

**CARACTERIZACIÓN FENOLÓGICA DE CULTIVARES MODERNOS DE CEBADA
CERVECERA (*Hordeum vulgare*) Y ANÁLISIS DE LA GENERACIÓN DEL
RENDIMIENTO Y LA CALIDAD COMERCIAL EN EL NORTE DE LA PROVINCIA DE
BUENOS AIRES.**

Tesina
del alumno

Mariano Jesús Cuda

Este trabajo ha sido presentado como requisito
para la obtención del título de

INGENIERO AGRÓNOMO

Carrera: Ingeniería Agronómica

Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales.
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.

**CARACTERIZACIÓN FENOLÓGICA DE CULTIVARES MODERNOS DE CEBADA
CERVECERA (*Hordeum vulgare*) Y ANÁLISIS DE LA GENERACIÓN DEL
RENDIMIENTO Y LA CALIDAD COMERCIAL EN EL NORTE DE LA PROVINCIA DE
BUENOS AIRES.**

Tesina
del alumno

MARIANO JESÚS CUDA

Aprobada por el Tribunal Evaluador de Tesina

Ing. Agr. Calzolari, A – Ing. Agr. Elustondo, L
Ing. Agr. Senigagliesi, C

Dra. Fernanda Gabriela González

Directora

Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales,
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires

1-Introducción

1-1 Importancia del cultivo

La producción de cebada ocupa el cuarto lugar en importancia dentro de los cereales a nivel mundial, luego del trigo, el maíz y el arroz. Los países productores por excelencia son los de la Unión Europea totalizando el 40% de la producción mundial. Le siguen en orden de importancia Rusia (11,5%), Canadá (9%) y Australia (7%) (<http://www.minagri.gob.ar>). El aporte del Mercosur a la producción mundial es cercano al 1%, siendo Argentina el país con mayor participación (55%), seguido de Brasil (28%) y Uruguay (17%). A diferencia de la producción mundial, el 95% de la producción del Mercosur es cebada cervecera.

La producción de cebada cervecera (*Hordeum vulgare L*) en Argentina ha crecido notablemente, llegando a superar las cinco millones de toneladas anuales (campaña 2012/13), generando importantes saldos para la exportación, tanto de malta como de granos de cebada (<http://www.minagri.gob.ar>). Más del 90% de la cebada cervecera de Argentina se produce en la Provincia de Buenos Aires, siendo el sur bonaerense la zona típica del cultivo, aportando el 40% de la producción. Por su parte la zona centro-norte de la provincia aporta el 30% de la producción nacional (<http://www.minagri.gob.ar>). Entre los factores que influenciaron el aumento de la superficie sembrada por este cultivo en el país se destacan la mayor demanda internacional y el menor ciclo de cultivo en comparación con otros cereales invernales. La mayor demanda se debe a que el consumo de cerveza ha crecido en forma importante en Latinoamérica y Argentina es actualmente el único país sudamericano en condiciones de acrecentar la superficie de siembra en forma inmediata. Por otro lado, los altos rendimientos del cultivo y los buenos precios de venta, sumado a la precocidad del ciclo, hacen que la cebada cervecera sea un excelente antecesor de soja, debido a que permite adelantar la fecha de siembra, en comparación con el

antecesor trigo. Estos factores sumados al aumento de la capacidad maltera instalada en el país en el sur de Santa Fé, propiciaron no sólo el incremento de la superficie de producción sino también su corrimiento hacia el Norte de la provincia de Buenos Aires, generando una demanda creciente de estudios que permitan optimizar el manejo en dicha zona para obtener altos rendimientos y adecuada calidad comercial.

1-2 Ciclo ontogénico y generación de rendimiento

Durante la ontogenia del cultivo de cebada existen distintos eventos de desarrollo que permiten subdividir el ciclo del cultivo en tres fases (Figura 1). Durante la fase vegetativa, el ápice diferencia principalmente primordios foliares y aproximadamente al aparecer la tercer o cuarta hoja, comienza la aparición de macollos desde la axila de la hoja más vieja. La dinámica de aparición de hojas y macollos es un proceso importante en el crecimiento de los cereales, particularmente durante las fases tempranas del desarrollo (Prystupa *et al.*, 2003), ya que está asociado a la capacidad del cultivo de interceptar radiación solar, la cual determina en gran parte el crecimiento y el rendimiento que luego obtendrá el cultivo (Abeledo *et al.*, 2004). La fase vegetativa finaliza con la iniciación de espiguillas en el ápice meristemático, apareciendo el doble lomo en el tercio medio de la espiga (Arisnabarreta y Miralles, 2004). A partir de aquí comienza la fase reproductiva, durante la cual el ápice diferencia primordios de espiguillas y de flores. Esta fase se extiende hasta la antesis del cultivo. Esta etapa es de gran complejidad e importancia ya que ocurren varias sub-etapas (*i.e* la iniciación de espiguillas y flores, el crecimiento de la espiga y la elongación del tallo) en la que se definen los principales componentes del rendimiento (Arisnabarreta y Miralles, 2006; 2008). Durante la fase inmediatamente previa a la espigazón se produce la superposición del activo crecimiento de la espiga y el tallo,

dando como resultado la muerte de primordios florales que habían sido previamente diferenciados (Arisnabarreta y Miralles, 2006). Al culminar esta etapa, queda fijado el número de espigas por unidad de área y el número de flores fértiles por espiga, siendo estos los principales componentes del rendimiento del cultivo de cebada. Por ello, el período crítico para la generación del número de granos (y rendimiento) en cebada (de 2 hileras) se ubica aproximadamente durante las 4 semanas previas a la aparición de las aristas (Arisnabarreta y Miralles, 2008). Luego de la espigazón comienza la fase de llenado de granos. Durante esta etapa se producen dos eventos de importancia (I) el cuaje y (II) el llenado efectivo de los granos (Alzueta *et al.*, 2008). Durante el primero se define el número de células endospermáticas del grano, quedando definido el potencial tamaño de los mismos. En ese momento, queda definido el número de granos por espiga. Durante la etapa de llenado efectivo, se acumula materia seca, se diferencian todas las estructuras vegetativas del embrión y se define el peso final de los granos (García del Moral *et al.*, 2002).

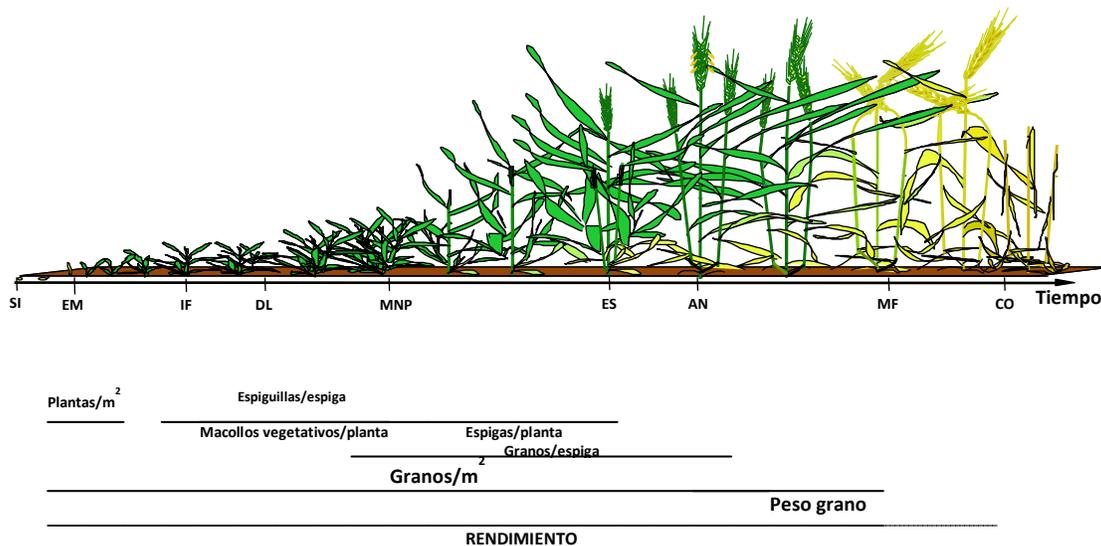


Figura 1: ciclo del cultivo de cebada, mostrando la generación de componentes numéricos de rendimiento. (modificado de Miralles *et al.* 2011)

1-3 Calidad comercial

La cebada cervecera es la principal materia prima para la elaboración de cerveza, ya que la malta (cebada germinada y tostada) es el insumo de mayor incidencia en el costo final de la misma. La malta se produce haciendo germinar, en forma controlada, los granos de cebada (<http://camaracervecera.com.ar>). Durante la germinación se sintetizan enzimas hidrolíticas, que luego se utilizarán para degradar el almidón, y se degrada o modifica la estructura de los granos (matriz proteica y paredes celulares). Cuando se considera que ambos procesos han llegado al estado deseado, se interrumpe la germinación mediante el secado de los granos. Para que el proceso de malteado sea eficiente, los granos deben contar con determinadas características que son exigidas por los compradores. Dentro de estas características se encuentran la capacidad germinativa mínima del 98%, el tamaño de granos o calibre (el 85% de los granos por arriba de la zaranda de 2,5 mm) y el valor de proteína de grano que debe oscilar entre 10 a 12% (con un máximo permitido de 13%) (<http://senasa.gov.ar>), debido a que un tenor mayor de proteína genera una fijación del almidón contenido en los granos y una menor eficiencia de conversión de malta a cerveza. Las principales variables de manejo que afectan el rendimiento, la proteína y el calibre bajo condiciones no limitantes de agua son la elección del cultivar, la fecha de siembra y la fertilización nitrogenada. La elección de una fecha de siembra tardía para un determinado cultivar puede exponer el llenado de grano a altas temperaturas provocando una disminución en la acumulación final de almidones, mientras que el contenido de proteína se mantiene estable, aumentando de esta forma el porcentaje de proteínas. Contar con información sobre la respuesta de la fenología de diferentes cultivares a variaciones en la fecha de siembra permite elegir la correcta fecha de siembra para cada cultivar de forma de obtener no sólo altos rendimientos potenciales sino también adecuada calidad comercial.

1-4 Factores que modifican la duración del ciclo

La duración de las fases de desarrollo en los cereales de invierno está regulada fundamentalmente por dos factores ambientales: el fotoperiodo y la temperatura (vernalización y efecto per se) (Slafer y Rawson, 1994, 1996; González *et al.*, 2005). La vernalización afecta el desarrollo del cultivo y su progreso hacia antesis a través de la necesidad de acumulación de horas de frío (en caso que la hubiese). Por otro lado el impacto de la temperatura “per se” determina el aumento de la tasa de desarrollo hasta un valor óptimo, por encima del cual la tasa comienza a disminuir (Slafer y Rawson, 1994; Miralles *et al.*, 2003), en esos momentos, el cultivo se encuentra en temperaturas supra óptimas. A diferencia de los efectos de la temperatura, el fotoperiodo regula el desarrollo desde la emergencia hasta la espigazón del cultivo (Miralles y Richards, 2000). Al igual que otros cereales de invierno, la cebada presenta una respuesta al fotoperiodo del tipo cuantitativa de día largo, al incrementarse el fotoperiodo, la duración de las fases de desarrollo disminuyen, hasta alcanzar el fotoperiodo umbral, por encima del cual la duración es mínima (García del Moral *et al.*, 2002). Bajo condiciones de campo, donde la temperatura y el fotoperíodo varían en forma conjunta, la duración de ciclo se estudia utilizando el modelo de tiempo térmico, i.e. sumando la temperatura media diaria por encima de una temperatura base entre dos eventos fenológicos.

Al variar las fechas de siembra, tanto el fotoperíodo como la temperatura varían, modificando en distinta magnitud el ciclo del cultivo y sus etapas y afectando de esta forma la generación de componentes del rendimiento. Por otro lado, al variar la duración del ciclo posicionan el período crítico de generación de rendimiento bajo distinta oferta de recursos ambientales (principalmente relación radiación/temperatura, bajo condiciones no limitantes de agua) y expone el período de llenado de grano a diferente temperatura, lo

cual modifica el peso y calibre de los granos. Estas variantes en peso se traducen en variaciones en el porcentaje de proteína. Por ello, comprender la respuesta de estas características a las variaciones en la fecha de siembra en la zona norte de Buenos Aires es de gran importancia para elegir la fecha de siembra correcta y optimizar el rendimiento y la calidad comercial del cultivo.

2-Objetivo General

Caracterizar la fenología de cultivares modernos de cebada cervecera en la zona norte de Buenos Aires ante variaciones en la fecha de siembra y determinar su impacto en el rendimiento potencial (con ausencia de déficit nutricionales e hídricos) y la calidad comercial.

3-Objetivos Específicos

Los objetivos específicos consisten en caracterizar en cultivares modernos de cebada cervecera ante variaciones en la fecha de siembra:

- 1) La duración del ciclo del cultivo y sus etapas intermedias (inicio de encañazón, aparición de aristas y espigazón), estimando la respuesta del tiempo a espigazón (tiempo térmico) al fotoperíodo.
- 2) El rendimiento potencial y sus componentes numéricos (número y peso de granos) y ecofisiológicos (biomasa total e índice de cosecha).
- 3) La calidad comercial: calibre y proteína.

4-Hipótesis

- 1) Al atrasar la fecha de siembra los cultivares reducen la duración de su ciclo a espigazón (y sus etapas intermedias) (en días) no solo por un efecto de incremento de la temperatura sino también debido a su sensibilidad al fotoperíodo (al disminuir el tiempo térmico entre emergencia y espigazón).
- 2) Al atrasar la fecha de siembra el rendimiento potencial disminuye como consecuencia de una caída en el número de granos/m² y en el peso de los granos. Dentro de los componentes ecofisiológicos, la biomasa total producida disminuye más que el índice de cosecha (IC).
- 3) Ante atrasos en la fecha de siembra el calibre disminuye por caídas en el peso de grano, pero el porcentaje de proteína aumenta.

5- Materiales y métodos.

5-1 Condiciones generales, tratamientos y diseño

Los experimentos se realizaron en el campo experimental de la EEA Pergamino, INTA, bajo riego por aspersión (pivot de riego). Se realizaron 5 fechas de siembra. Las mismas fueron los días 18 de mayo (FS1), 15 de junio (FS2), 5 de julio (FS3), 30 de julio (FS4) y 20 de agosto (FS5) de 2010. Para las tres primeras fechas la densidad objetivo fue de 250 pl/m², mientras que para las dos últimas fechas se aumentó a 300 pl/m². Se utilizaron 4 cultivares de cebada cervecera de diferentes criaderos: Scarlet, Carisma, Shakira y MP2122. Dentro de cada fecha se utilizó un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones. Las parcelas realizadas contaban con 5 surcos de ancho (a 20 cm de distancia entre las líneas de siembra) por 5 metros de largo. Previo a la siembra se tomaron muestras de suelo de 0-60 cm para determinar su fertilidad. En base a ello, se aplicaron a la siembra 50 kg/ha de Superfosfato Triple de calcio (48P-15Ca), y se agregó al voleo en inicio de macollaje Urea para llevar el contenido de N del suelo a 130 Kg/ha. Las plagas, malezas y enfermedad fueron prevenidas con tratamientos preventivos.

5-2 Mediciones y análisis

En cada parcela se registraron las fecha de emergencia, aparición del primer nudo (inicio de encañazón), aparición de aristas y espigazón. La aparición del primer nudo, momento este en el que se inicia la encañazón, se observó realizando una presión suave sobre el falso tallo hasta poder palpar la protuberancia del primer nudo a unos 3 cm de la superficie del suelo. El momento en el que el 50% de las plantas palpadas (20 plantas por parcela al azar) se encontraron en este estado fenológico se tomó como la fecha de aparición del primer nudo. Para la aparición de aristas y espigazón, la fecha se registró cuando el 50% de las plantas de la parcela se encontraron en dicho estado.

Cómo método preventivo se colocaron jaulas anti pájaros en todos los materiales, en cada una de las repeticiones, para evitar el consumo de los granos. El material MP 2122 fue atacado de igual manera, por esa razón no se presentan los datos de rendimiento de este cultivar.

Una vez alcanzado el momento de madurez de cosecha de cada uno de los materiales, se procedió al corte del mismo al ras del suelo de 3 surcos centrales de la parcela. Dichos cortes se separaron en espigas y resto de la biomasa para estimar el IC, el rendimiento y la biomasa total producida. El número de granos se estimó a partir del peso de mil granos, que se midió en muestras de 3 gramos con un contador automático (Contador Pffuefer). En los granos trillados se realizó la medición del calibre (zaranda Sortimat-Pfeuffer) y la proteína en grano (NIR, Near Infrared Reflectance).

Para estudiar el efecto de los cultivares y la fecha de siembra se realizó ANVA y el test de comparación de medias de Tukey con $p < 0,05$ utilizando el programa Infostat/P (Di Rienzo *et al.*, 2010). Las relaciones entre las variables estudiadas y las fechas de siembra se estudiaron a través de regresiones, utilizando el mismo programa estadístico.

6- Resultados y Discusión

6-1 Duración del ciclo a espigazón y etapas intermedias

6-1-1 Fechas de espigazón y días calendario

La fecha de espigazón osciló entre el 30 de setiembre y 4 de octubre para la FS1, y entre el 29 de octubre y 8 de noviembre para la FS5 (Tabla 1). De acuerdo a lo esperado, la duración de la etapa de emergencia a espigazón expresada en días calendarios se redujo en todos los cultivares al atrasar la fecha de siembra. Carisma presentó una diferencia de 71 (± 3) días en su ciclo a espigazón entre la FS1 y FS5 siendo el material que mayor reducción del ciclo registró. En caso contrario el cultivar Shakira fue el que menor diferencia en días calendario tuvo entre la FS1 y FS5, con 61 (± 1) días de reducción de la etapa (Tabla 2). El rango de variación en días de espigazón por cada día de atraso en la fecha de siembra osciló entre 0,79 y 0,68, siendo los cultivares extremos Carisma y Shakira, respectivamente (Tabla 3).

Tabla 1 Fecha calendario de espigazón para los diferentes cultivares para cada una de las fechas de siembra. Media \pm desvío estándar.

Cultivar	Fecha de siembra				
	FS1 18/05/10	FS2 15/06/10	FS3 05/07/10	FS4 30/07/10	FS5 20/08/10
Carisma	30 /09 \pm 1	12 /10 \pm 0	19/10 \pm 1	26/10 \pm 2	29/10 \pm 3
Shakira	30/09 \pm 1	08/10 \pm 2	15/10 \pm 0	28/10 \pm 0	06/11 \pm 0
Scarlet	04/10 \pm 0	12/10 \pm 0	19/10 \pm 0	31/10 \pm 1	08/11 \pm 0
MP 2122	30/09 \pm 0	08/10 \pm 0	12/10 \pm 1	22/10 \pm 0	28/10 \pm 0

Tabla 2. Días calendarios, desde emergencia hasta espigazón para los diferentes cultivares para cada una de las fechas de siembra. Media \pm desvío estándar.

Cultivar	Fecha de siembra				
	FS1 18/05/10	FS2 15/06/10	FS3 05/07/10	FS4 30/07/10	FS5 20/08/10
Carisma	130 \pm 1	108 \pm 0	85 \pm 1	67 \pm 2	59 \pm 2
Shakira	127 \pm 1	105 \pm 1	81 \pm 0	69 \pm 0	66 \pm 0
Scarlet	131 \pm 0	108 \pm 0	85 \pm 0	73 \pm 1	68 \pm 0
MP 2122	127 \pm 0	104 \pm 0	78 \pm 1	63 \pm 0	57 \pm 0

Tabla 3. Días de cambio en la fecha de espigazón por cada día de retraso en la fecha de siembra (Pendiente, Media \pm error), coeficiente de regresión (r^2) y significancia estadística (valor p) para la regresión entre días emergencia-espigazón vs fecha de siembra.

Cultivar	Pendiente	r^2	Valor p
Carisma	0,79 \pm 0,07	0,97	0,0013
Shakira	0,68 \pm 0,10	0,92	0,0069
Scarlet	0,69 \pm 0,09	0,93	0,0050
MP 2122	0,78 \pm 0,09	0,95	0,0036

6-1-2 Duración en Tiempo térmico

La duración de la etapa desde emergencia a espigazón se redujo en forma similar para todos los cultivares a medida que se atrasó la fecha de siembra desde la FS1 hasta la FS3 (Tabla 4, Figura 2). A partir de la FS3 los cultivares tuvieron diferente respuesta. Carisma redujo su ciclo con una tendencia similar a las dos primeras fechas de siembra, en cambio los cultivares Shakira y Scarlet, en la FS4 y FS5 no modificaron su requerimiento térmico. Por último MP2122 redujo sus requerimientos térmicos a menor escala en las FS4 y FS5, comparado con la FS1 y FS2.

Tabla 4. Tiempo térmico desde emergencia a espigazón para cada fecha de siembra. Letras diferentes entre fechas de siembra dentro de cultivar indican diferencias significativas.

Cultivar	FS 1		FS 2		FS 3		FS 4		FS 5	
Carisma	1337,62	A	1147,15	B	999,76	C	993,01	D	866,93	E
Shakira	1312,39	A	1092,33	B	947,46	D	968,74	CD	987,73	C
Scarlet	1359,58	A	1148,53	B	1006,27	D	1026,94	C	1027,5	C
MP 2122	1296,71	A	1081,65	B	909,18	C	870,63	D	823,74	E

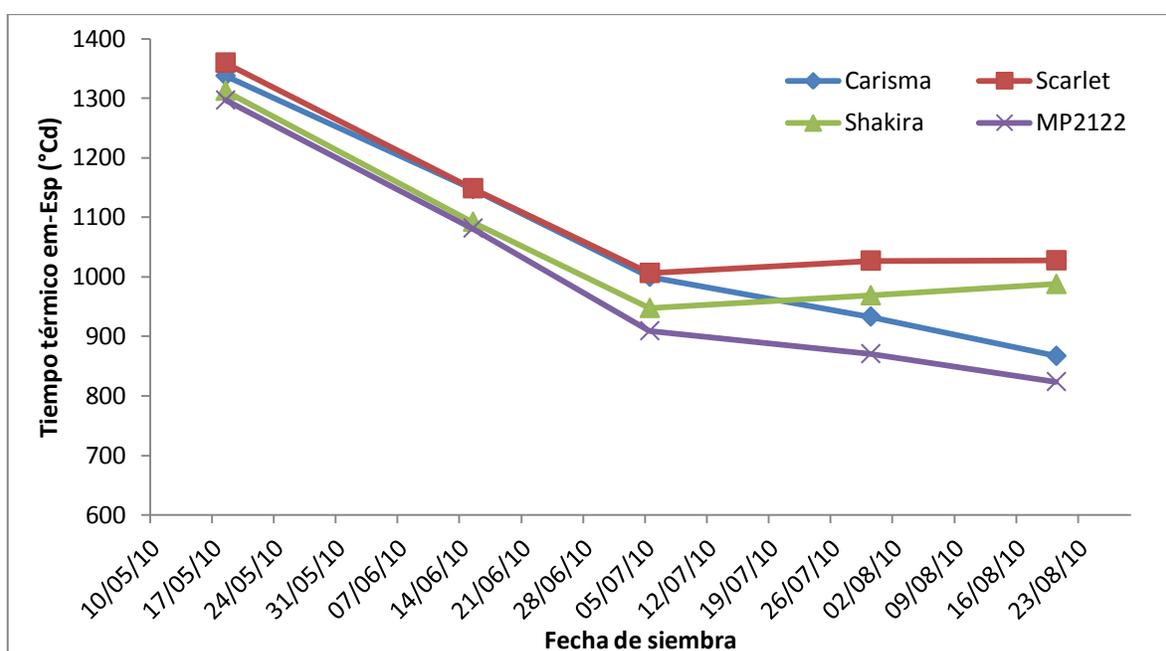


Figura 2. Tiempo térmico desde emergencia hasta espigazón (°Cd) en función de la fecha de siembra.

Estos cambios en la duración emergencia-espigazón que se produjeron al modificar la fecha de siembra estuvieron asociados principalmente a cambios en la duración emergencia -primer nudo y en menor medida primer nudo –aparición de aristas (Figura 3). En la etapa comprendida desde la emergencia hasta la aparición del primer nudo, se observó una marcada diferencia entre las distintas fecha de siembra, reduciéndose significativamente ($P > 0.05$) entre las FS1 (18 de mayo), la FS2 (15 de junio) y la FS3 (15

de Julio). A partir de esta fecha, la reducción de la etapa no es significativa ($P < 0.05$) en la mayoría de los cultivares (Figura 3). Si bien los cultivares mostraron un patrón general de reducción de la etapa al atrasar la fecha de siembra, los mismos difirieron en la duración de la misma. Para la primer fecha de siembra el cultivar Scarlet fue el de mayor duración, requiriendo 841,6 °Cd para alcanzar el primer nudo visible, mientras que MP 2122 fue el cultivar que menor tiempo térmico requirió para alcanzar dicho estado (707,3 °Cd). La quinta fecha de siembra fue la que requirió menor sumatoria térmica para alcanzar el estado de primer nudo desde la emergencia, independientemente del cultivar. Nuevamente Scarlet fue el cultivar más largo, requiriendo 564,6 °Cd para alcanzar este estado, mientras que MP2122 fue el cultivar de menor requerimiento térmico con ca. 416,8 °Cd. Para esta misma etapa Carisma y Shakira presentaron un requerimiento intermedio de ca. 510,9°Cd. Durante la etapa primer nudo-aparición de aristas, se observó una menor diferencia en los requerimientos térmicos para las diferentes fechas de siembra dentro de cada cultivar. Por ejemplo ni Scarlet ni Shakira, mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en esta etapa para ninguna de sus fechas de siembra. En forma contraria, el cultivar MP 2122, registró la mayor diferencia en sumatoria de tiempo térmico entre la primera fecha de siembra y la última, con una reducción de 131,1 °Cd. Por su parte Carisma redujo 113,7 °Cd la duración de la etapa entre la primera y la tercera fecha de siembra (menor valor registrado para el cultivar), a partir de la cual no se observó diferencia significativa ($P < 0.05$). Si bien se observaron respuestas significativas de la etapa aparición de aristas-espigazón a la fecha de siembra en Shakira, Scarlet y MP2122, su contribución a la duración del ciclo a espigazón fue escaso, dado la corta duración de esta etapa.

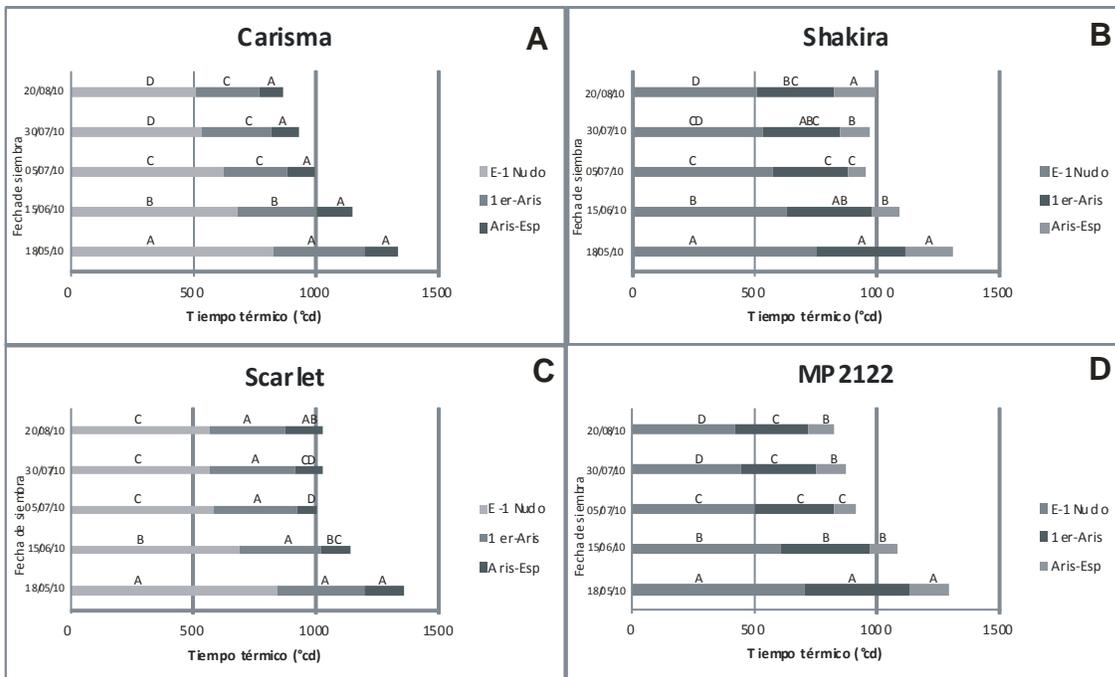


Figura 3. Duración en tiempo térmico (°Cd) de las sub-etapas emergencia-primero nudo (E-1er), primer nudo-aparición de aristas (1er-Aris), aparición de aristas-espigazón (Aris-Esp), para los cultivares (A) Carisma, (B) Shakira, (C) Scarlet, (D) MP2122. Dentro de cada sub-etapa, letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre fechas de siembra dentro de cada cultivar.

6-1-3 Sensibilidad fotoperiódica de los cultivares estudiados.

La relación entre la duración de la etapa de emergencia-espigazón (expresada en tiempo térmico) y el fotoperiodo promedio explorado durante esta etapa mostró relaciones del tipo lineales o bi-lineales dependiendo del cultivar (Figura 4). En lo que respecta a Carisma (Figura 4), el mismo no presentó un fotoperiodo umbral para las fechas de siembra realizadas en este ensayo, debido a esto la representación de los requerimientos en tiempo térmico de emergencia-espigazón en función del fotoperiodo generan una relación lineal. El cultivar Shakira, Scarlet y MP2122 redujeron sus requerimientos térmicos hasta alcanzar el fotoperiodo umbral (Figura 4). Para estos cultivares el fotoperiodo umbral fue similar y cercano a 12 horas (Tabla 5). En el caso de Carisma, el mismo no pudo evidenciarse en este ensayo, por lo que suponemos que el mismo se encuentra por

encima de las 13,34 horas de fotoperiodo promedio. Shakira fue el cultivar que presentó mayor sensibilidad fotoperiódica disminuyendo sus requerimientos térmicos desde emergencia a espigazón en 611,28 °Cd por cada hora de incremento en el fotoperiodo, hasta alcanzar el fotoperiodo umbral ubicado en $12,12 \pm 0,06$ horas; MP 2122 ocupó el segundo lugar con una reducción en sus requerimientos térmicos de 597,39 °Cd por cada hora de incremento en el fotoperiodo hasta el valor de 12,26 horas, donde alcanza el fotoperiodo umbral. Por su parte el cultivar Scarlet redujo la etapa 570,04 °Cd por cada hora de incremento del fotoperiodo hasta el valor umbral del mismo ubicado en 12,20 horas, a partir del cual permanece constante. La precocidad intrínseca (o mínima duración de la etapa) difirió entre los cultivares, siendo Scarlet más largo que Shakira y éstos a su vez más largos que MP2122 (Figura 4). El material con menor sensibilidad fotoperiódica en este ensayo fue Carisma, con una reducción de 251,74 °Cd por cada hora que se incrementó el fotoperiodo, no registrándose un valor de fotoperiodo umbral por debajo de las 13,34 horas. Los valores de sensibilidad al fotoperíodo observados en la presente tesis son mayores en general a los reportados previamente por Alzueta et al. (2008) quien estudió la respuesta a fotoperiodo en otros cultivares de cebada. En cambio, los rangos de fotoperíodo umbral y precocidad intrínseca son similares a los reportados por Alzueta et al. (2008).

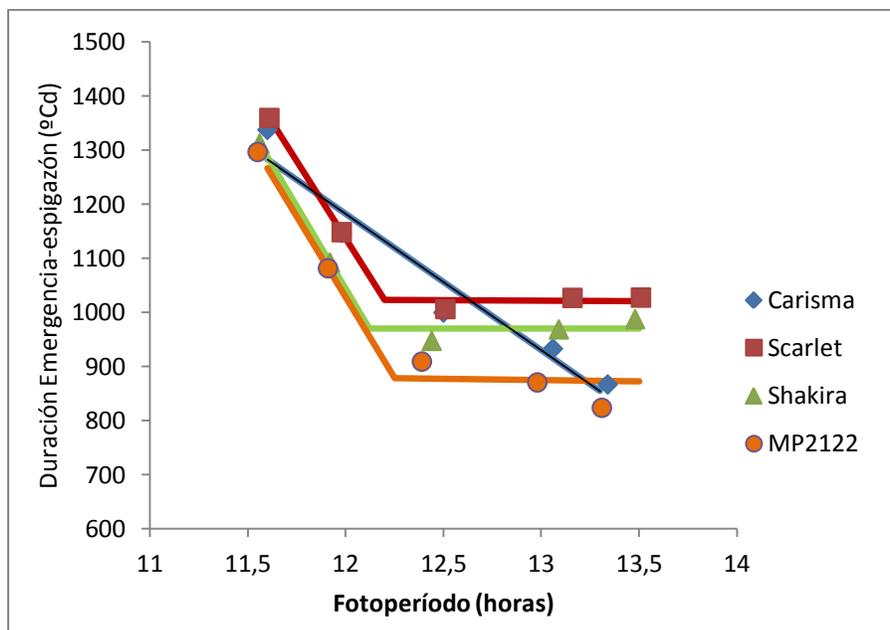


Figura 4. Relación entre la duración de la etapa de emergencia a espigazón ($^{\circ}\text{Cd}$) y el fotoperíodo promedio calculado para la misma etapa (horas), para los cultivares Carisma, Shakira, Scarlet y MP 2122.

Tabla 5. Sensibilidad fotoperiódica, fotoperíodo umbral y coeficiente de regresión (r^2) para cuatro cultivares, Carisma, Shakira, Scarlet y MP 2122. Medias \pm error estándar. Todas las regresiones $P < 0,05$.

Cultivar	Sensibilidad fotoperiódica	Fotoperíodo umbral	r^2
Carisma	$-251,7 \pm 36,9$		0,8785
Shakira	$-611,2 \pm 79,14$	$12,1 \pm 0,06$	0,9642
Scarlet	$-570,4 \pm 46,2$	$12,2 \pm 0,04$	0,9867
MP 2122	$-597,3 \pm 168,0$	$12,2 \pm 0,16$	0,9028

6-2 Rendimiento

El rendimiento de grano (expresado en g/m^2) fue disminuyendo a medida que se atrasó la fecha de siembra (Figura 5), registrándose los mayores rendimientos en la fecha de siembra del día 18 de mayo con un promedio general en $880\text{g}/\text{m}^2$ (Tabla 6). Carisma obtuvo el mayor rendimiento con $930\text{g}/\text{m}^2$. Estos rendimientos fueron posibles debido a

que no ocurrieron heladas tardías. La caída más importante en el rendimiento se dio entre la FS 1 y FS 2, siendo esta en promedio de 186,81 g/m². Luego esta diferencia de rendimiento se vuelve menos importante. Entre la FS 2 y la FS 5 la diferencia promedio de rendimiento es de 85,59 g/m². En promedio entre la FS1 y la FS5, la caída del rendimiento fue de 2,77 g/m² por cada día de atraso de la fecha de siembra (Tabla 7). En la localidad de 9 de Julio, con los mismos cultivares, se encontró una reducción de 2,98 g/m² por cada día de retraso en el fecha de siembra (Ventimiglia *et al.*,2012).

Tabla 6. Rendimientos en cada una de las fecha de siembra para tres cultivares (Carisma, Shakira y Scarlet). Letras diferentes expresan diferencia significativa entre fechas de siembra dentro del mismo cultivar. CV corresponde a coeficiente de variación dentro de un mismo cultivar.

Cultivar	Rendimiento de grano (g/m ²)										CV
	18/05/10		15/06/10		05/07/10		30/07/10		20/08/10		%
Carisma	930,5	A	711,5	B	703,5	B	663,5	B	598,1	B	7,78
Shakira	893,5	A	699,1	B	671,3	B	634,8	B	631,9	B	7,31
Scarlet	817,3	A	670,3	A	646,3	A	636,1	A	595,2	A	6,37

Tabla 7. Caída del rendimiento de granos (g/m² día) por día de atraso en la fecha de siembra (Media ± error estándar) para tres cultivares (Carisma, Shakira, Scarlet), coeficiente de regresión (r²) y significancia estadística de la regresión (valor p).

Cultivar	Caída del rendimiento por atraso en la fecha de siembra (g/m ² día)	r ²	Valor p
Carisma	3,12 ± 0,78	0,79	0,0278
Shakira	2,58 ± 0,81	0,70	0,0497
Scarlet	2,57 ± 0,82	0,69	0,0511

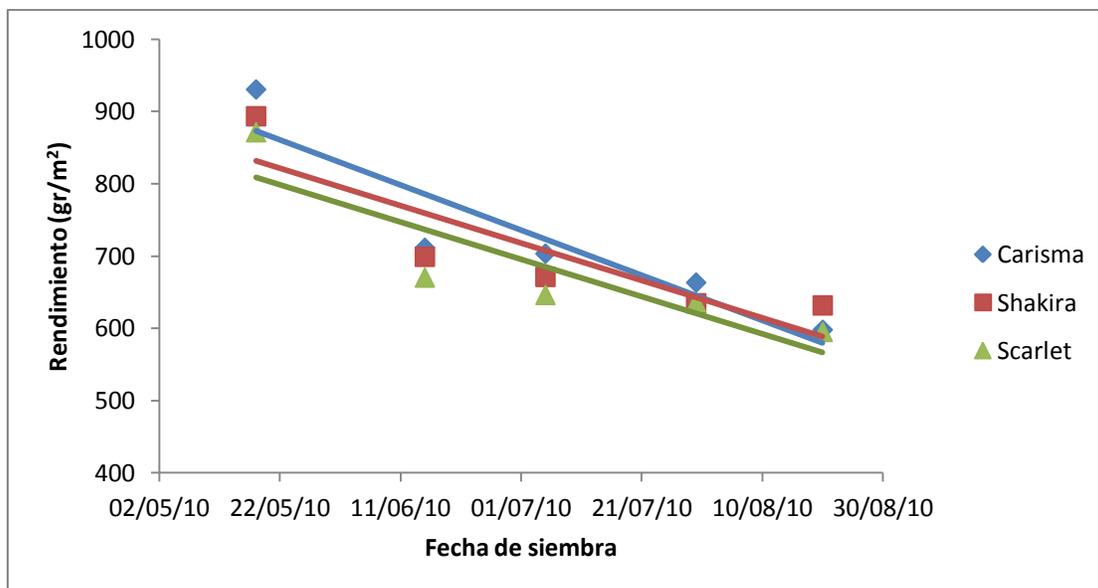


Figura 5. Relación entre el rendimiento (g/m^2) y la fecha de siembra para tres cultivares (Carisma, Shakira y Scarlet) y sus respectivas rectas de regresión.

De acuerdo a lo esperado, el número de granos/ m^2 mostró una respuesta similar del rendimiento, con grandes caídas entre la FS1 y FS2, y partir de allí con escasas diferencias (Tabla 8). El número de granos/ m^2 explicó entre el 99 y el 86% de las variaciones observadas en rendimiento entre fechas de siembra.

Tabla 8. Número de granos/ m^2 para cada una de las fechas de siembra. Letras diferentes expresan diferencia significativa entre fechas de siembra dentro del mismo cultivar. CV corresponde a coeficiente de variación dentro de un mismo cultivar.

Cultivar	FS 1		FS 2		FS 3		FS 4		FS 5		CV (%)
Carisma	23264	A	16489	B	16360	B	14659	B	12942	B	10,05
Shakira	18769	A	16168	AB	14169	AB	14763	B	13362	B	9,96
Scarlet	20738	A	16512	B	16323	B	16037	B	14506	B	6,03

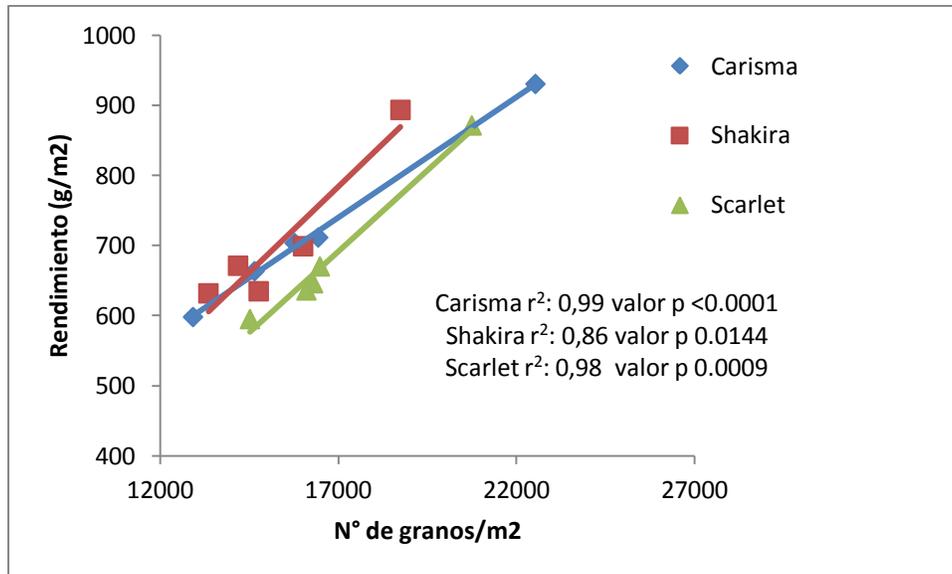


Figura 6. Relación entre el rendimiento (g/m^2) y el número de granos/ m^2 y sus respectivas rectas de regresión.

En forma contraria, el peso de mil granos no se modificó en forma estadística al variar la fecha de siembra (Tabla 9).

Tabla 9. Peso de mil granos. Letras diferentes expresan diferencia significativa ($P < 0.05$) entre fechas de siembra dentro del mismo cultivar.

Cultivar	Peso de mil granos (g)									
	FS 1		FS 2		FS 3		FS 4		FS 5	
Carisma	41.33	A	43.33	A	44.67	A	45.33	A	46.33	A
Shakira	47.67	A	43.67	A	47.33	A	43.00	A	47.33	A
Scarlet	42.00	A	40.67	A	39.67	A	39.50	A	41.00	A

En relación a la producción de biomasa e índice de cosecha, las variaciones en rendimiento estuvieron altamente asociadas a las variaciones en la producción de biomasa en los tres cultivares (Figura 7), la cual presentó una marcada diferencia entre la FS1 y las restantes (Tabla 10).

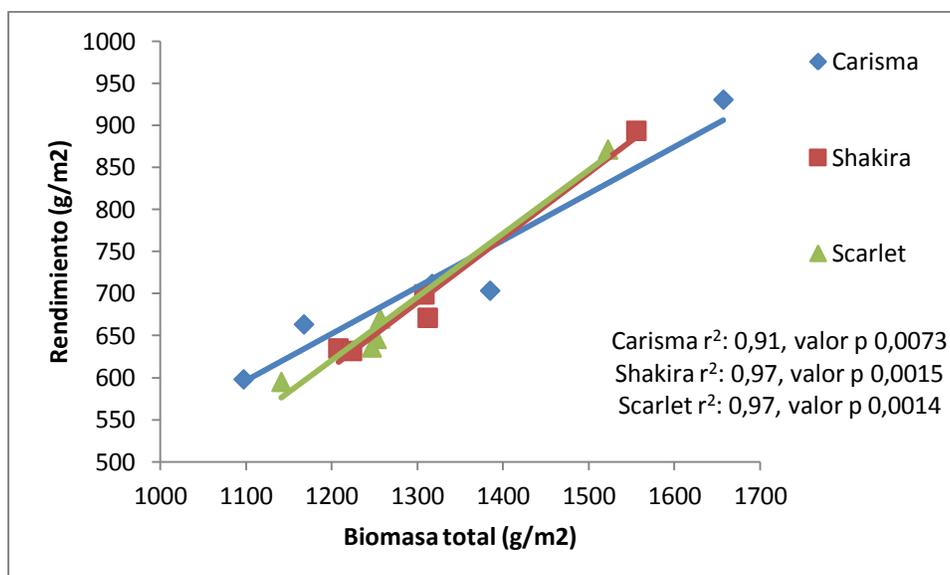


Figura 7. Relación entre el rendimiento de granos (g/m^2) y la biomasa total (g/m^2) para los cultivares Carisma, Shakira y Scarlet y sus correspondientes líneas de regresión

Tabla 10. Biomasa total (g/m^2) para las cinco fechas de siembra, Letras diferentes entre fechas de siembra dentro de cultivar indican diferencias significativas.

Cultivar	FS 1		FS 2		FS 3		FS 4		FS 5		CV (%)
Carisma	1657,6	A	1317,3	B	1385,0	AB	1167,7	B	1097,3	B	7,3
Shakira	1555,6	A	1308,2	AB	1312,1	AB	1207,8	B	1223,7	B	7,7
Scarlet	1522,6	A	1256,7	B	1252,5	B	1246,8	B	1141,4	B	7,7

El índice de cosecha varió muy poco, siendo mayor en la primera fecha de siembra en la mayoría de los cultivares, y posterior a ésta, los valores no difirieron significativamente (Tabla 11). A pesar de esta escasa variación, el índice de cosecha explicó entre un 80-89% de la variación observada en rendimiento en Shakira y Scarlet (Figura 8).

Tabla 11. Índice de cosecha (%) para las cinco fechas de siembra y el coeficiente de variación (CV). Letras diferentes expresan diferencia significativa entre fechas de siembra dentro del mismo cultivar.

Cultivar	Índice de cosecha (%)										CV (%)
	FS 1		FS 2		FS 3		FS 4		FS 5		
Carisma	56,1	A	53,9	A	50,8	A	56,8	A	54,8	A	4,66
Shakira	56,8	A	52,7	AB	50,3	B	51,4	AB	50,6	B	4,18
Scarlet	57,0	A	52,6	B	51,0	B	50,0	B	51,7	B	2,91

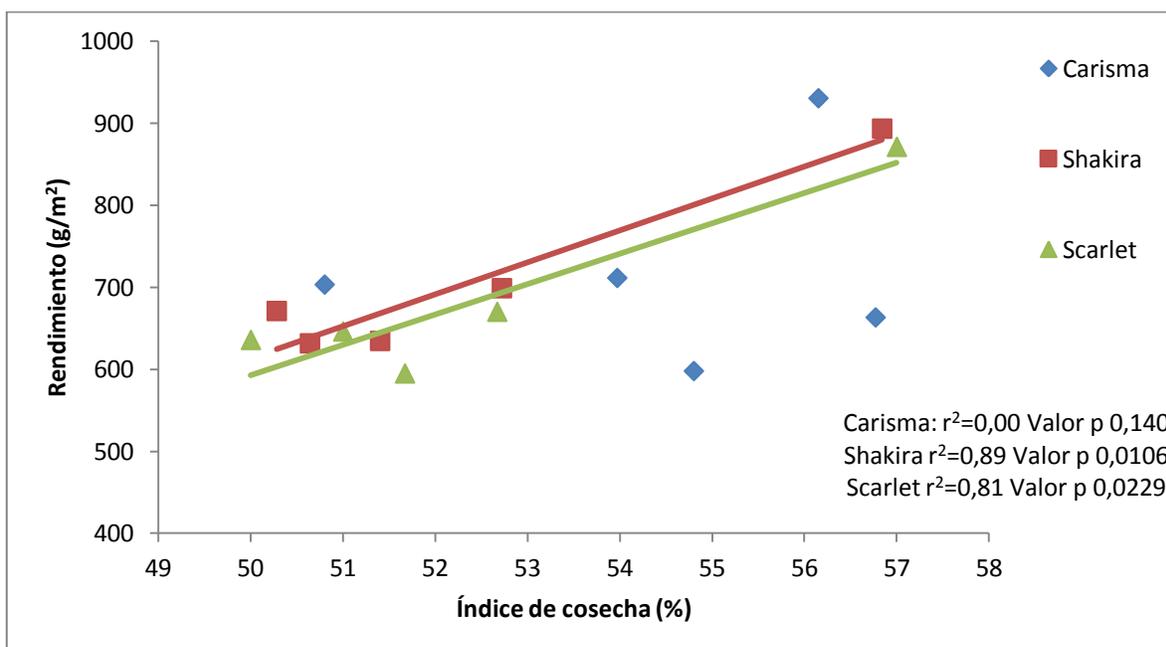


Figura 8. Relación entre el rendimiento (g/m^2) y el índice de cosecha (%) para tres cultivares (Carisma, Shakira y Scarlet) y sus respectivas regresiones lineales.

6-3 Calibre

En lo que respecta al calibre, determinado como porcentaje de granos que se quedan sobre la zaranda de 2,5 mm, todos los materiales en todas las fechas de siembra, dieron por resultado un valor mayor al exigido en los contratos de compra de cebada para la producción de malta. El mínimo requerido es del 85% por encima de la zaranda de 2,5. En

este ensayo el valor más bajo fue del 88,3% para el cultivar Scarlet (Tabla 12). En ningún caso el calibre se modificó significativamente por atraso en la fecha de siembra.

Tabla 12. Calibre (%), para cada una de las fechas de siembra para tres cultivares (Carisma, Shakira y Scarlet). Letras distintas entre fechas de siembra indican diferencias significativas dentro de cada cultivar.

Cultivar	Calibre (%)									
	FS 1		FS 2		FS 3		FS 4		FS 5	
Carisma	92,37	A	94,90	A	94,97	A	95,03	A	96,37	A
Shakira	95,93	A	93,43	A	95,27	A	91,20	A	96,17	A
Scarlet	93,00	A	93,73	A	91,63	A	88,25	A	93,03	A

Si bien el calibre no difirió entre fechas de siembra, sí se pudo observar una relación positiva entre el calibre y el peso de mil granos en Carisma y Shakira, a pesar de las escasas variaciones observadas en peso de mil granos (Figura 9).

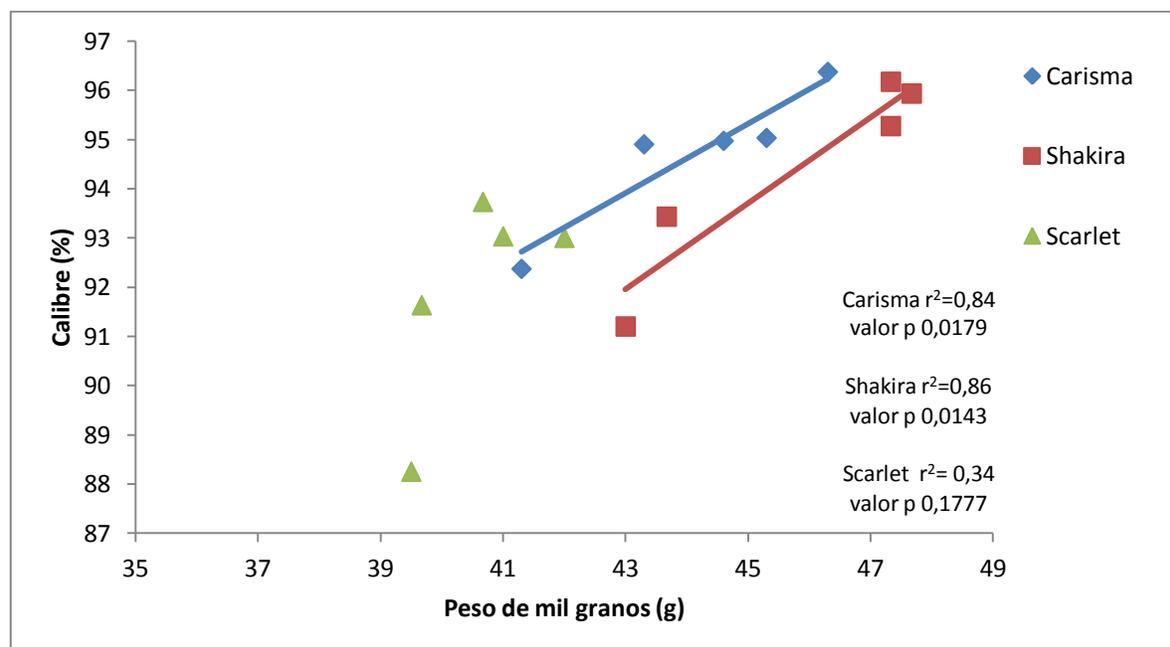


Figura 9. Calibre (%) en función del peso de mil granos (g) para tres cultivares (Carisma, Shakira y Scarlet) y sus respectivas rectas de regresión.

6-4 Porcentaje de proteína

El porcentaje de proteína osciló entre 8,9 y 10,7 entre fechas de siembras y cultivares. En general a medida que se atrasó la fecha de siembra el porcentaje de proteína aumentó (Tabla 13, Figura 10).

Tabla 13. Porcentaje de proteína de grano para Carisma, Shakira y Scarlet para cinco fechas de siembra y coeficiente de variación dentro de cultivar. Letras diferentes expresan diferencia significativa entre fechas de siembra dentro del mismo cultivar.

Cultivar	FS 1		FS 2		FS 3		FS 4		FS 5		CV (%)
Carisma	8,9	A	9,4	A	10,7	A	10,0	A	10,2	A	4,66
Shakira	8,9	B	9,6	AB	10,2	AB	10,4	A	10,7	A	4,18
Scarlet	9,2	B	9,3	B	10,2	AB	10,9	A	10,6	AB	2,91

Esta respuesta del porcentaje de proteína estuvo asociada a la reducción del rendimiento de grano a medida que se atrasó la fecha de siembra (Figura 10), lo cual produce que haya un mismo nivel de nitrógeno para una menor cantidad de granos, generando un aumento en el contenido proteico de los mismos. La pérdida de porcentaje de proteína por incremento de rendimiento osciló entre 0,0061 y 0,0040% (Tabla 14).

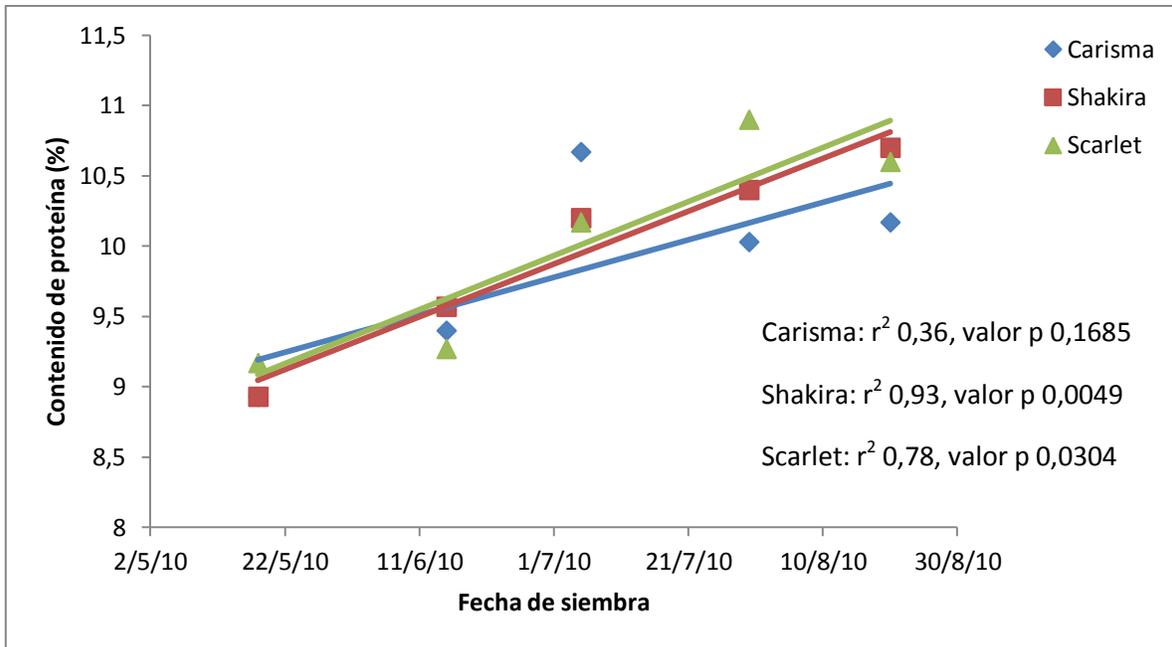


Figura 10. Relación entre el contenido de proteína en el grano (%) y la fecha de siembra para tres cultivares (Carisma, Shakira y Scarlet).

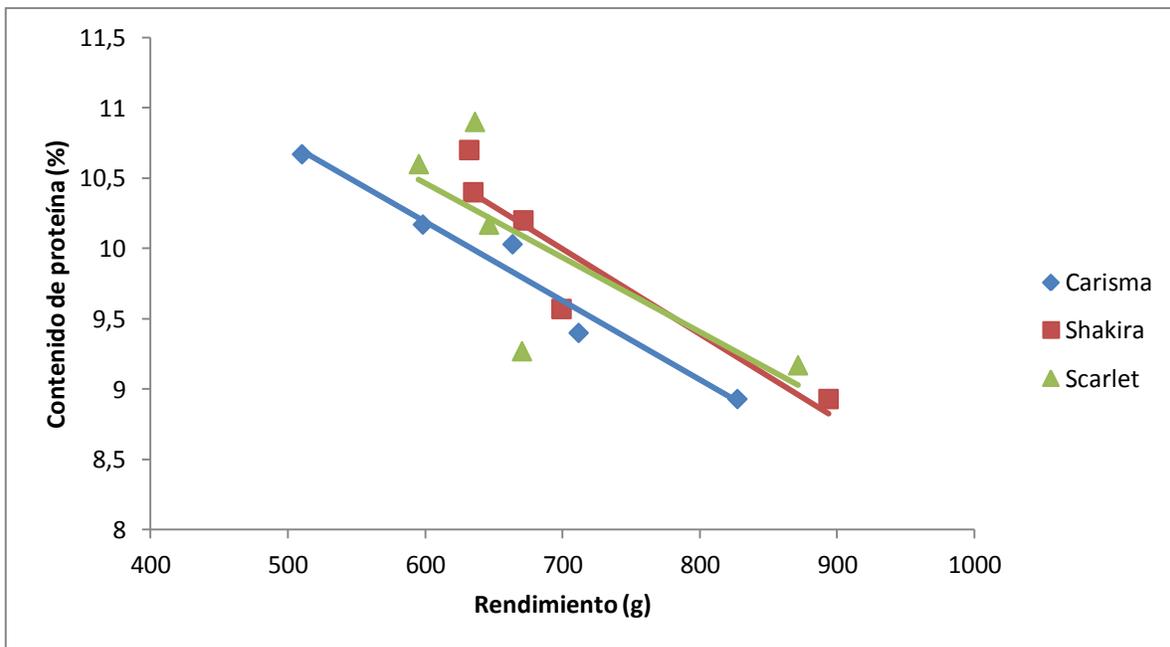


Figura 11. Relación entre el contenido de proteína de grano (%) y el rendimiento (g/m^2) para tres materiales (Carisma, Shakira y Scarlet) y sus correspondientes líneas de regresión.

Tabla 14. Función de la recta de regresión del contenido de proteína en el grano (%) \pm error estándar y el rendimiento de granos (g/m^2) para tres cultivares (Carisma, Shakira y Scarlet), coeficiente de regresión (r^2) y significancia estadística de la regresión (valor p).

Cultivar	Función de la recta	r^2	Valor p
Carisma	$0,0040 \pm 0,0017$	0,40	0,1057
Shakira	$0,0061 \pm 0,0014$	0,81	0,0235
Scarlet	$0,0053 \pm 0,0028$	0,39	0,1550

7- Conclusiones.

La duración de las diferentes etapas ontogénicas disminuyó a medida que se retrasó la fecha de siembra, tanto en tiempo térmico como en días calendario, siendo la etapa de primer nudo - aparición de aristas la más afectada. Los cultivares presentaron sensibilidad al fotoperíodo durante la etapa emergencia-espigazón, difiriendo no sólo en la sensibilidad fotoperiódica, sino también en el fotoperíodo umbral y la precocidad intrínseca. En base a estos resultados la hipótesis 1 planteada en esta tesis no puede ser rechazada.

El rendimiento de grano se redujo a medida que se atrasó la fecha de siembra en todos los cultivares estudiados debido a caídas en el número de granos/ m^2 , sin impacto importante del peso de los granos. La biomasa total se redujo más que el IC al atrasar la fecha de siembra, aunque ambos explicaron las diferencias en rendimiento al variar la fecha de siembra. Por ello la Hipótesis 2 planteada en esta tesis no puede ser rechazada.

En forma contraria a lo esperado el calibre no se modificó al atrasar la fecha de siembra a pesar de observarse una relación positiva entre éste y el peso de mil granos, que también mostró poca variación entre fechas. Los niveles de proteína aumentaron a medida que se retrasó la fecha de siembra y disminuyeron a medida que se incrementó el rendimiento de

grano, siguiendo la misma tendencia para todos los cultivares estudiados. Considerando estos resultados la hipótesis 3 se rechaza parcialmente.

8-Bibliografía

-Abeledo LG, Calderini DF, Slafer GA. (2004). Leaf appearance, tillering and their coordination in old and modern barleys from Argentina. pp. 22-32. En: Field Crops Research.

-Alzuet I. (2008). Caracterización fenológica de cultivares comerciales de cebada cervecera (*Hordeum vulgare*) y análisis de la generación de rendimiento. pp. 6-25. Trabajo de coronamiento para optar el título de especialista en cultivos de Granos, EPG-FA-UBA.

-Arisnabarreta S, Miralles DJ. (2004). Período crítico en la generación del rendimiento en líneas isogénicas de cebada que solo difieren en su estructura de espiga. pp. 333-334. En: Acta del VI Congreso nacional de Trigo y IV simposio Nacional de cultivos de siembra Otoño-Invernal.

-Arisnabarreta S, Miralles DJ. (2006). Floret development and grain setting in near isogenic two- and six-rowed barley lines (*Hordeum vulgare* L.). pp. 466-476. En: Field Crops Research.

-Arisnabarreta S, Miralles DJ. (2008). Radiation effects on potential number of grains per spike and biomass partitioning in two- and six-rowed near isogenic barley lines. pp. 196-202. En: Field Crops Research 107.

-Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, González L, Tablada M, Robledo CW. (2010). Infostat/P. Grupo Infostat, FCA, Univ. Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.

-García del Moral LF, Miralles DJ, Slafer GA (2002). Initiation and appearance of vegetative and reproductive structures throughout Barley development. En: Barley Science. pp. 243-261. (Slafer, GA, Ed)

- González FG; Slafer GA, Miralles DJ (2005). Pre-anthesis development and number of fertile florets in wheat as affected by photoperiod sensitive genes Ppd-D1 and Ppd-B1. pp. 253-269. En: Euphytica 146.
- Miralles DJ, Arisnabarreta S, Alzueta I. (2011). Desarrollo ontogénico y generación del rendimiento. pp. 3-33. En: Cebada Cervecera (Miralles DJ, Benech-Arnold RL, Abeledo LG, Eds.). Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina.
- Miralles DJ, Richards R. (2000). Responses of leaf and tiller emergence and primordium initiation in wheat and barley to interchanged photoperiod. pp. 655-663. En: Annals of Botany 85.
- Miralles DJ, Windauer LB, Gómez NV. (2003). Factores que regulan el desarrollo de los cultivos de granos. En: Producción de granos, bases funcionales para su manejo. pp. 60-65. (Satorre EH, Benech-Arnold RL, Slafer GA, de la Fuente E, Miralles DJ, Otegui ME, Savin R, Eds)
- Prystupa P, Slafer GA, Savin R. (2003). Leaf appearance, tillering and their coordination in response to NxP fertilization in barley. pp.587-594. En: Plant and Soil 255.
- Slafer GA, Rawson HM. (1994). Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors. pp. 393-426. En: Australian Journal of Plant Physiology 21.
- Slafer GA, Rawson HM. (1996). Responses to photoperiod change with phenophase and temperature during wheat development. pp. 1-13. En: Field Crops Research 46.
- Ventimiglia L, Torrens L. (2012). Variedades de cebada cervecera: Como afecta la fecha de siembra al rendimiento y a la calidad del grano. pp 1-7. En <http://inta.gob.ar>