio de solo 13 h en las horas de frío tuvo un gran impacto sobre el TT, lo que indicaría una alta pendiente de sensibilidad a la vernalización. Por su parte, como BioINTA 3005 mostró un umbral alto y permaneció en estado vegetativo partir de la FS3 (0 día y 20 días), no fue posible hacer una aproximación de la pendiente de sensibilidad que presentaría.

Otro de los resultados de este estudio es que en una siembra en julio, en la ciudad de La Plata (FS1), las horas de frío del ambiente son suficientes para alcanzar el desarrollo, incluso en genotipos con altos requerimientos como BioINTA 3005.

Con respecto al fotoperiodo, los genotipos de avena y trigo (a excepción de BioINTA 3005) estudiados presentaron una disminución significativa de TT en el periodo Em-Flor a medida que se desplazó la FS hacia fotoperiodos más largos, mostrando una respuesta cuantitativa. Dicha disminución de TT se extendió desde FS1 (9:52) hasta FS3 (12:21) o FS4 (13:48) (según los genotipos). Entre FS3 y FS4 la respuesta al fotoperiodo se saturó y ya no hubo variación del TT ante un cambio en la cantidad de horas de luz incidente

(umbral fotoperiódico). En este sentido, Sorrells & Simmons (1992) definen a la avena como una planta de día largo; largos periodos de luz alternando con cortos periodos de oscuridad cada día, promueven la floración temprana en la mayoría de los genotipos.

Los genotipos de nuestro ensayo muestran variabilidad en el umbral fotoperiódico, con valores de saturación desde 12h 21' hasta 13h 11', siendo Maná (12:21) y L5 (12:41) quienes mostraron umbrales más bajos, seguidos de L1 y Gladiador que presentaron un umbral de 13:06, mientras que Tauro 13:11. Por último, no se pudo calcular el umbral para BioINTA 3005 ya que para el tratamiento 40 días en las FS4 y FS5 permaneció en estado vegetativo durante el periodo evaluado, no pudiendo medirse el TT de Em-Flor. En este sentido, Rawson (1971) menciona valores desde 12 a 16 horas como óptimos para fotoperiodo en trigo. Sin embargo, Miralles *et al.* (2007) indicaron que en un estudio realizado en la Cátedra de Cerealicultura de la Universidad de Buenos Aires, el valor de fotoperiodo crítico fue de 13,4 horas, no mostrando diferencias entre los materiales de trigo evaluados.

La regresión entre TT y FS fue significativa para la mayoría de los genotipos evaluados ($p < 0,1$), mostrando pendientes negativas en todos los genotipos. Además de ratificar que aumentos en la duración del día disminuyen el TT acumulado desde Em-Flor, las regresiones permitieron comparar la sensibilidad al fotoperiodo de los genotipos a través del análisis de las pendientes. Se observó variabilidad para la sensibilidad fotoperiódica, siendo L5 la de mayor pendiente (-6,89), seguida por Maná (-4,49) y L1 (-4,03). En el caso de los trigos, Klein Gladiador fue el genotipo con mayor pendiente (-3,99), seguida por Klein Tauro (-0,90), mientras que la pendiente de BioINTA3005 no se puede considerar porque la regresión no fue significativa. En este sentido, Major (1980) menciona que el rango de sensibilidad al fotoperiodo varía ampliamente entre los distintos

cultivares de trigo, siendo la respuesta generalmente cuantitativa, existiendo también cultivares insensibles.

Puede ocurrir, aunque excepcionalmente, que un genotipo no sea sensible ni a la vernalización ni al fotoperiodo. En estos casos y también cuando las respuestas a la vernalización y al fotoperiodo están saturadas, las posibles diferencias en el desarrollo entre los genotipos se deben a la precocidad intrínseca de cada uno de ellos (Flood & Halloran, 1984; Masle *et al.* 1989; Slafer, 1996). Los resultados de nuestro ensayo demuestran que existe variabilidad en la precocidad intrínseca de los genotipos. En avena, Maná fue el genotipo de menor precocidad (759,5 °Cdía), seguido por L5 (919 °Cdía) y por L1 (1018,5 °Cdía), mientras que en trigo, Tauro fue el de menor valor (992,9 °Cdía) seguido por Gladiador (1040,2 °Cdía). Miralles *et al.*, (2007) señalan que los valores de precocidad a floración, para cultivares argentinos de trigo, fueron de 829 y 907 °Cdía en promedio, para ciclos cortos y largos respectivamente.

Los resultados encontrados indican que todos los genotipos estudiados mostraron respuesta al fotoperiodo; y a excepción de la Línea L1, también presentaron algún requerimiento de vernalización. Una forma de pensar como es la respuesta global de los genotipos a los dichos factores ambientales es considerar a la tasa de desarrollo del cultivo como la suma de las tasas de desarrollo en respuesta a la vernalización y la tasa de desarrollo en respuesta al fotoperiodo. Por lo tanto, si las condiciones ya sea de fotoperiodo o vernalización son subóptimas, la tasa de desarrollo para el factor en cuestión será menor, repercutiendo finalmente sobre la tasa de desarrollo total. Por ello, si un genotipo que posee bajos requerimientos de vernalización es sembrado en junio, alcanzará rápidamente el umbral de vernalización adquiriendo una tasa de desarrollo máxima para este factor, aunque, el fotoperiodo durante el mes de junio es corto (<10h),

por lo que la tasa de desarrollo para fotoperiodo sería baja, retrasando en consecuencia el tiempo a antesis. Por lo tanto, este mecanismo le otorga a las plantas la capacidad de alterar su programa de desarrollo en respuesta a los estímulos ambientales, posicionando la floración en el momento en el que existe la mayor probabilidad de éxito.

Los resultados encontrados en el presente trabajo permiten no rechazar la hipótesis: ***“Los genotipos argentinos de avena evaluados se diferencian en sus requerimientos de vernalización y fotoperiodo, al igual que lo hacen los genotipos de trigo”.***

5. CONCLUSIONES

- Los genotipos argentinos de avena y trigo evaluados, muestran diferencias en los requerimientos de vernalización. La L1 demuestra ser insensible a la vernalización, mientras que Bonaerense INTA Maná y L5 poseen bajos requerimientos, con umbrales menores a 480 h de frío a 4 °C. Por su parte, los trigos Klein Gladiador y Klein Tauro también tienen requerimientos menores a 480 horas de frío a 4 °C, mientras que BioINTA 3005 requerimientos altos, con un umbral mayor a las 960 horas a 4°C.
- En una siembra para la ciudad de La Plata como es 2 de julio, las horas de frío del ambiente son suficientes para alcanzar el desarrollo, incluso en genotipos con altos requerimientos como BioINTA 3005.
- Los genotipos de avena y trigo estudiados a excepción de BioINTA 3005 (que aumento el TT por no satisfacer los requerimientos de vernalización en FS tardías) presentan una disminución significativa de TT en el periodo Em-Flor a medida que se desplaza la FS hacia fotoperiodos más largos hasta alcanzar el umbral, mostrando una respuesta cuantitativa.
- Genotipos que poseen altos requerimientos de vernalización como BioINTA 3005, retrasan significativamente la floración, si son sembrados lugares y fechas donde el ambiente no aporta horas de frío considerables, permaneciendo en estado vegetativo.
- Los genotipos estudiados presentan variabilidad para el umbral (con valores de saturación desde 12h 21' hasta 13h 11') y para la sensibilidad fotoperiódica. Las pendientes de sensibilidad varían de -6,9 a -0,9 siendo L5 la de mayor y Klein Tauro la de menor pendiente.

- Los resultados de nuestro ensayo demuestran que existe variabilidad en la precocidad intrínseca de los genotipos. Bonaerense INTA Maná es el genotipo con menor precocidad (759,5 °C Día), seguido por L5 (919 °C Día) y por L1 (1018,5 °C Día), mientras que en trigo, Klein Tauro es el de menor valor (992,9 °C Día) seguido por Klein Gladiador (1040,2 °C Día).
- Genotipos que poseen bajos requerimientos de vernalización, como L5; Bonaerense INTA Maná; Klein Tauro y Klein Gladiador sembrados en junio/julio, alcanzan rápidamente el umbral de vernalización, pero no el de fotoperiodo, que en esos meses es corto (<10h), en consecuencia retrasan el tiempo a antesis.

Bibliografía

- Alam S.M. & Adams W.A. 1979. Effects of aluminum on nutrient composition and yield of oats. *Journal of Plant Nutrition* 1:365-375.
- Bauer A., Fanning C., Enz J.W. & Everlein C.V. 1984. Use of growing degree days to determine spring wheat growth stages. *Cooperative Extensión Bulletin* 37. North Dakota State University, Fargo, ND, USA.
- Beratto M.E. & Rivas P.R. 2003. Calidad del grano de avena: Características y Parámetros de Comercialización. Chile. 9 pp.
- Bleken M.A. & Skjelvag A.O. 1986. The phenological development of oat (*Avena sativa* L.) cultivars as affected by temperature and photoperiod. *Acta Agric Scand* 36: 353–365.
- Cao W. & Moss D.N. 1989. Temperature effect on leaf appearance and phyllochron in wheat and barley. *Crop Science* 29: 1018-1021.
- Doroshenko A.V. & Razumov V.I. 1929. Fotoperiodizm neko-torykh kulturnykh form vsvyazisikh geograficheskim proisk-hozhdeniem. (Photoperiodism of some cultivated forms in connection with their geographical origin). *Works Appl Bot GenetPlant Breed* 22: 219–276.
- Evans L.T. 1993. Adaptation and the ecology of yield. En: *Crop Evolution, Adaptation and Yield*. Cambridge University Press, New York, NY. 116 pp.
- Fischer R.A. 1984. Simposium on potential productivity of field crops under different environments En: *Wheat*. W.H. Smith & S.J Banta (Ed). IRRI, Los Baños. pp. 129-153.
- Flood R.G. & Halloran G.M. 1984. Basic development rate in spring wheat. *Agronomy Journal* 76:260-264.
- Forjan H. & Manso L. 2015. El área ocupada por los cultivos de cosecha fina en la región. En *Actualización técnica en cultivos de cosecha fina 2014-2015*. Ed. INTA. 6-8pp. Disponible en http://www.maa.gba.gov.ar/2010/agricultura_ganaderia/archivos/INTA-MAA%20Barrow-CARPETA_COSECHA_FINA_2014-15. Última visita: 10/11/2018.
- Forsberg R.A. & Reeves D.L. 1995. Agronomy of oats. In: R.W. Welch, (Ed). *The oat crop: production and utilization*. Chapman and Hall, London, UK. 223-251pp.
- González F.G., Slafer G.A., & Miralles D.J. 2002. Vernalization and photoperiod responses in wheat pre-flowering reproductive phases. *Field Crops Research*, 74:183-195.
- Hay R.K. & Kirby E.J. 1991. Convergence and synchrony- a review of the coordination of development in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research* 42:661-700.
- Holland J.B., Moser H.S., O'Donoghue L.S. & Lee M. 1997. QTLs and epistasis associated with vernalization responses in oat. *Crop Science* 37:1306-1316
- Igartua E., Cuesta-Marcos A., Lasa J.M., Gracia M.P., Yahiaoui S, Molina-Cano J.L., Ciudad F.J. & Casas A.M. 2008. Fenología y adaptación de la cebada. En: *La adaptación al ambiente y los estreses abióticos en la mejora vegetal*. Junta de Andalucía, Dirección General de Planificación y Análisis de Mercados, Servicio de Publicaciones y Divulgación. Sevilla. 159-182pp.
- Kirby E.J. & Appleyard M. 1987. *Cereal development guide*. Stoneleigh, Kenilworth, UK, NAC Cereal Unit. 85pp

- Laurie D.A. 1997. Comparative genetics of flowering time. *Plant Molecular Biology* 35:167-177.
- Locatelli A.B., Federizzi L.C., Milach S.C. & McElroy A.R. 2008. Flowering time in oat: Genotype characterization for photoperiod and vernalization response. *Field Crops Research* 106: 242-247.
- Loskutov I. 2001. Influence of vernalization and photoperiod to the vegetation period of wild species of oats (*Avena spp.*). *Euphytica* 117:125-131.
- Major D.J. 1980. Photoperiod response characteristics controlling flowering of nine crop species. *Canadian Journal of Plant Science* 60:777-784.
- Masle J., Doussinault G. & Sun B. 1989. Response of wheat genotypes to temperature and photoperiod in natural conditions. *Crop Science* 29:712-721.
- Ministerio de Agroindustria 2017. Dirección de Estimaciones Agrícolas y Delegaciones. Disponible en: <https://datos.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones> .Último acceso: julio de 2018.
- Miralles D.J., Windauer L.B. & Gomez N.V. 2003. Factores que regulan el desarrollo de los cultivos de grano. En: Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. E. Satorre, *et al.* (Ed). Editorial Facultad de Agronomía UBA. 59-71pp.
- Miralles D. 2004. Consideraciones sobre ecofisiología y manejo de Trigo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina, Informe Técnico, 101pp.
- Miralles D., Serrago R. & Carretero R. 2007. Generación del rendimiento en trigo. En: Producción de trigo. E. Satorre *et al.* (Ed).1ª ed.- Buenos Aires: Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola.14-28 pp.
- Miralles D., González F., Abeledo L., Serrago R., Alzueta I. & García G. 2014. En: Manual de trigo y cebada para el Cono Sur: procesos fisiológicos y bases de manejo. 56 pp.
- Purvis O.N. 1961. The Physiological analysis of vernalization. *Encyclopedia of Plant Physiology* 16:76-122.
- Qualset C.O. & M.L. Peterson, 1978. Polymorphism for vernalization requirement in a winter oat cultivar. *Crop Science* 18:311-315.
- Rawson H.M. 1971. An upper limit for spikelet number per ear in wheat as controlled by photoperiod. *Australian Journal of Agricultural Research* 22:537-546.
- Sampson D.R. & Burrows V.D. 1972. Influence of photoperiod, short-day vernalization, and cold vernalization on days to heading in *Avena* species and cultivars. *Canadian Journal of Plant Science* 52:471-482
- Slafer G.A. & Rawson H.M. 1994. Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: a re-examination of some assumptions made by physiologists and modelers. *Australian Journal of Plant Physiology* 21:393-426.
- Slafer G.A. 1996. Differences in phasic development rate amongst wheat cultivars independent of responses to photoperiod and vernalization. A viewpoint of the intrinsic earliness hypothesis. *Journal of Agricultural Science* 126:403-419.

- Slafer G.A., Araus J.L. & Richards R.A. 1999. Physiological traits that increase the yield potential of wheat. En: Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination. E.H Satorre & G.A Slafer (Eds.). Food Product Press, New York. pp. 379-416.
- Slafer G.A., Abeledo L.G., Miralles D.J., González F.G. & Whitechurch E.M. 2001. Photoperiod sensitivity during stem elongation as an avenue to rise potential yield in wheat. En: "Wheat in a Global Environment". Z Bedo & L Láng (eds). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp. 487-496
- Shands H.L. & Cisar G.L., 1982. Avena. En: A.H. Halevy (ed.), CRC Handbook of Flowering, V.1, CRC Press, U.S.A.. 523-535 pp.
- Sorrels M.E. & Simmons S.R. 1992. Influence of environment on the development and adaptation of oat. En: Oat Science and Technology. H.G. Marshall & M.E. Sorrels (Ed.). American Society of Agronomy, Madison, WI. 115-163 pp.
- Stoskopf N.C. 1985. Cereal grain crops. Reston Publishing Company inc.
- Thomas B. & Vince Prue D. 1997. Photoperiodism in plants. Academic Press, New York, NY. 244 pp.
- Trevaskis B., Hemming M.N., Peacock W.J. & Dennis E.S. 2006. HvVRN2 Responds to daylength, whereas HvVRN1 is regulated by vernalization and developmental status. Plant Physiology 140: 1397-1405.
- Trione E.J. & Metzger R.J. 1970. Wheat and barley vernalization in a precise temperature gradient. Crop Sci. 10: 390-392.
- USDA, 2018. United States Department of Agriculture. Data & Analyses. Disponible en: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf> . Último acceso: julio 2018.
- Van Beem J., Mohler V., Lukman R., Van Ginkel M., William M., Crossa J. & Worland A.J. 2005. Analysis of Genetic Factors Influencing the Developmental Rate of Globally Important CIMMYT Wheat Cultivars. Crop Science 45:2113-2119.
- Wiggans S.C. & Frey K.J. 1955. Photoperiodism in oats. Proc Iowa Acad Sci 62: 125-130
- White J.W. & Laing D.R. 1989. Photoperiod response of flowering in diverse genotypes of common bean (*Phaseolus vulgaris*). Field Crops Research 22:113-128.
- Wight C.P., Penner G.A., O'Donoghue L.S., Burrows V.D., Molnar S.J. & Fedak G. 1994. The identification of random amplified polymorphic DNA markers for daylength insensitivity in oat. Genome 37:910-914.
- Zadoks J.C., Chang T.T & Konzak C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research 14: 415- 421.