

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

COMPONENTES NUMÉRICOS Y COMPOSICIÓN DEL RENDIMIENTO DEL
CRUZAMIENTO ENTRE LOS CVs INIA CEIBO Y NORTEÑA CARUMBÉ

por

Diego CALONE HUERTAS
Gonzalo PÉREZ FERLA
Miguel Ángel PERDOMO DE ALMEIDA

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.

MONTEVIDEO
URUGUAY
2019

Tesis aprobada por:

Director:

PhD. (Ing. Agr.) Ariel Castro

MSc. (Ing. Agr.) Andrés Locatelli

MSc. (Ing. Agr.) Luis Viega

Fecha:

14 de febrero de 2019

Autores:

Diego Calone Huertas

Gonzalo Pérez Ferla

Miguel Ángel Perdomo De Almeida

AGRADECIMIENTOS

A nuestro tutor Ariel Castro por brindarnos la oportunidad de realizar la tesis de grado, orientándonos e incentivándonos cada vez que pedíamos su ayuda.

A Andrés Locatelli por su dedicación y ayuda durante todo el proceso de realización del trabajo de tesis, el cual se facilitó en gran medida con su apoyo.

Al grupo de cebada en general: Pía Grignola, Sebastián Bartaburu y Juan Mosqueira; personas con las que compartimos la mayor parte del tiempo en la EEMAC, estando presentes en todo momento en que los que necesitamos, tratándonos como uno más del grupo en el día a día.

A nuestras familias por apoyarnos constantemente y pacientemente a cumplir con el objetivo de poder realizar una carrera universitaria.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
2.1. HISTORIA	2
2.1.2. <u>Cebada en Uruguay</u>	2
2.1.3. <u>Actualidad</u>	3
2.2. DESCRIPCIÓN DEL CULTIVO DE CEBADA.....	4
2.3. FENOLOGÍA	6
2.3.1. <u>Temperatura</u>	6
2.3.2. <u>Precocidad <i>per se</i></u>	7
2.3.3. <u>Vernalización</u>	8
2.3.4. <u>Fotoperiodo</u>	9
2.4. GENOTIPO	10
2.5. MANEJO DEL CULTIVO DE CEBADA.....	11
2.5.1. <u>Etapas vegetativa</u>	11
2.5.2. <u>Etapas reproductiva</u>	12
2.6. COMPONENTES DE RENDIMIENTO	13
2.7. CALIDAD EN CEBADA CERVECERA	16
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	17
3.1. DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN.	17
3.2. CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA.	17
3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	17

3.4. DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS	18
3.5. DESCRIPCIÓN ABREVIATURAS	18
3.6. METODOLOGÍA	19
3.7. MANEJO	19
3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	20
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	21
4.1. CONDICIONES CLIMÁTICAS.	21
4.2. VARIABLES AGRONÓMICAS.....	24
4.3. POBLACIÓN MO1	27
4.3.1. <u>Descripción general</u>	27
4.3.2. <u>Grupos y épocas</u>	28
4.3.3. <u>Experimento Época 1</u>	28
4.3.3.1. Gen <i>eps2s</i>	28
4.3.3.2. Gen <i>denso</i>	30
4.3.3.3. Gen <i>ppd-h1</i>	32
4.3.4. <u>Experimento época 2</u>	34
4.3.5. <u>Experimento Estación Tarariras</u>	36
4.3.5.1. Gen <i>eps2s</i>	36
4.3.5.2. Gen <i>denso</i>	37
4.3.5.3. Gen <i>ppd-h1</i>	38
5. <u>CONCLUSIONES</u>	40
6. <u>RESUMEN</u>	41
7. <u>SUMMARY</u>	42
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	43

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Importancia relativa de la cebada a nivel mundial.....	3
2. Importancia relativa de la cebada a nivel nacional.	4
3. Principales diferencias entre Ceibo y Carumbé.	17
4. Precipitación acumulada y temperatura media durante el ciclo del cultivo (junio-diciembre), para las dos localidades.....	21
5. Resultados de las variables agronómicas para el ensayo experimental EEMAC época 1 (EE1).	24
6. Resultados de las variables agronómicas para el ensayo experimental EEMAC época 2 (EE2).	25
7. Resultados de las variables agronómicas para el ensayo experimental en Tarariras (TE1).	25
8. Fenología de Carumbé y Ceibo en ensayo experimental (EE1) y (EE2).....	26
9. Correlaciones de la población Mo1 en TE1 y EE1.....	27
10. Correlación de la Población Mo1 entre época 1 y Tarariras.....	28
11. Promedios de las variables para el gen <i>eps2s</i> en ensayo (EE1).....	29
12. Fenología de cada grupo con respecto al gen <i>eps2s</i> ensayo (EE1).....	29
13. Correlación de las diversas variables para el gen <i>eps2s</i> en (EE1).	30
14. Promedios de las variables para el gen <i>denso</i> en (EE1).....	31
15. Fenología de cada grupo con respecto al gen <i>denso</i> en (EE1).....	31
16. Correlación de las diversas variables para el gen <i>denso</i> en (EE1).....	32
17. Promedio de las variables agronómicas para el gen <i>ppd-h1</i> en (EE1).....	33

18. Fenología de cada grupo con respecto al gen <i>ppd-h1</i> en (EE1).....	33
19. Correlación de las diversas variables para el gen <i>ppd-h1</i> en (EE1).....	34
20. Promedio de la variable para el gen <i>eps2s</i> , <i>denso</i> y <i>ppd-h1</i> en (EE2).	35
21. Fenología de grupos en (EE2).....	35
22. Promedios de las variables para el gen <i>eps2s</i> en (TE1).	36
23. Correlaciones de los grupos 1 y 2 gen <i>eps2s</i> en (TE1).	37
24. Promedio de las variables para el gen <i>denso</i> en (TE1).	37
25. Correlación de los grupos 1 y 2 gen <i>denso</i> en (TE1).....	38
26. Promedios de las variables para el gen <i>ppd-h1</i> en (TE1).....	38
27. Correlación de los grupos 1 y 2 gen <i>ppd-h1</i> en (TE1).	39

Figura No.

1. Escala Zadoks.....	5
2. Escala Zadoks y componentes de rendimiento.	14
3. Precipitaciones y temperaturas del año 2014 para la localidad de Paysandú considerando la fenología de ensayo experimental EEMAC época 1 (EE1) y ensayo experimental EEMAC época 2 (EE2).	22
4. Precipitaciones y temperaturas del año 2014 para la localidad de Tarariras considerando la fenología de ensayo experimental en Tarariras (TE1).	23

1. INTRODUCCIÓN

La cebada cervecera (*Hordeum vulgare* L.) es un cultivo invernal que tiene gran importancia a nivel mundial. La misma presenta varios usos, siendo el principal la alimentación animal, con el mismo nivel nutritivo que el maíz, y usándose en segunda instancia con el fin de procesamiento para malta, seguido por semilla y como último como consumo para humanos (Zhou, 2009) en aquellos lugares que por la altura es el único cereal que se puede sembrar como en el caso del Tíbet. A su vez presenta mayor diversidad de ambientes de siembra que los demás cereales, dado su amplio rango de adaptación, que se extiende desde fotoperiodos cortos invernales a fotoperiodos largos estivales (Poehlman, 1985). Es un cultivo de climas templados con mejor comportamiento en estaciones frías y relativamente secas.

En Uruguay la superficie sembrada del cultivo está fuertemente ligada a la industria maltera, dado que casi la totalidad de la producción es con ese fin.

La ocurrencia y la duración de los diferentes eventos ontogénicos en la cebada están gobernados por la interacción entre los factores fotoperiodo y temperatura. Cada variedad posee a su vez diferentes requerimientos de uno u otro factor del ambiente, lo que establece las diferencias en el ciclo de cada cultivar. Los dos factores que más influyen en el ciclo del cultivo son la elección de cultivar y la fecha de siembra. Ello determinará la capacidad potencial del mismo de generar un mayor o menor crecimiento vegetativo y un mayor o menor número de estructuras florales (número de granos posibles por espiga), lo que se traduce en distintas relaciones fuente - fosa. Por ello, otros factores de manejo como la población interactúan con el cultivar viabilizando la mejor expresión o concreción de los potenciales de cada variedad (Viega et al., 2005).

El principal objetivo del siguiente trabajo, es utilizar una población segregante de líneas F7 (RILs), proveniente del cruzamiento de parentales contrastantes en cuanto a su adaptación agronómica, para analizar cómo afectan las variaciones fenológicas en la construcción del rendimiento.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. HISTORIA

La cebada es tan antigua como la agricultura misma, dado que fue una de las primeras especies en ser domesticadas. Su domesticación se ubica en el cercano y medio oriente, aproximadamente hace 9000 años (Harlan, 1976). Luego fue extensamente cultivada en Egipto, hace unos 7000 años (Luizzi, 1983).

Desde ahí fue llevada al Norte y Este de Europa, constituyendo la base de la alimentación de los griegos y los romanos, para la elaboración de pan y cerveza. Posteriormente los romanos comenzaron a sustituirla por el pan de trigo, quedando la cebada para la alimentación de los gladiadores, por esto eran llamados Hordearius (Arias, 1995).

Existen dos centros de origen de diversidad genética de cebada (Wiebe, 1979):

- 1) NE de África en las montañas de Etiopía.
- 2) SE de Asia incluyendo China, Japón, Tíbet y parte de Nepal.

En América la cebada es introducida por Cristóbal Colón en el año 1493, donde tuvo lugar su segundo viaje al continente. Posteriormente, durante la colonización de las Américas se introdujeron otras especies además de la cebada, como el trigo para la alimentación (Wiebe, 1979).

2.1.2. Cebada en Uruguay

El primer cultivo de cebada que se tiene registro en el Uruguay es del año 1784 en el departamento de Maldonado (Berro, 1901). En 1855 ya había dos cervecerías que distribuían semillas a los productores para fomentar su cultivo (Arias, 1995).

Los primeros ensayos de investigación fueron realizados en el año 1907 por el profesor Damman, en la recién fundada Facultad de Agronomía (Arias, 1995). Los primeros trabajos científicos de selección de trigo y cebada en América del Sur, fueron realizados en 1912 en el Uruguay por los Dres. Alberto Boerger y Enrique Klein. Se basaron en la selección de líneas puras de trigo y líneas de cebada resistente a roya de la hoja, de las poblaciones de los agricultores (Arias, 1995). En el año 1932 se desarrolló el primer intento de localización de zonas aptas para el cultivo, en un trabajo realizado por Spangenberg a través de los resultados de las siembras del año 1924-1928, en chacras al Sur y al Norte del Río Negro, identificando como zonas de mala aptitud para la cebada el norte de Salto, Artigas, norte de Tacuarembó y Rivera (Luizzi y Torres, 1983).

En la década de los 80 se verifica un incremento en la investigación en el cultivo, fruto de la colaboración entre las empresas privadas vinculadas al cultivo, la Facultad de Agronomía y el CIAAB (a partir de 1991 INIA). Esta colaboración, que se verifica en acuerdos de trabajo, contribuye paulatinamente a fortalecer el trabajo en el cultivo en las instituciones públicas a la vez que van tejiendo una red de confianza entre estas instituciones y las empresas. En el año 1988 se firmó un acuerdo para realizar una investigación trianual entre INIA y FAO, en el marco del cual se impulsa la coordinación de varios actores. El encargado de investigación de este proyecto fue el Dr. Gerardo Arias. En el mismo se investigó el mejoramiento genético, estudio y control de enfermedades, fertilización y prácticas culturales. En el año 1991, se firma un acuerdo de trabajo entre Cervecería y Maltería Paysandú, Fabricas Nacionales de Cerveza, Maltería del Uruguay S.A, Compañía Salus, Facultad de Agronomía, e Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria a los efectos de instrumentar un Programa Nacional de Investigación y Mejora Tecnológica del Cultivo y de la producción de cebada Cervecera. Finalmente, en el año 1992 tiene lugar la firma del convenio definitivo al que se le agregan a las empresas e instituciones firmantes del preacuerdo de 1991, Laboratorio Tecnológico del Uruguay, el Rector de la UdelaR y el Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, formando así la Mesa Nacional de Entidades de Cebada Cervecera (MNC, Bianco, 2005).

2.1.3. Actualidad

La cebada cervecera es el quinto cultivo en términos de producción total en el mundo.

Según FAO (2017), las áreas de mayor producción son la Unión Europea, Rusia y Norteamérica.

Cuadro No. 1. Importancia relativa de la cebada a nivel mundial.

	Área (miles ha)	Rendimiento (ton.*ha) -1	Producción (miles ton.)
Trigo	220.107	3.40	749.460
Maíz	187.959	5.64	1.060.107
Arroz	159.807	4.63	740.961
Soja	121.532	2.75	334.895
Cebada	46.923	3.01	141.278
Sorgo	44.771	1.42	63.930

Fuente: FAO (2017).

Según MGAP. DIEA (2018), en el periodo de 2017/2018, en Uruguay el cultivo ocupa un área aproximada de 100 mil hectáreas, siendo el segundo cereal invernol de importancia y el cuarto dentro de los granos a nivel nacional.

Cuadro No. 2. Importancia relativa de la cebada a nivel nacional.

Cultivos	Área (ha)	Rendimiento (kg/ha)	Producción (ton.)
Soja	1.099.000	1.214	1.300.000
Trigo	193.000	2.280	440.000
Arroz	160.000	8.500	1.360.000
Cebada	153.000	2.516	385.000
Maíz	71.200	4.340	309.000
Sorgo	28.800	2.639	76.000

* Datos zafra 2017.

Fuente: MGAP. DIEA (2018).

En Uruguay, el principal destino de la cebada es la producción de malta para la exportación, dado los bajos volúmenes utilizados en el país y por generar mayor valor agregado del producto.

2.2. DESCRIPCIÓN DEL CULTIVO DE CEBADA

Durante el ciclo del cultivo de cebada se producen cambios en la morfología externa de las plantas visibles al ojo humano (crecimiento + desarrollo); como en la actividad de los tejidos (desarrollo), no siempre perceptibles.

La descripción de los estadios externos e internos por los que atraviesa el cultivo de cebada puede realizarse mediante el uso de diferentes escalas que permiten tener una referencia precisa de las etapas. La escala de Zadoks (figura No. 1) es la más utilizada en el cultivo de cebada y describe únicamente los estadios morfológicos externos. La misma consta de 10 fases numeradas de 0 a 9 para describir el cultivo. La única diferencia con el trigo es que, en el caso de la cebada, la antesis se da en Z49, previo a la espigazón (Zadoks et al., 1974). Dicha escala, describe únicamente los estados morfológicos externos del cultivo, que involucran algunos procesos de desarrollo y otros de crecimiento; y que deben ser tenidos en cuenta cuando se analizan los estados y procesos de desarrollo y los factores que los regulan y modifican. Nos brinda una apreciación del estado de desarrollo en el que se encuentra el cultivo, permitiéndonos saber cuáles son los componentes de rendimiento de mayor incidencia involucrados en dicha etapa.

Constituye así una herramienta valiosa para unificar criterios y tener un mismo lenguaje a la hora de tomar una decisión agronómica para la aplicación de fertilizante, herbicidas, insecticidas, fungicidas, etc.

Figura No. 1. Escala Zadoks.

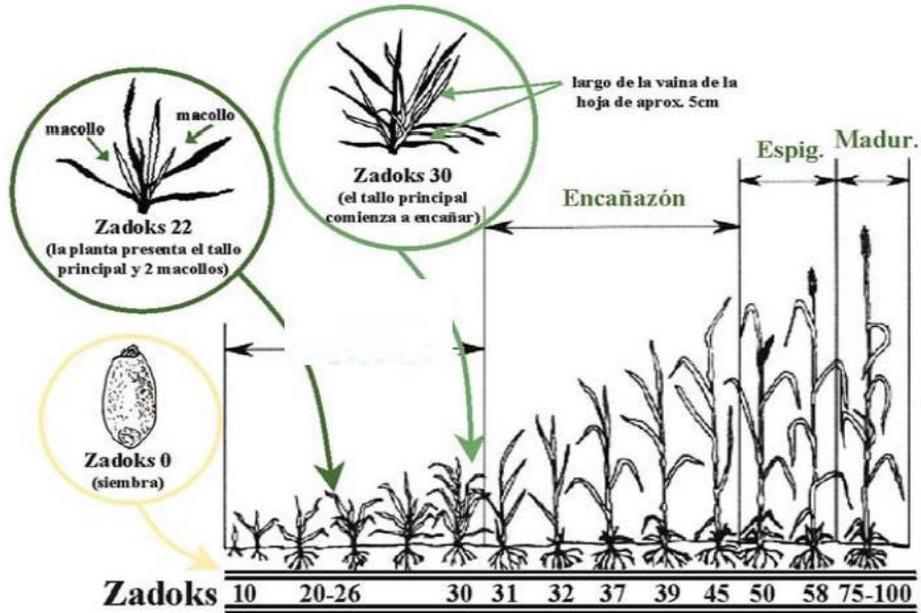


Tabla de las fases de desarrollo siguiendo la escala decimal Zadoks (Z0.0 a Z9.9)

Etapa principal	DESCRIPCIÓN	<i>Sub-fase</i>	Etapa principal	DESCRIPCIÓN	<i>Sub-fase</i>
0	Germinación	0.0-0.9	5	Espigado	5.0-5.9
1	Producción de hojas TP	1.0-1.9	6	Antesis	6.0-6.9
2	Producción de macollos	2.0-2.9	7	Estado lechoso del grano	7.0-7.9
3	Producción de nudos TP (encañado)	3.0-3.9	8	Estado pastoso del grano	8.0-8.9
4	Vaina engrosada	4.0-4.9	9	Madurez	9.0-9.9

Según J.C. Zadoks, T.T. Chang y C.F.

TP: tallo principal

(esta tabla es para trigo, la única diferencia es que en la cebada la antesis se da antes en Z49).

Fuente: FAO (2001).

2.3. FENOLOGÍA

La fenología es el estudio de la aparición de eventos en el desarrollo de los organismos vivos (por ejemplo, la floración o la hibernación) en respuesta a factores climáticos (umbrales de temperatura, temperaturas acumuladas, fotoperiodo, etc., Igartua et al., 2008). Por extensión, los caracteres fenológicos son características observables y medibles de los organismos que hacen referencia a alguno de esos eventos. Las respuestas fenológicas han sido una de las categorías tradicionales de clasificación, tanto popular como taxonómica, de muchos organismos.

El desarrollo se define como una secuencia de acontecimientos fenológicos controlados por factores externos, donde cambios importantes en la morfología y en las funciones de alguno de los órganos marcan cada uno de los acontecimientos (Slafer y Rawson, 1994).

La fenología cumple un rol esencial en los cultivos, actuando como una escala biológica de tiempo, donde directa o indirectamente controla procesos relevantes como la senescencia, el llenado de grano y la fotosíntesis (Mirschel et al., citados por Brandariz, 2013). Es el factor que más influye en el rendimiento potencial y en la adaptación a regiones y prácticas de manejo, por posibilitar coincidir las distintas etapas del desarrollo con las variaciones climáticas (Borrás-Gelonch et al., 2010). Esto permite ajustar un calendario de actividades de manejo desde la siembra hasta la cosecha (Mirschel et al., citados por Brandariz, 2013).

2.3.1. Temperatura

Uno de los factores de mayor incidencia sobre el crecimiento y desarrollo vegetal es la temperatura. El crecimiento vegetal es extremadamente sensible a la temperatura. Es universalmente aceptado que la temperatura acelera las reacciones químicas (entre ciertos rangos), y de este modo promueve el crecimiento vegetal. Además de este efecto, la temperatura incide sobre el desarrollo vegetal a través de requerimientos térmicos de los vegetales para completar sus fases de desarrollo, que pueden ser tanto de temperaturas medias, altas o bajas (Salisbury y Ross, 1992).

Las especies vegetales, e incluso sus variedades, poseen en cualquier estado de desarrollo una temperatura mínima por debajo de la cual detienen su crecimiento, un rango de temperaturas óptimas, donde crecen a tasas altas o máximas, y una temperatura máxima sobre la cual el crecimiento nuevamente se detiene e incluso puede llevar a la muerte. A este conjunto de parámetros vitales se les denomina temperaturas cardinales. Estas temperaturas no solo varían con la especie y variedad, sino también con las diferentes etapas de desarrollo, e incluso en los diferentes tejidos (Salisbury y Ross, 1992).

Es común que regímenes específicos de temperatura sean necesarios para el inicio de etapas críticas en el ciclo de vida tales como la germinación o la iniciación floral. Muchas veces éstas a su vez, están asociadas con requerimientos de fotoperiodo, radiación o humedad (Salisbury y Ross, 1992).

El tiempo térmico o la suma térmica, se calcula sumando los valores de temperatura media diaria que superen a la temperatura base o mínima para el desarrollo. 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 (medido en °C.día), T_{mi} es la temperatura media de cada día i (°C), y T_b es la temperatura base del cultivo.

Cuando no hay efectos (o son despreciables) de fotoperiodo o vernalización en cierta región, igualmente los genotipos presentan diferencias en la fecha a antesis, factor adjudicado con varios nombres, entre ellos “precocidad *per se*” o “duración mínima a antesis” (Boyd et al., 2003).

2.3.2. Precocidad *per se*

Cuando la influencia de la vernalización y el fotoperiodo sobre la fecha de floración es eliminada experimentalmente, satisfaciendo las necesidades de los diferentes genotipos, se observa que aún existe variación en las mismas. Los genes implicados en esta variación, cuyos efectos no son directamente atribuibles a la vernalización o fotoperiodo, se han denominado en general earliness *per se* o genes de precocidad intrínseca. Las causas de la variación en la fecha de floración por causas distintas al fotoperiodo o la vernalización han sido objeto de diferentes estudios. Roberts et al. (1988) propusieron la relación de esta variación con la duración del periodo pre-inductivo que sigue a la germinación, en el cual se produce crecimiento y aumento del número de hojas, pero no se produce la inducción de la floración. Sin embargo, la duración de este periodo varía muy poco entre genotipos, y su correlación con el número de hojas del tallo principal es baja, con lo que las diferencias entre genotipos serían debidas a diferencias en la tasa básica de desarrollo (Flood y Halloran, 1984), que estaría asociada a diferencias genéticas en la respuesta a la temperatura, lo cual fue confirmado por Slafer y Rawson (1995). Además, estos autores habían propuesto que existe una variación en la precocidad, independientemente de la precocidad atribuida a variaciones en el fotoperiodo o la vernalización, y que estaba correlacionada con el número de hojas del tallo principal (Slafer y Rawson, 1994).

La duración del efecto provocado por este carácter no era constante ni en días ni en integral térmica, sino que las diferencias entre genotipos eran menores a bajas temperaturas, aumentando hasta los 19°C sin cambiar el orden, pudiendo éste revertirse a

temperaturas superiores. Estos autores concluyeron que las interacciones genotipo por temperatura actuaban en las diferentes fases de desarrollo fenológico afectando a la tasa de desarrollo y, por tanto, a la fecha de floración.

Hay y Ellis (1998), a modo de consenso, propusieron que la variación en el carácter de precocidad intrínseca era debida a una combinación del número de hojas iniciadas en el tallo principal (directamente relacionado con la duración del periodo pre-inductivo propuesto por Roberts et al., 1988) y diferencias en la tasa de desarrollo, la cual era un carácter intrínseco de los genotipos controlado por genes reguladores de la tasa de desarrollo, que a su vez estaban influenciados por la temperatura. Otros autores parecen haber encontrado evidencias de que la regulación de los genes implicados en la precocidad intrínseca puede ser también diferente en condiciones de fotoperiodo corto o largo (Kato et al., 2002), con lo que el control genético de la respuesta a todos los factores ambientales que influyen en la fecha de floración aparecerían así interrelacionados.

Los genes implicados en esta variación, cuyos efectos no son directamente atribuibles a la vernalización o fotoperiodo, se han denominado en general earliness per se o genes de precocidad intrínseca (*eps*). Laurie et al. (1995) identificaron 8 loci *eps*: *eps2s* en el brazo corto del cromosoma 2H, próximo al centrómero; *eps3L* en el brazo largo del cromosoma 3H; *eps4L* en el brazo largo del cromosoma 4H; *eps5L* en el brazo largo del cromosoma 5H; *eps6L.1* y *eps6L.2*, ambos en el brazo largo del cromosoma 6H; *eps7S* en el brazo corto del cromosoma 7H y *eps7L* en el brazo largo del cromosoma 7H. Además, se han identificado otros loci causantes de precocidad denominados Early maturity QTL o Eam (Franckowiak et al., 2003).

2.3.3. Vernalización

La vernalización es el proceso por el cual los cultivos acumulan determinadas exigencias de frío que una vez superadas, se induce la floración. Es una de las respuestas a la temperatura más estudiadas en los cereales de invierno. Algunos genotipos de cebada requieren exposición a temperaturas bajas antes de la floración (Boyd et al., 2003), lo que se conoce como sensibilidad a la vernalización. Ésta es la responsable que aquel cultivo que presente sensibilidad a la misma alargue el ciclo a floración en ausencia de frío, variando el requerimiento entre cultivares, así como la temperatura óptima (Brandariz, 2013).

El requerimiento de vernalización permite clasificar a los genotipos dentro de tres grupos de hábito de crecimiento: primaveral, invernal o facultativo. Las líneas que presentan crecimiento invernal responden altamente a la vernalización (donde la tolerancia a la baja temperatura está implícita pero no definida). Esto es típico de *H. spontaneum*, el progenitor salvaje de cebada, lo que sugiere que esta es la condición ancestral. Las de hábito primaveral tienen nula respuesta a la vernalización. Las líneas

de hábito de crecimiento facultativo se refieren a las que presentan comportamiento intermedio de las anteriores, con una delección del VRN-H2 y con alelo invernal en el VRN-H1, genes involucrados en la vernalización (Von Zitzewitz et al., 2011).

El hábito de crecimiento permite diferenciar qué cultivar sembrar por zona, basados en el conocimiento en la variación de los estímulos ambientales en las distintas regiones geográficas. Las condiciones reinantes en el Uruguay, donde los inviernos son templados, no cumpliendo con los requisitos de las líneas invernales, requieren siembra de genotipos solamente primaverales (Brandariz, 2013).

2.3.4. Fotoperiodo

El fotoperiodo implica la influencia de las variaciones diurnas de luz y los períodos de oscuridad sobre el desarrollo de las plantas (Federov, citado por Rey de las Moras, 2008).

“En las plantas de día largo, como la cebada, la floración es promovida en respuesta a períodos cortos de oscuridad y períodos largos de luz dentro de la duración del día, de forma que el período de luz puede exceder una longitud de día crítica para que la floración tenga lugar” (Szucs et al., citados por Rey de las Moras, 2008).

“Normalmente existe una respuesta cuantitativa al incremento o disminución de la longitud del día, una vez que el valor crítico de la longitud del día ha sido alcanzado” (Laurie, citado por Rey de las Moras, 2008).

“El estímulo del fotoperiodo es percibido por las hojas, por ello, la planta no puede responder a la longitud del día hasta la aparición de la primera hoja. Roberts et al. (1988), también definieron el fotoperiodo crítico y el fotoperiodo umbral. El primero sería aquel por debajo del cual la floración se retrasa, y el fotoperiodo umbral sería aquel por debajo del cual no existirían más retrasos. Hasta que Slafer y Rawson (1994) demostraron que los efectos después de la iniciación floral podían ser tan importantes o incluso superiores a los efectos durante la fase vegetativa, se solía pensar que el período vegetativo era la fase más sensible al fotoperiodo. Miralles et al., citados por Rey de las Moras (2008), demostraron que variaciones en el fotoperiodo durante la fase de iniciación floral podían suponer un incremento del número de flores fértiles. Si se aumentaba la duración del período de elongación del tallo, se incrementaba el número de flores fértiles y por consiguiente el número de granos” (Miralles et al., citados por Rey de las Moras, 2008).

La tasa de cambio del fotoperiodo también tiene efectos significativos en los procesos de desarrollo en cultivos como el maíz (Bonhornme et al., citados por Rey de las Moras, 2008) o la soja (Constable y Rose, citados por Rey de las Moras, 2008). Sin embargo, en el caso de la cebada (Kernich et al., citados por Rey de las Moras, 2008) y

el trigo (Slafer y Rawson, 1994), la tasa de cambio del fotoperiodo no afecta a la tasa de desarrollo, y sólo depende del fotoperiodo medio. La respuesta al fotoperiodo es lineal entre unos valores de fotoperiodo mínimo y máximo (Kernich et al., citados por Rey de las Moras, 2008). El fotoperiodo base o mínimo, es aquel por debajo del cual no hay retraso del desarrollo (Roberts et al., 1988). Las horas día acumuladas sobre este fotoperiodo mínimo reducen el tiempo térmico a espigado según un factor de sensibilidad propio del genotipo.

Se han observado dos fases insensibles al fotoperiodo:

- 1) Inicial o pre inductiva, que dura aproximadamente ocho días antes de la germinación de la semilla en las cebadas de primavera o en las de invierno vernalizadas.
- 2) Final o post-inductiva, inmediatamente antes de la emergencia de la espiga y cuya duración es algo mayor.

Entre estas fases, existe una fase inductiva durante la cual las plantas son sensibles al fotoperiodo y cuya longitud depende de éste y de las necesidades de cada genotipo (Roberts et al., 1988).

Las cebadas de primavera (sembradas en primavera) carecen de requisito de vernalización y muestran una respuesta débil o fuerte a las duraciones del día dependiendo de si han sido seleccionadas durante períodos de crecimiento largos o cortos, respectivamente. En largas temporadas de crecimiento, como en Europa Occidental y gran parte de América del Norte, la reducción de la respuesta al fotoperiodo permite a las plantas sembradas extender el período de crecimiento vegetativo y acumular más biomasa que soporta mayores rendimientos. El principal determinante de la respuesta de la duración del día en la cebada es el gen del fotoperiodo (*Ppd-h1*, Turner et al., 2005).

En condiciones de campo donde el requisito de vernalización de los cultivares de invierno no es satisfecho, el alelo *ppdh2* dominante promueve la floración, incluso bajo fotoperiodos crecientes por encima de 12 hrs. (Castro et al., citados por Mastandrea, 2015).

2.4. GENOTIPO

Eligiendo el cultivar que vamos a sembrar estamos definiendo (teniéndolo en cuenta o no) las características del ciclo, el tipo de planta que vamos a tener, el patrón de macollaje, las tasas de crecimiento y la resistencia genética a diversos patógenos. Todas estas características del cultivar estarán interactuando con las medidas de manejo como es la época de siembra (determinada por el ciclo principalmente, pero también por el resto de las características), la cual junto a la historia de la chacra son las determinantes

para el desarrollo del cultivo. También influye con que densidad se siembra, cuanto de fertilizante y que control de enfermedades.

Las bases genéticas de las características agronómicas que determinan la adaptación a las condiciones de producción específicas es un aporte fundamental para el mejoramiento en cualquier especie agrícola. Un alto porcentaje del cultivo en Uruguay ha sido ocupado por variedades introducidas, de origen argentino, europeo, australiano y más recientemente brasileñas y estadounidense (North Dakota), con un nivel de adaptación relativo a las condiciones locales. Esto reflejó en cierta medida la prioridad en el uso de material con calidad maltera conocida e hizo evidente la necesidad del desarrollo de genotipos adaptados (Castro et al., 1997). La investigación nacional ha avanzado en la definición del ideal tipo del cultivo para las condiciones nacionales, en términos de características fenológicas y morfo-fisiológicas. Variables como el índice de cosecha (IC), altura de planta, granos por superficie, granos por espiga, peso de grano, tiempo a floración y duración del llenado de grano surgieron como objetivos a mejorar por su importancia en la adaptabilidad agronómica (Castro et al., 1993).

2.5. MANEJO DEL CULTIVO DE CEBADA

2.5.1. Etapa vegetativa

La época de siembra de la cebada en el Uruguay se ha adelantado en los últimos años, pasando de siembras de julio-agosto a siembras de mediados de mayo a fines de junio, donde las temperaturas mínimas medias son del orden de 7.3°C y la temperatura media del orden de los 12°C. Esto surge de varios relevamientos de chacras, donde los mayores rendimientos se dan en dicha ventana de siembra (Hoffman et al., 2015). Siembras muy tempranas pueden ocasionar problemas tanto sanitarios (instalación de la roya), así como la ocurrencia de heladas tardías perjudicando la floración y consecuentemente el rendimiento. En las siembras tardías se acorta el período de llenado de grano debido a las altas temperaturas, disminuyendo el rendimiento. A su vez se debe tener en cuenta la región del país en la que se encuentra la chacra a sembrar, ya que el sur presenta una mayor flexibilidad en la fecha de siembra con respecto al norte.

Las temperaturas en esta etapa del cultivo son importantes, principalmente en aquellos cultivares de rápido crecimiento inicial y macollaje no sincronizado. Elevadas temperaturas provocan excesivo crecimiento inicial, competencia no deseada y ocasiona el aborto de macollos, así como la reducción del tamaño de las espigas. Esta situación se atenúa con cultivares de lento crecimiento inicial y de macollaje sincronizado. Sin embargo, la presencia de temperaturas normales o bajas no generan diferencias entre cultivares (Miralles et al., 2014).

Los rangos de densidad de siembra van desde 20 a 45 plantas/m lineal, siendo el óptimo de 35 plantas/m lineal, es decir entre 115 a 260 plantas m² dependiendo de la

distancia entre hileras utilizada. En los cultivares no sincronizados se recomiendan sembrar a menores densidades para disminuir la competencia entre macollos (Miralles et al., 2014).

El macollaje es el proceso en el que las yemas ubicadas en las axilas de las hojas originan nuevos macollos cuyos puntos de crecimiento son iguales en estructura a aquellas que los originaron. Según el origen se puede diferenciar macollos primarios y secundarios. Los primarios se originan a partir de yemas de las hojas del tallo principal, mientras que los secundarios provienen de hojas de un macollo primario. En la cebada el macollaje comienza cuando el tallo principal presenta de 3-4 hojas, el cual puede verse adelantado/retrasado dependiendo de las diferentes condiciones de temperatura, fotoperiodo y nutrición (Miralles et al., 2014).

Uno de los genes que actúa en esta etapa, es el locus *Denso dwarfing* que puede influir en la expresión de caracteres cuantitativos en la cebada de primavera (Powell et al., 1985). Si la planta tiene el alelo dominante, el mismo se expresa dando plantas de menor altura, granos más livianos, y con mayores días en la etapa de macollaje, permitiéndole esto último formar mayor número de espigas fértiles.

2.5.2. Etapa reproductiva

La evolución del número de primordios de espiguillas, comienza con la transformación del ápice meristemático de vegetativo a reproductivo (doble arruga), donde se dejan de diferenciar primordios foliares para comenzar a diferenciarse primordios florales (espiguillas). Estas etapas transcurren al inicio del desarrollo de la planta cuando la misma posee uno o dos macollos y se prolonga en cada uno de los tallos hasta el momento en que se alcanza el número máximo de primordios (NMP). Sin embargo, solo una proporción de estas estructuras logran sobrevivir, dando como resultado un número de espiguillas finales al momento de antesis (NEF) inferior al valor de NMP. Por lo dicho NEF se puede expresar como el producto entre NMP y el porcentaje de espiguillas fértiles (Viega et al., 2005).

En este estadio se recomienda hacer análisis de suelo, y ajustarlo dependiendo si está por debajo del nivel crítico (13-14 ppm N-NO₃), pudiendo variar en años húmedos o secos. Esta fertilización es para evitar la muerte futura de macollos, a diferencia de la siembra, en que la fertilización es para favorecer la aparición de los mismos.

Durante la etapa de macollaje se está definiendo el número de espigas potenciales/m² y el número de espiguillas por espiga.

En Z30, estadio en el cual se da el alargamiento de los entrenudos, es el punto donde comienza la concreción del rendimiento potencial generado hasta el momento. Este va a depender del estado en el que se encuentra el cultivo, y de los niveles de nitratos que posee el suelo.

La competencia simultánea entre los tallos en elongación y el comienzo del crecimiento de la espiga por foto asimilados, genera abortos de los mismos, que se reflejan en el rendimiento (Hoffman et al., 2015).

En general el nivel de aborto/mortandad ronda entre el 37-40% (Arisnabarreta y Miralles, 2006).

El período crítico, en el cual se establece la fertilidad de las flores dentro de la espiga abarca un período de aproximadamente 20 días previos a la floración (en el cual el tallo y la espiga crecen a la máxima tasa), y 10 días posteriores a la aparición de las anteras en la espiga, donde queda definido el cuaje de las flores. En dicho período el cultivo tiene que crecer a máxima velocidad, sin falta de agua, nitrógeno y libre de enfermedades, para de esta manera concretar la mayor proporción del rendimiento potencial.

La mortandad floral va desde la aparición de la hoja bandera hasta antesis donde se alcanza el número máximo de flores fértiles.

La competencia por foto-asimilados hasta antesis determina la sobrevivencia floral. Existe una relación positiva entre el peso de la espiga en floración y el número de flores fértiles en dicho momento. De esta manera, una mayor cantidad de biomasa acumulada a floración determina un mayor peso de la espiga y por lo tanto un mayor número de granos (Hoffman et al., 2015).

2.6. COMPONENTES DE RENDIMIENTO

El número de granos por espiga es el resultado de eventos que se inician tempranamente en el desarrollo del cultivo y que pasan inadvertidos hasta el momento de espigazón. Estos eventos transcurren en cada uno de los tallos e implican el pasaje del ápice meristemático del estado vegetativo al estado reproductivo, a partir de la inducción floral y la progresiva diferenciación de primordios de espiguillas y su crecimiento o aborto. En cebada cervecera este componente del rendimiento se lo considera menos variable por poseer espiguillas unifloras, en contraposición con el trigo y altamente determinado por la variedad. Sin embargo, tanto la época de siembra como la población y la fertilización nitrogenada ejercen modificaciones importantes en el tamaño de espiga que pueden resultar en cambios en los niveles de rendimiento del cultivo (Viega et al., 2005).

Existen diversos modelos para evaluar el rendimiento en el cultivo de cebada. En este caso, el modelo utilizado es el de generación de componentes numéricos, el cual abarca desde los sub-componentes numéricos que conforman el número de granos por unidad de área y el peso de los mismos. Este modelo puede utilizarse bajo condiciones con y sin estrés.

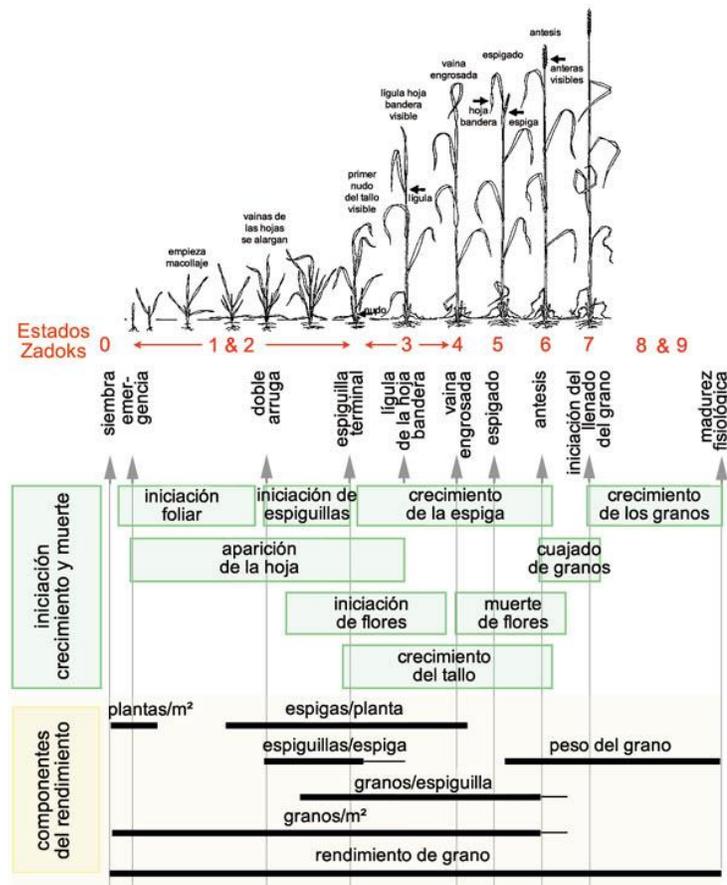
$$\text{Rendimiento} = \text{Número de granos} * \text{peso de granos}$$

$$\text{Numero de granos} = \text{Número de espigas} * \text{granos/espigas}$$

$$\text{Granos/espiga} = \text{espiguilla/espiga}$$

$$\text{Peso grano} = \text{tasa de crecimiento} * \text{duración de etapa de llenado de grano}$$

Figura No. 2. Escala Zadoks y componentes de rendimiento.



Fuente: Rawson (1994).

La figura No. 2, relaciona las fases externas de la escala Zadoks y los dos estados internos observables en el ápice, doble arruga y espiguilla terminal. Muestra el momento en que se inician, crecen y mueren los componentes del tallo (recuadros verdes) y cuándo se forman los componentes del rendimiento. Esta figura ayuda a identificar qué componentes están siendo afectados por las prácticas del agricultor en un determinado momento.

Teniendo en cuenta los eventos que ocurren en el ápice de cada tallo, el ciclo desde la siembra hasta la floración o antesis puede ser dividido en tres sub fases: iniciación de hojas (IH), iniciación de espiguillas (IE), y crecimiento de espiguillas (CE). Durante estas sub fases se determina: el número potencial de tallos a partir del número de hojas en el tallo principal (durante la sub fase IH), el número potencial de espiguillas por espiga (durante la sub fase IE), y la sobrevivencia de tallos y primordios de espiguilla, quienes determinan el número de granos por unidad de área (durante la sub fase CE, Appleyard et al., 1982).

Desde que se siembra el cultivo se va construyendo el rendimiento final. Al inicio, cuando se da la implantación de las plantas, el sub componente de rendimiento que nos interesa es el número de plantas por metro cuadrado. El óptimo es de 35 plantas/metro lineal (200 plantas/metro cuadrado aproximado). En la etapa de fin de macollaje-inicio encañazon (Z31) se espera tener una cantidad de 1000 macollos por metro cuadrado (Miralles et al., 2014).

En el Uruguay no hay limitaciones severas para lograr altos valores de biomasa aérea (13000 kg/ha materia seca, Hoffman et al., 1993). El objetivo es llegar luego del aborto o muerte de macollos por competencia de foto asimilados con los tallos en elongación como ya se describió, a obtener unas 600 espigas por metro cuadrado.

Una vez que se forme la espiga, el número de granos por espiga y espigas totales ya está determinado, el cual puede ser afectado por la ocurrencia de una helada tardía o una enfermedad. Lo que determinará el rendimiento final en esta etapa es la tasa de llenado y duración del mismo, que depende del momento de floración y de las temperaturas, las cuales, si son altas, aceleran esta etapa llegando a un peso de grano menor o viceversa, favoreciendo en ese caso el peso de grano.

En ausencia de estrés durante el crecimiento del grano, el cultivo de cebada tiene limitado el incremento en rendimiento debido a la capacidad de fosa de acumular asimilados y no por la capacidad de la fuente de proveerlos (Gallagher et al., Dreccer et al., Bingham et al., citados por Locatelli, 2011). Para trigo, Slafer y Rawson (1994) concluyeron que el rendimiento en grano es limitado por fosa o hasta a veces co-limitado por fuente y fosa, pero nunca solo por fuente. Si esto es así, sería biológicamente posible aumentar el número de granos por unidad de superficie y su

peso. El aumento en número de granos puede lograrse en base al aumento de espigas por superficie y/o, al aumento del número de granos por espiga (Locatelli, 2011).

2.7. CALIDAD EN CEBADA CERVECERA

La cebada en el mundo es utilizada principalmente para la alimentación de animales, ya que su grano es considerado de muy buena calidad, superior a otros cereales. El segundo destino de importancia del cultivo es para la producción de malta. En Uruguay ese es el destino fundamental, casi exclusivo: elaboración de malta para uso cervecero, aunque en menor proporción algunos lotes se utilizan para la elaboración de whisky. Si bien la cebada no es el único cultivo a partir del cual se produce malta, la misma presenta una serie de ventajas como la presencia de cáscara que protege el grano y ayuda al filtrado, y la textura fina del grano.

La malta es el principal insumo en la producción de cerveza. El proceso de malteo consiste básicamente en colocar la semilla en condiciones de germinación óptimas hasta alcanzar un determinado nivel de actividad enzimática. Un primer requisito de la industria es que el grano que se reciba sea una semilla, es decir un ser vivo y viable. Para cumplir con este requisito se debe hacer énfasis durante los procesos del cultivo, cosecha, limpieza, secado y almacenamiento.

El material a maltear debe ser genéticamente uniforme, como también homogéneo en cuanto a su tamaño y forma, de manera de presentar mayores características de germinación y mayor calidad industrial. Por tal razón, el objetivo es un grano redondeado, grande y pesado. Para calificar los granos de acuerdo a lo anterior, el parámetro utilizado generalmente es la clasificación de acuerdo al diámetro. Se utilizan para tal fin aparatos provistos de zarandas, que clasifican el grano en cuatro clases: primera (granos con diámetro superior a 2,8 mm), segunda (granos con diámetro entre 2,8-2,5 mm), tercera (granos con diámetro entre 2,5-2,2 mm) y cuarta (granos con diámetro menor a 2,2 mm, Silveira, 2008).

A los efectos industriales, la cebada de buena calidad debe tener más de un 55 % de primera, más de un 90% de primera más segunda, y menos de un 3 % de cuarta (que constituye el descarte y se utiliza para raciones). Desde el punto de vista del agricultor es importante considerar que la cuarta no se paga, y que el precio es corregido por el porcentaje de primera más segunda. Para el malteo con destino a la exportación se utiliza solo la primera y segunda, mientras que cuando el destino de la malta es la utilización interna se maltea también la tercera (Castro, 1997).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN

Las líneas experimentales utilizadas son una población balanceada de líneas F7 provenientes del cruzamiento de INIA Ceibo x Norteña Carumbé, los cuales son contrastantes entre sí para muchas variables de interés agronómico. INIA Ceibo fue desarrollado por INIA La Estanzuela y se caracteriza por presentar mayores niveles de calidad maltera, posee respuesta al fotoperiodo y es de ciclo largo. Norteña Carumbé proviene de América del Norte (North Dakota), no es sensible al fotoperiodo, posee ciclo corto y se caracteriza por generar elevadas cantidades de biomasa y alto peso de grano.

Ceibo, deriva de la cruce entre FNC I 22 (variedad de origen argentino), introducida y liberada por el programa de mejoramiento genético de Fábricas Nacionales de Cerveza, y la variedad alemana Defra. Este cruzamiento combina la excelente calidad maltera y cervecera de Defra, con los superiores atributos de adaptación a nuestro ambiente y características agronómicas favorables de la variedad FNC I 22.

Cuadro No. 3. Principales diferencias entre ceibo y carumbé.

Características	Ceibo	Carumbé
Crecimiento inicial	Lento	Intermedio-Lento
Potencial de macollaje	Alto	Intermedio-Alto
Sincronización	Si	Si
Respuesta al Fotoperiodo	Si	No
Largo del ciclo	Largo	Intermedio-Corto

Fuente: Castro (2015).

3.2. CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA

La caracterización fenotípica de la población fue realizada en base a los experimentos realizados el año 2014 en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni (EEMAC), Ruta 3, km 363, Paysandú, Uruguay (58°03'W, 32°55'S) y en campos experimentales de Maltería Oriental SA (MOSA), Ruta 22, km 35,500, Tarariras, Colonia, Uruguay (57°34'W, 34°18'S).

3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

Los ensayos tuvieron un diseño experimental de 4 bloques incompletos al azar, con testigos repetidos y una única repetición por tratamiento. Por tanto, las líneas de la

población no están repetidas en los ensayos, mientras que los testigos (Quebracho, Perun, Clipper y Dayman), Ceibo y Carumbé tuvieron 4 repeticiones, de manera tal que permitiera corregir el error experimental.

3.4. DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS

En la EEMAC se sembraron en dos fechas distintas. La primera siembra se realizó el 24 de junio y la otra el 11 de agosto. Siendo la primera en fecha óptima y la segunda tardía, de manera tal que permitiera realizar comparaciones entre los diferentes comportamientos de las líneas. La otra siembra realizada en la localidad de Tarariras fue sembrada el 27 de junio, muy similar a la época 1 de la EEMAC.

Las parcelas ocupaban un área de 3,6 m² promedio (4 m x 0,9 m), compuesta de 6 surcos separados 0,15 m entre sí, mientras que las parcelas sembradas en la otra localidad, Tarariras, eran de 5,32 m² (4 m x 1,33 m), de 7 surcos separados a 0,19 m.

Debido a diversos problemas en el ensayo experimental en época 2, producto de una mala implantación, asociado a un grave problema de enmalezamiento, los cuales generaron un ensayo muy afectado por variables que no deberían ser limitantes al momento de comparar las líneas, la mayoría de datos obtenidos no fueron tenidos en cuenta para este trabajo.

3.5. DESCRIPCIÓN ABREVIATURAS

Mo1: población compuesta por líneas homocigotas experimentales provenientes del cruzamiento de Ceibo x Carumbé.

EE1: ensayo experimental eemac época 1.

EE2: ensayo experimental eemac época 2.

TE1: ensayo experimental en Tarariras.

Rend: rendimiento de granos kg/ha.

MST: materia seca total producida en kg/ha.

IC: índice de cosecha.

PMG: peso de mil granos en gramos.

Grm2: número de granos que hay en un metro cuadrado.

Rend12: rendimiento de granos kg/ha corregido a 12 % de humedad.

P1: proporción de granos de primera, calibre mayor a 2,8 mm.

P12: proporción de granos de primera más segunda, calibre mayor a 2,5 mm.

Esp/m2: número de espigas que hay en un metro cuadrado.

Gran/esp: número de granos por cada espiga.

Esp/pl: número de espigas que hay en una planta.

DesVest: desvío estándar.

3.6. METODOLOGÍA

Dentro de las parcelas de cada ensayo se marcaron dos metros lineales sobre uno de los surcos, que a lo largo del ciclo se midieron variables tales como número de plantas/m², macollos/m² y espigas/m².

Previo a la cosecha de cada una de las parcelas, se cortaron las plantas de los dos metros lineales y fueron llevadas al laboratorio. Se contaron granos/espiga, se trilló la muestra de la parcela, se pesaron 10 granos y el total de estos, donde luego fueron empaquetados en bolsas de papel y etiquetados con su información correspondiente.

Las plantas restantes de las parcelas fueron cosechadas con una cosechadora experimental, pesadas a los efectos de estimar la MST y luego trilladas, donde se embolsaron los granos en bolsas de papel, y fueron almacenados en una cámara de frío para conservar la calidad de los mismos para su estudio, y también para realizar la siembra del año siguiente.

En el laboratorio, se limpió cada una de las muestras, se pesaron, se midió la humedad y se determinaron P1, P12 y PMG.

Se utilizaron los datos de fenología que fueron proporcionados por la Licenciada en Bioquímica Pía Grinola. Para la población Mo1 se usaron marcadores moleculares para detectar los genes *Ppd-h1*, *Eps2s* y *Sdw1*. Estos se agruparon en dos grupos, uno con regiones de cromosomas de Ceibo y otro con regiones de los cromosomas de Carumbé, a los cuales se los llamó grupo 1 y grupo 2 respectivamente. De esta forma se pueden diferenciar e interpretar los valores relacionándolos con los parentales.

3.7. MANEJO

Los ensayos fueron manejados de la misma manera buscando reducir los efectos de las enfermedades y de las malezas. Para el caso de las malezas se realizaron los controles necesarios para evitar el enmalezamiento tanto en la siembra como a fin del cultivo. Con respecto a las enfermedades se realizaban aplicaciones periódicas de fungicidas evitando la presencia de enfermedades.

El objetivo de implantación era de 230 plantas m² aproximadamente (35 plantas metro lineal). La EE2 tuvo problemas de implantación porque estaba muy seco al momento de siembra, en consecuencia, problemas de enmalezamientos principalmente por malezas anuales estivales. En cuanto a la fertilización se hicieron según recomendaciones.

3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Se utilizó el programa SAS versión 9.2 (inglés). Este programa corrige las diferencias que surgen de los bloques, identificadas a través del uso de los resultados obtenidos de los testigos de cada uno de estos bloques. Con esto, es posible realizar comparaciones entre las variables estudiadas.

Este trabajo se enfocó en el estudio de la población Mo1. Cuando los resultados presentaban algún tipo discordancia se acudió a los resultados de los testigos, y de esta manera se pudo comprender los datos para poder dar una buena interpretación de los mismos. Se calculó el desvío estándar de la población Mo1 para saber la variabilidad que presenta la misma.

Mediante el uso de correlaciones entre las variables, se analizaron aquellas que proporcionaban mayor información para este trabajo, teniendo en cuenta también el grado de significancia de los resultados.

También fue realizado un análisis de correlaciones entre las variables de las distintas localidades, para comprobar que son ambientes distintos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CONDICIONES CLIMÁTICAS

Los datos climáticos del año 2014 para la localidad de Paysandú (EEMAC) y Tarariras, fueron obtenidos de las Estaciones Meteorológicas de la EEMAC y del INIA La Estanzuela respectivamente.

El 2014 fue un año con temperaturas superiores a la media histórica para Tarariras, así como para Paysandú (cuadro No. 4). Lo mismo ocurrió con las precipitaciones, estuvieron por encima de la media histórica y en el caso de Tarariras fue muy superior, casi el doble, 1077,1 mm vs. 562,3 mm (cuadro No. 4).

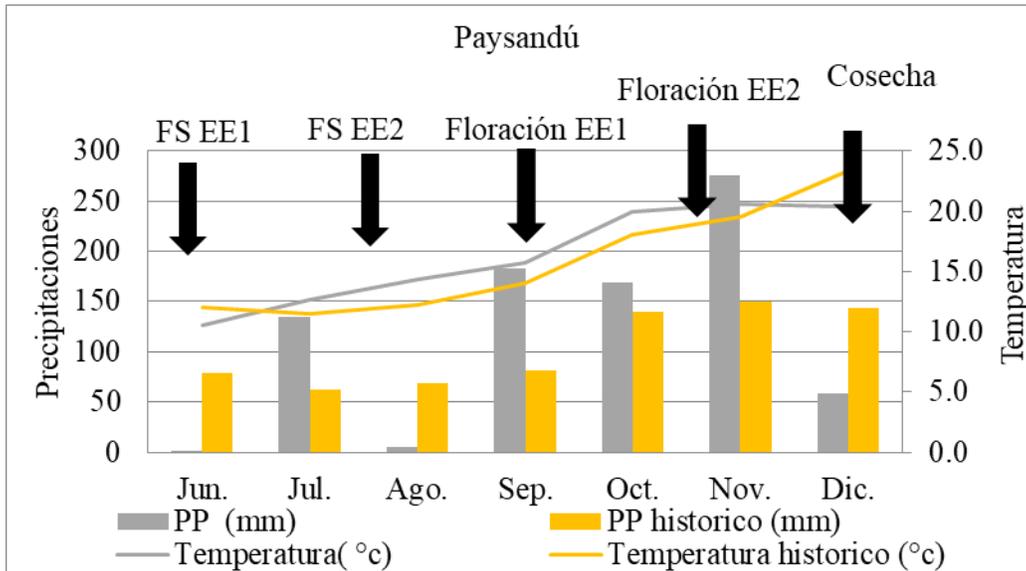
Cuadro No. 4. Precipitación acumulada y temperatura media durante el ciclo del cultivo (junio-diciembre), para las dos localidades.

	Paysandú	Tarariras
PP. (mm)	827.4	1077.1
PP. histórico (mm)	725.6	562.3
Temperatura (°C)	16.3	15.3
Temperatura histórica (°C)	15.8	14.6

El año 2014 tuvo mayores precipitaciones principalmente hacia fin de ciclo, acompañado de altas temperaturas. Esto podría haber generado serios problemas de enfermedades, pero en este caso no afectaron ya que los ensayos recibieron un buen control.

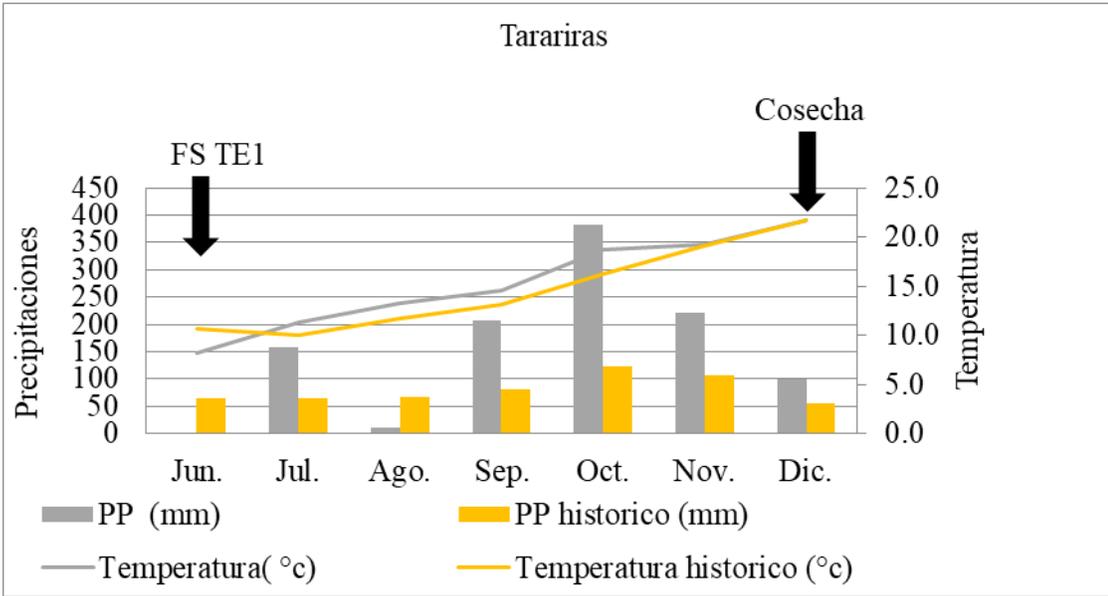
Al inicio del ciclo del cultivo y al final del mismo (junio y diciembre respectivamente), las temperaturas del ensayo fueron menores al promedio histórico (figura No. 3). Sin embargo, el resto de los meses del cultivo la temperatura media fue mayor a la media histórica.

Figura No. 3. Precipitaciones y temperaturas del año 2014 para la localidad de Paysandú considerando la fenología de ensayo experimental EEMAC época 1 (EE1) y ensayo experimental EEMAC época 2 (EE2).



Como se mencionó anteriormente, las temperaturas fueron superiores a la media histórica tanto para EE1, como para TE1. Las precipitaciones fueron mayores en Tarariras en comparación con Paysandú a fines de ciclo (383mm vs. 276mm respectivamente).

Figura No. 4. Precipitaciones y temperaturas del año 2014 para la localidad de Tarariras considerando la fenología de ensayo experimental en Tarariras (TE1).



4.2. VARIABLES AGRÓNOMICAS

En el caso de Carumbé (cuadro No. 5), es la variedad que acumula mayor cantidad de materia seca (MS) y como es característico tiene mayor peso de grano, medido como (PMG), con menor número de espigas. Es decir, tiene menor cantidad de granos que son más pesados a diferencia de Ceibo que ocurre lo contrario. La población Mo1 muestra valores intermedios entre Ceibo y Carumbé, algo esperable considerando que fue obtenida del cruzamiento de estas dos cultivares.

Cuadro No. 5. Promedio de las variables para los cultivares Ceibo, Carumbé y los testigos Quebracho, Dayman, Clipper y Perún en el ensayo experimental EEMAC época 1(EE1).

EE1	Rend.	MST	IC	PMG	Grm2	Rend.12	P1	P12	Esp/m2	Gr/esp	Esp/pl
I Ceibo	4187	9736	0.38	34.6	12034	3512	37	83	781	18.7	4.12
Carumbé	4665	11628	0.36	40.8	11400	4246	46	90	564	21.4	2.39
Mo1 PROM	4173	10118	0.37	37.7	11161	3483	40	84	727	19.6	3.68
Quebracho	4524	9665	0.42	43.1	10513	3907	54	86	713	18.8	2.99
Dayman	4662	10925	0.39	46.2	10093	4290	67	92	618	21.3	2.87
Clipper	4124	10667	0.35	42.3	9772	3638	49	88	633	20.9	3.15
Perun	3554	9189	0.35	37.4	9426	3063	40	86	656	20.2	3.46
Mo1 DESVEST	716	1721	0.05	3.6	2053	692	15	10	153	2.5	0.89

Variables: rendimiento en grano (Rend.), materia seca total (MST), índice de cosecha (IC), peso de mil granos (PMG), granos/m², (Grm2), rendimiento de granos kg/ha corregido a 12 % de humedad (Rend.12), proporción de granos de primera (P1), proporción de granos de primera más segunda calibre mayor a 2,5 mm (P12), número de espigas/m² (Esp/m²), número de granos por cada espiga (Gr/esp), número de espigas que hay en una planta(Esp/pl).

La EE2, además de los problemas que tuvo de enmalezamiento en la implantación y a lo largo del cultivo, se vio más afectada por las condiciones ambientales, ya que el cultivo estuvo expuesto a mayores temperaturas, las cuales acortan el ciclo y de esta manera genera un impacto negativo en los rendimientos. Debido a esto, la variable medida para este ensayo fue PMG (cuadro No. 6).

Cuadro No. 6. Promedio de peso de mil granos (PMG), para los cultivares Ceibo Y Carumbé ,y los testigos Quebracho, Dayman, Clipper y Perún en el ensayo experimental EEMAC época 2 (EE2).

EE2	PMG
I Ceibo	33.1
Carumbé	34.7
Mo1 PROM	37.3
Mo1 DESVEST	5.5
Clipper	34.0
Dayman	36.8
Perun	39.5
Quebracho	39.9

Los valores promedio de Rend., PMG, Grm2 y P1, fueron inferiores en TE1 respecto a EE1 (cuadro No. 7). Esta diferencia se explica por las elevadas precipitaciones ocurridas en TE1, fundamentalmente a fin de ciclo, evidenciada por la alta generación de rendimiento (esp/m²) y la escasa concreción del mismo (gran/esp). A su vez, se ratifica la mayor susceptibilidad frente a un estrés hídrico por parte de Carumbé respecto a Ceibo.

Cuadro No. 7. Promedio de las variables para los cultivares Ceibo, Carumbé y los testigos Quebracho, Dayman, Clipper y Perún en el ensayo experimental en Tarariras (TE1).

TE1	Rend.	PMG	Grm2	Rend.12	P1	P12	Esp/m²	Gran/esp
I Ceibo	3225	36.2	8713	2432	33	77	721	12
Carumbé	2997	35.4	8422	2330	36	80	703	12
Mo1 PROM	3113	36.5	8411	2432	38	80	713	12
Mo1 DESVEST	895	4.6	2586	730	13	10	182	4
Clipper	2920	34.1	8355	2323	33	82	642	13
Dayman	2952	39.0	7353	2430	42	84	614	13
Perun	3495	36.6	9384	2776	38	81	739	13
Quebracho	3448	37.9	8945	2854	43	84	606	15

Variables: rendimiento en grano (Rend.), materia seca total (MST), índice de cosecha (IC), peso de mil granos (PMG), granos/m², (Grm2), rendimiento de granos kg/ha corregido a 12 % de humedad (Rend.12), proporción de granos de primera (P1), proporción de granos de primera más segunda calibre mayor a 2,5

mm (P12), número de espigas/m² (Esp/m²), número de granos por cada espiga (Gran/esp), número de espigas que hay en una planta(Esp/pl).

La comparación de la fenología en los distintos experimentos (cuadro No. 8), muestra en primer lugar que los ciclos son más largos en EE1 con respecto a EE2. Esto ocurre porque en el caso de EE1 fue sembrado más temprano y los cultivos estuvieron expuestos a temperaturas más bajas por lo que requieren más días para alcanzar la acumulación térmica de cada etapa (macollaje, floración y llenado de grano). En el caso de Ceibo en EE1, presenta más días de macollaje. Carumbé tiene un período de encañazón mas largo, pero posee menos días en el periodo siembra-antesis, debido a que acumuló antes la suma térmica para inducir la floración, por mayores temperaturas en esa etapa y bajo fotoperíodo corto que alarga las duraciones.

En la EE2, Ceibo tiene un intervalo siembra-antesis más corto explicado por la mayor respuesta al fotoperíodo, generado por la expresión del gen *ppd-h1*.

Cuadro No. 8. Fenología de Carumbé y Ceibo en los ensayos EE1 y EE2. Duración (días) de las subfases siembra-Z30 y Z30 – Z49, y del ciclo (siembra – Z49) para las dos épicas de siembra en la EEMAC.

FS 24-6	Época 1		
	Siembra-Z30 (días)	Z 30-Z49 (días)	Siembra-Z49 (días)
Carumbé	54	30	84
Ceibo	68	25	93
FS 11-8	Época 2		
	Siembra-Z30 (días)	Z 30-Z 49 (días)	Siembra-Z49 (días)
Carumbé	57	25	82
Ceibo	57	20	77

El desempeño de las líneas parentales fue como se esperaba. En el caso de Ceibo, presentó bajo PMG compensado por un alto Grm², y Carumbé generó menor número de granos, pero con mayor peso de los mismos.

Carumbé, demostró tener un elevado potencial de rendimiento en ambas localidades, así como también su susceptibilidad frente a un estrés hídrico generado por anegamiento.

En cuanto a los testigos, demostraron comportamientos similares a los que se esperaban. Por ejemplo, Dayman logró muy buen rendimiento en EE1, mostrando su buena adaptación a temperaturas altas y Quebracho, tuvo un comportamiento destacado no solo en EE1, sino también en TE1.

4.3. POBLACIÓN MO1

4.3.1. Descripción general

La variable que presentó mayor correlación con el rendimiento para ambos ensayos fue Grm2.

Es interesante señalar la correlación negativa que existe entre Grm2 y P1 en EE1, lo cual indica que en la medida que aumentan los Grm2, éstos van a ser de menor tamaño y es por este motivo que baja P1 siendo una correlación considerable y negativa. Algo similar ocurre entre las variables Gran/esp y P1 en TE1, es decir a mayor cantidad de Gran/esp, P1 va a disminuir y por consiguiente el tamaño de los mismos.

Cuadro No. 9. Correlaciones entre las variables analizadas para la población Mo1 en TE1 (cuadrante superior) y EE1 (cuadrante inferior)

		Correlaciones población Mo1 TE1							
		Rend.	PMG	Grm2	Rend12	P1	P12	Esp/m2	Gran/esp
Correlaciones población Mo1 EE1	Rend.		0.02	0.91	0.88	-0.04	-0.07	0.33	0.56
	PMG	0.11				0.37	0.38	0.32	0.38
	Grm2	0.83	-0.44				0.90	0.06	-0.27
	Rend.12	0.76	0.47	0.42				0.09	-0.34
	P1	-0.13	0.65	-0.47	0.42				-0.48
	P12	-0.13	0.60	-0.44	0.54	0.84			
	Esp/m2	0.17	-0.37	0.35	-0.06	-0.43	-0.33		
	Gran/esp	0.46	-0.09	0.46	0.15	-0.25	-0.37	-0.09	
	Esp/pl	0.12	-0.26	0.25	-0.05	-0.32	-0.24	0.71	-0.06

Significación de r: 5%

(color negro=correlación positiva, color rojo=correlación negativa).

El análisis de correlación entre los valores de cada variable obtenido en ambas localidades no mostró asociación para ninguna de ellas, como se esperaba previo al análisis. Esto se explica porque los diferentes ambientes no presentan ningún tipo de correlación, ya que las condiciones ambientales de cada uno son diferentes y esto se ve reflejado en los bajos valores de correlación (cuadro No. 10).

Cuadro No. 10. Correlación entre las variables analizadas para la población Mo1 entre EE1 Y TE1.

	Rend.	PMG	Grm2	Rend12	P1	P12	P123	Esp/m2	Gran/esp
Rend.	0.059								
PMG		-0.132							
Grm2			0.172						
Rend12				-0.019					
P1					-0.027				
P12						0.027			
P123							0.016		
Esp./m2								0.130	
Gran/esp.									0.046

Significación der: 5%

(color negro: correlación positiva, color rojo: correlación negativa).

4.3.2. Grupos y épocas

Para poder profundizar en el estudio de la población, se desglosan los estudios en dos grupos, en función de los alelos presentes en los genes de interés agronómico. El grupo 1 comprende a los individuos con el alelo de Ceibo en el gen considerado y el grupo 2 a los individuos con el alelo de la variedad Carumbé.

4.3.3. Experimento época 1

4.3.3.1. Gen *eps2s*

En el cuadro No. 11 no se resaltan grandes diferencias entre los dos grupos de líneas con respecto al gen de precocidad per se, para las variables evaluadas. Se aprecia como el grupo 1, presenta un mayor valor promedio de Gran./esp., y a su vez presenta una menor P1. A diferencia del grupo 2, que presenta un menor valor de Gran/esp y mayor proporción de P1. Comparando los grupos con los parentales, se pudo ver que el promedio de las variables de los primeros, dan resultados intermedios entre ambos parentales en la mayoría de las variables.

Cuadro No. 11. Promedios de las variables analizadas para los grupos de líneas que expresan el alelo de Ceibo (Grupo 1) y Carumbé (Grupo 2) del gen *eps2s* y los padres de la población en el ensayo (EE1) para el ensayo de siembra temprana en EEMAC (EE1).

	Rend.	MST	IC	PMG	Grm2	Rend.12	P1	P12	Esp/m2	Gran/esp	Esp/pl
Grupo 1	4131	10086	0,37	37,4	11176	3316	38	80	723	20,6	3,71
Grupo 2	3999	9926	0,36	37,4	10786	3405	42	85	726	18,9	3,66
I Ceibo	4187	9736	0.38	34.6	12034	3512	37	83	781	18.7	4.12
Carumbé	4665	11628	0.36	40.8	11400	4246	46	90	564	21.4	2.39

Analizando la fenología (cuadro No. 12), las líneas que tienen menor respuesta al fotoperiodo (grupo 2), alcanza antes la floración. Esto se debe a que el año 2014 la temperatura media durante el ciclo fue más alta, acortando la duración del mismo.

Cuadro No. 12. Fenología de cada grupo con respecto al gen *eps2s* en el ensayo EE1. El grupo 1 comprende los alelos de Ceibo y el 2 comprende los alelos de Carumbé. Duración (días) de las sub fases siembra-Z30 y Z30 – Z49 y duración del ciclo (siembra-Z49) para la época 1 en la EEMAC.

FS 24-6	Época 1		
	Siembra-Z30 (días)	Z 30-Z49 (días)	Siembra-Z49 (días)
1 <i>eps2s</i>	63	27	90
2 <i>eps2s</i>	61	25	86

El análisis de correlación entre variables agronómicas dentro de cada grupo, mostró que en el grupo 1 (cuadro No.13), las variables de mayor correlación con el rendimiento son MST y Grm2. Mientras en el grupo 2 se agrega la variable IC. Es interesante destacar que para el grupo 1 el IC tiene correlación negativa con el rendimiento y para el grupo 2 es positivo y relevante. Como se ha visto anteriormente, la correlación entre los Grm2 y PMG para los dos grupos es negativa e importante, debido a que incrementos en el número de granos, provocan que los mismos sean de menor peso y viceversa. Otra asociación interesante y siguiendo en la misma línea que en el caso anterior, se da en el caso de Esp/m2 y PMG para ambos grupos. Por último, cabe mencionar también que si bien presentan una elevada correlación y positiva entre PMG y P1 tanto para el grupo 1, como para el grupo 2, en este último caso no es tan relevante.

Cuadro No. 13. Correlación entre las variables para el gen *eps2s* en (EE1). Grupo 1 comprende las líneas que expresan los alelos de Ceibo y grupo 2 comprende las líneas que expresan los alelos de Carumbé.

		Grupo 1										
Grupo 2		Rend.	MST	IC	PMG	Grm2	Rend.12	P1	P12	Esp/m2	Gran/esp	Esp/pl
	Rend		0,73	-0,13	0,16	0,59	0,65	0,21	0,10	0,19	0,24	-0,12
	MST	0,62		-0,76	-0,08	0,56	0,38	0,05	-0,05	0,26	0,29	0,04
	IC	0,47	-0,37		0,27	-0,26	0,07	0,13	0,19	-0,20	-0,21	-0,20
	PMG	0,11	0,04	0,09		-0,69	0,72	0,85	0,81	-0,24	-0,23	-0,27
	Grm2	0,84	0,51	0,41	-0,45		-0,09	-0,51	-0,56	0,30	0,37	0,05
	Rend12	0,86	0,55	0,36	0,41	0,54		0,79	0,82	0,00	-0,13	-0,21
	P1	-0,13	-0,09	-0,10	0,59	-0,43	0,33		0,88	-0,34	-0,18	-0,39
	P12	-0,05	0,04	-0,15	0,60	-0,38	0,46	0,87		-0,13	-0,34	-0,16
	Esp/m2	-0,12	-0,12	0,05	-0,56	0,24	-0,39	-0,49	-0,58		0,07	0,72
	Gran/esp	0,51	0,42	0,08	0,00	0,44	0,33	-0,20	-0,20	-0,28		0,19
Esp/pl	-0,19	0,04	-0,23	-0,33	0,03	-0,32	-0,23	-0,32	0,68	-0,41		

Significación de r: 5%

(color negro: correlación positiva, color rojo: correlación negativa, fondo gris oscuro: alta correlación).

VARIABLES : rendimiento en grano (Rend.), materia seca total (MST), índice de cosecha (IC), peso de mil granos (PMG), granos/m², (Grm2), rendimiento de granos kg/ha corregido a 12 % de humedad (Rend.12), proporción de granos de primera (P1), proporción de granos de primera más segunda calibre mayor a 2,5 mm (P12), número de espigas/m² (Esp/m²), número de granos por cada espiga (Gran/esp) y número de espigas por planta (Esp/pl).

4.3.3.2. Gen *denso*

El gen *denso* afecta la duración de la etapa del macollaje (Powell et al., 1985). En consecuencia, como se aprecia en el cuadro No. 14, el grupo 1 presenta el alelo de semienanismo con efecto pleiotrópico en la duración del ciclo (tiene mayor no. de esp/m² y mayor no. de esp/pl). El grupo 2 que tiene el alelo recesivo, tiene un menor número de espigas/m² y en comparación con el grupo 1 una misma cantidad de granos/espiga. Esto indica que los granos/m² del grupo 2 fue menor, pero compensado por el peso de los mismos que son mayores, alcanza un rendimiento similar al grupo 1.

Si comparamos los resultados obtenidos en los grupos 1 y 2 con los de los parentales, vemos que muchas de las variables de los primeros, quedan comprendidos entre los resultados de los segundos o similares a estos.

Cuadro No. 14. Promedio de las variables para los cultivares Ceibo, Carumbé y grupo 1 y 2, para el gen *denso* en EE1. Grupo 1 comprende las líneas que expresan los alelos de Ceibo y grupo 2 comprende las líneas que expresan los alelos de Carumbé.

	Rend.	MST	IC	PMG	Grm2	Rend.12	P1	P12	Esp/m2	Gran/esp	Esp/pl
Grupo 1	4196	10177	0,37	36,1	11721	3371	34	80	825	19,5	4,24
Grupo 2	4111	9932	0,37	38,6	10691	3457	43	85	678	19,9	3,46
I Ceibo	4187	9736	0.38	34.6	12034	3512	37	83	781	18.7	4.12
Carumbé	4665	11628	0.36	40.8	11400	4246	46	90	564	21.4	2.39

Variables : rendimiento en grano (Rend.), materia seca total (MST), índice de cosecha (IC), peso de mil granos (PMG), granos/m2, (Grm2), rendimiento de granos kg/ha corregido a 12 % de humedad (Rend.12), proporción de granos de primera (P1), proporción de granos de primera más segunda calibre mayor a 2,5 mm (P12), número de espigas/m2 (Esp/m2), número de granos por cada espiga (Gran/esp) y número de espigas por planta (Esp/pl).

La expresión de dicho gen afecta la fenología (cuadro No. 15). Teniendo el grupo 1, cinco días más a antesis en comparación al grupo 2.

Cuadro No. 15. Fenología de cada grupo con respecto al gen *denso* en (EE1). El grupo 1 comprende los alelos de Ceibo y el 2 comprende los alelos de Carumbé. Duración (días) de las sub fases siembra-Z30 y Z30 – Z49 y duración del ciclo (siembra-Z49) para la época 1 en la EEMAC.

Época 1			
FS 24-6	Siembra-Z30 (días)	Z 30-Z49 (días)	Siembra-Z49 (días)
<i>Denso 1</i>	65	25	90
<i>Denso 2</i>	59	26	85

Las variables para el gen *denso* presentan valores de correlación dispares entre los grupos (cuadro No. 16). Como es el caso de las espigas/m2. El grupo 1, esta correlacionado negativamente (-0,25) y para el grupo 2, su correlación es positiva (0,25) con el rendimiento. Esta diferencia se explica por qué al desarrollar un menor macollaje

en comparación con el grupo 1, las espigas que llegan a ser fértiles presentan mayor incidencia en el rendimiento final.

Los Grm2 en grupo 2 son menor pero de mayor peso, pasando lo contrario en el grupo 1, donde el número de granos por m2 es mayor, pero de menor peso. En el grupo 2, existe una alta correlación entre Grm2 con el rendimiento, ya que al ser granos pesados, una variación en el número de granos, afecta notoriamente al rendimiento.

Cuadro No. 16. Correlación de las variables para el gen *denso* en (EE1) (color negro: correlación positiva, color rojo: correlación negativa). Grupo 1 comprende las líneas que expresan los alelos de Ceibo y grupo 2 comprende las líneas que expresan los alelos de Carumbé.

		Grupo 1 EE1 <i>denso</i>										
		Rend.	MST	IC	PMG	Grm2	Rend.12	P1	P12	Esp/m2	Gran/esp	Esp/pl
Grupo 2 EE1 <i>denso</i>	Rend		0,54	0,12	0,31	0,58	0,82	0,19	0,36	-0,25	0,28	0
	MST	0,75		-0,75	0,14	0,32	0,46	0,32	0,24	-0,18	0,27	0,11
	IC	0,43	-0,24		0,10	0,04	0,10	-0,21	0,02	-0,04	-0,12	-0,19
	PMG	0,19	-0,03	0,36		-0,58	0,71	0,76	0,84	-0,31	-0,20	-0,10
	Grm2	0,88	0,73	0,27	-0,30		0,09	-0,47	-0,41	0,03	0,41	0,04
	Rend12	0,66	0,39	0,42	0,53	0,38		0,62	0,83	-0,28	-0,08	0,02
	P1	-0,36	-0,43	0,03	0,59	-0,63	0,35		0,84	-0,47	-0,24	-0,18
	P12	-0,33	-0,36	0,01	0,47	-0,54	0,49	0,88		-0,23	-0,38	0,03
	Esp/m2	0,25	0,42	-0,18	-0,19	0,34	-0,07	-0,37	-0,35		-0,26	0,68
	Gran/esp	0,60	0,54	0,10	-0,13	0,65	0,18	-0,42	-0,46	0,04		-0,14
	Esp/pl	0,03	0,27	-0,27	-0,20	0,13	-0,20	-0,29	-0,27	0,58	-0,04	

Significación de r: 5%

Variables : rendimiento en grano (Rend.), materia seca total (MST), índice de cosecha (IC), peso de mil granos (PMG), granos/m2, (Grm2), rendimiento de granos kg/ha corregido a 12 % de humedad (Rend.12), proporción de granos de primera (P1), proporción de granos de primera más segunda calibre mayor a 2,5 mm (P12), número de espigas/m2 (Esp/m2), número de granos por cada espiga (Gran/esp) y número de espigas por planta (Esp/pl).

4.3.3.3. Gen *ppd-h1*

Este gen, afecta la respuesta al fotoperíodo (Turner et al., 2005). El grupo 1 responde al fotoperíodo logrando una etapa de macollaje más larga y el grupo 2 tiene menor respuesta, logrando una etapa de llenado de grano mayor como se vió reflejado en

los datos fenológicos del cultivos. El grupo 2 presenta mayor PMG, asociado a una mayor P1 (cuadros No. 17 y No. 18). Esto se puede explicar debido a que el grupo 2 llega antes a antesis, teniendo un período de llenado de grano mayor, logrando mayor cantidad de granos de primera.

Cuadro No. 17. Promedio de las variables agronómicas para el gen *ppd-h1* en (EE1). Grupo 1 comprende las líneas que expresan los alelos de Ceibo y grupo 2 comprende las líneas que expresan los alelos de Carumbé.

	Rend.	MST	IC	PMG	Grm2	Rend.12	P1	P12	Esp/m2	Gran/esp	Esp/pl
Grupo 1	4191	10010	0,38	37,1	11376	3459	38	83	730	19,7	3,71
Grupo 2	3872	9914	0,35	38,9	10029	3408	48	88	712	19,0	3,53

El grupo 2 (cuadro No.18) es insensible al fotoperiodo, llega a Z49 antes que el grupo 1. Esto se debe a que el grupo 2 al responder más a la temperatura se ve asociado el largo de su ciclo menor por mayor temperatura en el periodo de desarrollo.

Cuadro No. 18. Fenología de cada grupo con respecto al gen *ppd-h1* en (EE1). Grupo 1 comprende los alelos de Ceibo y grupo 2 comprende los alelos de Carumbé. Medición en días de dos subfases y duración del ciclo para época 1: Siembra – Z30, Z30 – Z49 y Siembra –Z49.

ÉPOCA 1			
FS 24-6	Siembra-Z30 (días)	Z 30-Z49 (días)	Siembra-Z49 (días)
1 <i>ppd-h1</i>	63	25	88
2 <i>ppd-h1</i>	60	24	84

Este gen no afecta la variable Grm2, porque esta se concreta durante el encañado. Lo que si queda claro es que influye en el momento de llenado y esto repercute en la variable PMG.

En el caso del grupo 2 (cuadro No. 19), se ve una correlación negativa e importante entre Esp/m2 y PMG. Es decir, el grupo 2 que presenta el alelo de Carumbé, tiende a producir menos granos y mas pesados en comparación con el grupo 1 y por eso la alta correlación negativa entre estas variables mencionadas.

Cuadro No. 19. Correlación de las variables en estudio para el gen *ppd-h1* en (EE1). Grupo 1 comprende las líneas que expresan los alelos de Ceibo y grupo 2 comprende las líneas que expresan los alelos de Carumbé.

		Grupo 1										
		Rend.	MST	IC	PMG	Grm2	Rend.12	P1	P12	Esp/m2	Gran/esp	Esp/pl
Grupo 2	Rend		0,70	0,18	0,09	0,79	0,78	0,02	0,06	0,11	0,32	0,08
	MST	0,56		-0,55	-0,01	0,58	0,53	0,05	0,02	0,18	0,29	0,20
	IC	0,55	0,26		0,11	0,11	0,14	-0,10	0,00	-0,10	-0,03	-0,17
	PMG	0,26	0,28	0,04		-0,52	0,51	0,71	0,70	-0,35	-0,10	-0,30
	Grm2	0,83	0,37	0,54	-0,31		0,34	-0,41	-0,38	0,30	0,34	0,23
	Rend12	0,91	0,46	0,58	0,49	0,62		0,53	0,67	-0,13	0,08	-0,12
	P1	-0,18	-0,16	-0,06	0,55	-0,46	0,17		0,82	-0,51	-0,10	-0,40
	P12	-0,18	-0,17	0,03	0,57	-0,48	0,23	0,86		-0,35	-0,23	-0,28
	Esp/m2	0,28	0,02	0,34	-0,44	0,56	0,18	-0,11	-0,21		-0,09	0,77
	Gran/esp	0,60	0,52	0,07	-0,01	0,56	0,37	-0,49	-0,52	-0,17		-0,07
	Esp/pl	0,11	-0,07	0,22	-0,17	0,25	0,13	0,10	0,05	0,50	-0,14	

Significación de r: 5%

(color negro: correlación positiva, color rojo: correlación negativa).

VARIABLES : rendimiento en grano (Rend.), materia seca total (MST), índice de cosecha (IC), peso de mil granos (PMG), granos/m², (Grm2), rendimiento de granos kg/ha corregido a 12 % de humedad (Rend.12), proporción de granos de primera (P1), proporción de granos de primera más segunda calibre mayor a 2,5 mm (P12), número de espigas/m² (Esp/m²), número de granos por cada espiga (Gran/esp) y número de espigas por planta (Esp/pl).

4.3.4. Experimento época 2

Como se mencionó anteriormente en este ensayo solo se pudo evaluar la variable PMG (cuadro No. 20).

Para dicha variable, se encontraron diferencias en los distintos grupos para cada gen, siendo para el gen *denso* el único caso donde el grupo 2 superó al grupo 1.

Cuadro No. 20. Promedio de la variable para el gen *eps2s*, *denso* y *ppd-h1* en (EE2). Grupo 1 comprende las líneas que expresan los alelos de Ceibo y grupo 2 comprende las líneas que expresan los alelos de Carumbé.

	PMG
<i>Eps2s 1</i>	38,2
<i>Eps2s 2</i>	37,7
	PMG
<i>Denso 1</i>	37,0
<i>Denso 2</i>	38,1
	PMG
<i>1 ppd-h1</i>	37,7
<i>2 ppd-h1</i>	36,9

Separado por genes (cuadro No. 21), para los grupos de *denso* al igual que en EE1, el que tiene el alelo que permite la expresión del gen, presenta más días de macollaje, aunque estas diferencias son menores, ya que al acortar el ciclo se empareja la duración de los períodos.

En el caso del grupo 2 , donde el gen *eps2s* se expresa, se acortó el ciclo ya que acumuló más rápido la suma térmica para inducir a la floración, en cambio en el grupo 1 actúa el gen *Ppd-h1*, y el acortamiento del ciclo fue por respuesta al fotoperíodo.

Cuadro No. 21. Fenología de grupos en (EE2). Grupo 1 comprende las líneas que expresan los alelos de Ceibo y grupo 2 comprende las líneas que expresan los alelos de Carumbé.

Época 2			
FS 11-8	Siembra-Z30 (días)	Z 30-Z 49 (días)	Siembra-Z49 (días)
<i>1 eps2s</i>	57	19	76
<i>2 eps2s</i>	56	18	74
<i>denso 1</i>	58	17	75
<i>denso 2</i>	56	18	74
<i>1 ppd-h1</i>	56	18	74
<i>2 ppd-h1</i>	57	21	78

Medición en días de dos subfases y duración del ciclo para época 1: Siembra – Z30, Z30 – Z49 y Siembra –Z49.

4.3.5. Experimento Estación Tarariras

4.3.5.1. Gen *eps2s*

Al no tener los datos de fenología de Tarariras no se puede identificar si el gen estuvo implicado en las diferencias encontradas en el resultado de las variables de ambos grupos.

El rendimiento en ambos grupos es similar (cuadro No.22). Esto puede estar asociado a la mayor susceptibilidad al anegamiento que posee el grupo 2, teniendo en cuenta las altas precipitaciones durante el ciclo, provocando aborto de espigas, y afectando directamente el potencial de rendimiento de este grupo.

Cuadro No. 22. Promedios de las variables para el gen *eps2s* en (TE1). Grupo 1 comprende las líneas que expresan los alelos de Ceibo y grupo 2 comprende las líneas que expresan los alelos de Carumbé.

	Rend.	PMG	Grm2	Rend.12	P1	P12	Esp/m2	Gran/esp
Grupo 1 (Ceibo)	3062	36,8	8357	2416	39	81	694	13,2
Grupo 2 (Carumbé)	2954	36,8	7967	2357	41	81	712	11,6

PMG tiene una correlación muy cercana a cero con respecto al rendimiento para ambos grupos (cuadro No. 23). Considerando las otras correlaciones son coherentes y como es de esperar una correlación negativa entre gran/esp y PMG, ya que si aumenta el número de granos, éstos tienden a ser más livianos por lo que baja PMG. Otra correlación muy alta es entre Grm2 y el Rend y es claro por incidencia directa en el rend. La correlación de P1 con el rendimiento en ambos grupos es negativa, teniendo mayor magnitud en grupo 1, lo que puede deberse a la fuerte relación que existe entre Grm2 y el rendimiento. Como el rendimiento está muy ligado a los Grm2, un aumento en este último significaría menor número de granos de primera, existiendo una correlación negativa (-0,43) entre P1 y Grm2.

Cuadro No. 23. Correlaciones de los grupos 1 y 2 para el gen *eps2s* en (TE1). Grupo 1 comprende las líneas que expresan los alelos de Ceibo y grupo 2 comprende las líneas que expresan los alelos de Carumbé.

		Grupo 1							
		Rend.	PMG	Grm2	Rend.12	P1	P12	Esp/m2	Gran./esp.
Grupo 2	Rend		0	0,96	0,93	-0,27	-0,33	0,01	0,69
	PMG	-0,03		-0,25	0,23	0,74	0,67	0,19	-0,25
	Grm2	0,88	-0,46		0,84	-0,43	-0,49	-0,08	0,76
	Rend12	0,83	0,38	0,54		0,06	0,01	0,06	0,59
	P1	-0,05	0,82	-0,39	0,43		0,92	0,19	-0,37
	P12	-0,06	0,83	-0,44	0,49	0,92		0,22	-0,41
	Esp/m2	0,56	0,05	0,45	0,43	0,02	-0,04		-0,66
	Gran/esp	0,37	-0,49	0,57	0,17	-0,38	-0,36	-0,45	

Significación de r: 5%

(color negro: correlación positiva, color rojo: correlación negativa).

4.3.5.2. Gen *denso*

Como se mencionó anteriormente faltan los datos de fenología, pero se observa como el grupo 1 presentó un mayor rendimiento explicado principalmente por una mayor número de esp/m2 y un mayor número de Grm2 (cuadro No. 24). En los experimentos anteriores el grupo 2 compenso con un mayor PMG para alcanzar un Rend similar al grupo 1, pero en este experimento no fue el caso.

Cuadro No. 24. Promedio de las variables para el gen *denso* en (TE1). Grupo 1 comprende las líneas que expresan los alelos de Ceibo y grupo 2 comprende las líneas que expresan los alelos de Carumbé.

	Rend.	PM G	Grm2	Rend.1 2	P 1	P1 2	Esp/m 2	Gran/es p
Grupo 1 (Ceibo)	3252	36,9	8597	2594	40	81	780	11,2
Grupo 2 (Carumbé)	2869	36,7	7820	2257	38	80	660	12,7

Las correlaciones de Grm2 con el Rend resaltan para ambos grupos, al igual que Gran/esp y esp/m2 en el grupo 2 siendo muy negativas entre sí (cuadro No. 25).

En este ensayo, las altas precipitaciones tuvieron un rol muy importante en la concreción de rendimiento, debido al aborto de espigas fértiles, reduciendo considerablemente el número de granos. Por esto último, los granos fueron más pesados.

La correlación negativa entre Gran/esp y esp/m2, es esperable, debido a que al aumentar una siempre disminuye la otra.

Cuadro No. 25. Correlación de los grupos 1 y 2 gen *denso* en (TE1). Grupo 1 comprende las líneas que expresan los alelos de Ceibo y grupo 2 comprende las líneas que expresan los alelos de Carumbé.

		Grupo 1							
		Rend.	PMG	Grm2	Rend.12	P1	P12	Esp/m2	Gran/esp
Grupo 2	Rend		0,15	0,92	0,90	0,08	0,01	0,40	0,71
	PMG	-0,06		-0,24	0,44	0,81	0,78	-0,12	-0,10
	Grm2	0,91	-0,40		0,75	-0,14	-0,21	0,45	0,75
	Rend12	0,86	0,30	0,66		0,46	0,41	0,31	0,62
	P1	-0,03	0,80	-0,27	0,40		0,94	-0,04	-0,04
	P12	-0,03	0,78	-0,33	0,46	0,88		-0,06	-0,11
	Esp/m2	0,14	0,30	-0,01	0,21	0,18	0,22		-0,22
	Gran/pl	0,60	-0,46	0,74	0,37	-0,29	-0,35	-0,64	

Significación de r: 5%

(color negro: correlación positiva, color rojo: correlación negativa)

4.3.5.3. Gen *ppd-h1*

Si bien no se aprecian diferencias claras que permitan sacar conclusiones entre las variables (cuadro No. 26), llama la atención la gran producción de esp/m2 en los dos grupos. A su vez, deja en evidencia la problemática que tuvo este ensayo a fin de ciclo. Ya que genero muchas espigas, las cuales no pudo concretar posteriormente en el llenado de grano por el stress hídrico sufrido hacia fines de ciclo.

Cuadro No. 26. Promedios de las variables para el gen *ppd-h1* en (TE1). Grupo 1 comprende las líneas que expresan los alelos de Ceibo y grupo 2 comprende las líneas que expresan los alelos de Carumbé.

	Rend.	PMG	Grm2	Rend.12	P1	P12	Esp/m2	Gran/esp
Grupo 1 (Ceibo)	3158	36	8595	2467	38	80	916	9,3
Grupo 2 (Carumbé)	2936	37	7591	2354	42	83	855	8,8

La correlación de la variable PMG para el grupo 1 es baja y positiva lo cual indica que no tiene una incidencia para ser tenida en cuenta (cuadro No. 27). Lo contrario se ve en el grupo 2, que es negativa y moderada. Es decir, que al grupo que presenta baja respuesta al fotoperíodo, la variable PMG disminuye y esto se explica porque el período de llenado de grano es menor y por lo tanto los granos son más pequeños.

A su vez, la variable Esp/m2 presenta mayor correlación en el caso del grupo 2 porque depende de ésta en mayor medida para la composición del Rend.

Cuadro No. 27. Correlación de los grupos 1 y 2 gen *ppd-h1* en (TE1). Grupo 1 comprende las líneas que expresan los alelos de Ceibo y grupo 2 comprende las líneas que expresan los alelos de Carumbé.

		Grupo 1						
		Rend.	PMG	Grm2	Rend.12	P1	P12	Esp/m2
Grupo 2	Rend		0,16	0,91	0,90	-0,01	-0,05	0,48
	PMG	-0,27		-0,24	0,45	0,78	0,78	0,12
	Grm2	0,93	-0,54		0,70	-0,29	-0,35	0,39
	Rend12	0,87	0,08	0,74		0,37	0,38	0,44
	P1	-0,09	0,80	-0,19	0,35		0,92	0,04
	P12	-0,08	0,70	-0,22	0,39	0,86		0,05
	Esp/m2	0,60	0,10	0,37	0,58	0,07	0,26	

Significación de r: 5%

(color negro: correlación positiva, color rojo: correlación negativa).

5. CONCLUSIONES

El estudio de los componentes numéricos y composición del rendimiento del cruzamiento entre Ceibo y Carumbé, permitió evaluar en la F7, el efecto de los genes (*Denso*, *Eps2s* y *Ppd-h1*) sobre el rendimiento y la calidad de los granos, en distintos ambientes (Paysandú y Tarariras) y fechas de siembra (temprana y tardía).

Para el gen *Denso*, se apreció que generó un mayor impacto en el rendimiento mediante el aumento del número de Esp/m² generadas, con mayor número de granos pero más livianos.

En el caso del gen *Eps2s*, se vio que su presencia y expresión provocó una inducción floral más temprana, influyendo sobre las variables Gran/esp y P1 en ambos grupos estudiados. Generó en grupo 1 mayor Gran/esp, y menor P1, y el grupo 2, presentó menor Gran/esp y mayor proporción de P1.

El tercer gen estudiado fue el *Ppd-h1*, su expresión acortó el ciclo en siembras tardías con fotoperíodos más largos, lo cual incidió directamente en la concreción del rendimiento generando mayor Gran/esp y menor P1 en grupo 1 y el grupo 2 presentó menor Gran/esp y mayor P1.

6. RESUMEN

La cebada (*Hordeum vulgare* L.), cultivo invernal, ha sido utilizada desde hace muchos años con fines alimenticios. En Uruguay actualmente está fuertemente ligada a la industria maltera. Las diferentes etapas del ciclo de esta especie están gobernados por la interacción entre los factores del fotoperíodo y temperatura. También, la elección del cultivar y la fecha de siembra influyen fuertemente en el ciclo del cultivo. Fotoperíodo, temperatura, precocidad per se y vernalización, son los factores que influyen en el crecimiento y desarrollo del cultivo. La época de siembra de la cebada en Uruguay se ha adelantado en los últimos años, pasando de siembras de julio-agosto a siembras de mediados de mayo a fines de junio. Los rangos de densidad de siembra van desde 20 a 45 plantas/m lineal, siendo el óptimo de 35 plantas/m lineal. El macollaje es el proceso en el que las yemas ubicadas en las axilas de las hojas originan nuevos macollos, cuyos puntos de crecimiento son iguales en estructura a aquellas que los originaron. Uno de los genes que actúa en esta etapa es el locus *Denso dwarfing* que puede influir en la expresión de caracteres cuantitativos en la cebada de primavera. Si la planta tiene un alelo recesivo, el mismo se expresa dando plantas de menor altura y de menor peso de granos, pero da mayores días de macollaje pudiendo formar mayor número de espigas fértiles. El período crítico abarca aproximadamente 20 días previos a la floración, y 10 días posteriores a la aparición de las anteras en la espiga. El número de granos por espiga y el peso de los mismos, son los que influyen más sobre el rendimiento. En EE1, Carumbé es la variable que acumula mayor cantidad de materia seca y como es característico menor cantidad de granos que son más pesados a diferencia de Ceibo que ocurre lo contrario. La población Mo1 muestra valores intermedios entre Ceibo y Carumbé, algo esperable considerando que fue obtenida del cruzamiento de estas dos líneas. En TE1, Carumbé presenta mayor susceptibilidad frente a un estrés hídrico. Los ciclos son más largos en EE1 con respecto a EE2. El desempeño de las líneas parentales fue como se esperaba. En el caso de Ceibo, presentó bajo PMG compensado por un alto grm2, y Carumbé generó menor número de granos, pero con mayor peso de los mismos. Esta última, demostró tener un elevado potencial de rendimiento en ambas localidades, así como también su susceptibilidad frente a un estrés hídrico generado por anegamiento. En cuanto a la población la variable que presenta mayor correlación con el rendimiento para ambos ensayos es Grm2. Esto se explica porque los diferentes ambientes no presentan ningún tipo de correlación. Para el gen *Denso* en EE1, el grupo 1 presentó el alelo de semienanismo con efecto pleiotrópico en la duración del ciclo, generando 5 días más a antesis. En EE1, para el gen *Eps2s*, las plantas del grupo 1, presentaron mayor Gran/esp, y menor P1. El grupo 2, presentó menor Gran/esp y mayor proporción de P1. El tercer gen estudiado, *Ppd-h1* influyó en la etapa de concreción de rendimiento. Ceibo presenta una mayor plasticidad frente a un stress, dado fundamentalmente por ser una línea de ciclo más largo y con respuesta al fotoperíodo.

Palabras clave: *Hordeum vulgare* L.; Fenología; Bases genéticas; Cebada cervecera.

7. SUMMARY

Barley (*Hordeum vulgare* L.), winter crop, has been used for many years for food purposes. In Uruguay, it is currently strongly linked to the malting industry. The different stages of the cycle of this species are governed by the interaction between the photoperiod and temperature factors. Also, the choice of the cultivar and the date of sowing strongly influence the crop cycle. This will determine its potential to generate more or less vegetative growth and a greater or lesser number of floral structures, which translates into different source-pit relations. Photoperiod, temperature, precocity per se and vernalization, are the factors that influence the growth and development of the crop. The planting season of barley in Uruguay has been advanced in recent years, going from July-August sowings to sowings from mid-May to late June. The ranges of planting density range from 20 to 45 plants / m linear, the optimum being 35 plants / m linear. The tillering is the process in which the buds located in the armpits of the leaves originate new tillers, whose growth points are equal in structure to those that originated them. One of the genes that acts at this stage is the *Denso* dwarfing locus that can influence the expression of quantitative characters in spring barley. If the plant has a recessive allele, it expresses itself by giving plants of lower height and less weight of grains, but it gives greater days of tillering, being able to form a greater number of fertile spikes. The critical period covers approximately 20 days before flowering, and 10 days after the appearance of the anthers on the spike. The number of grains per spike and the weight of them, are those that influence more on the performance. In EE1, Carumbé is the variable that accumulates the highest amount of dry matter and, as it is characteristic, a smaller amount of grains that are heavier than Ceibo, which is the opposite. The Mo1 population shows intermediate values between Ceibo and Carumbé, something expected considering that it was obtained from the crossing of these two lines. In TE1, Carumbé presents greater susceptibility to water stress. The cycles are longer in EE1 with respect to EE2. The performance of the parent lines was as expected. In the case of Ceibo, it presented low PMG compensated by a high *grm2*, and Carumbé generated less number of grains, but with a greater weight of the same. The latter proved to have a high yield potential in both locations, as well as its susceptibility to water stress generated by waterlogging. Regarding the population, the variable that presents the highest correlation with performance for both trials is *Grm2*. This is explained because the different environments do not present any type of correlation. For the *Denso* gene in EE1, group 1 presented the allele of semienanism with pleiotropic effect in the duration of the cycle, generating 5 more days before anthesis. In EE1, for the *Eps2s* gene, the plants in group 1 presented higher *Gran / esp*, and lower *P1*. Group 2, presented smaller *Gran / esp* and greater proportion of *P1*. The third gene studied, *Ppd-h1*, influenced the performance stage. Ceibo presents a greater plasticity in front of a stress, given mainly by being a longer cycle line and with response to the photoperiod.

Keywords: *Hordeum vulgare* L.; Phenology; Genetic bases; Brewing barley.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Appleyard, M.; Kirby, E.; Fellowes, G. 1982. Relationships between the duration of phases in the pre-anthesis life cycle of spring barley. *Australian Journal of Agricultural Research*. 33 (6):917-925.
2. Arias, G. 1995. Mejoramiento genético y producción de cebada cervecera en América del Sur. Santiago, FAO. 157 p.
3. Arisnabarreta, S., Miralles, D. 2006. Yield Responsiveness in Two- and Six-Rowed Barley Grown in Contrasting Nitrogen Environments. (en línea). *Journal of Agronomy and Crop Science*. 192 (3): 178-185. Consultado 20 set. 2018. Disponible en [10.1111/j.1439-037X.2006.00203.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2006.00203.x)
4. Bianco, M. 2005. Públicos y privados en la investigación agraria: el caso de la mesa nacional de entidades de cebada cervecera. Montevideo, DYNACIT. 59 p.
5. Boyd, W.; Li, C.; Grime, C.; Cakir, M.; Potipibool, S.; Kaveeta, L.; Men, S.; Jalal Kamali, M.; Barr, A.; Moody, D.; Lance, R.; Logue, S.; Raman, H.; Read, B. 2003. Conventional and molecular genetic analysis of factors contributing to variation in the timing of heading among spring barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes grown over a mild winter growing season. *Australian Journal of Agricultural Research*. 54(12): 1277-1301.
6. Brandariz, S. 2013. Mapeo asociativo para fenología en el cultivo de cebada. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 75 p.
7. Castro, A. 1997. Cebada. 3ª. ed. Paysandú, Facultad de Agronomía. 124 p.
8. Castro, A.; Hoffman, E.; Ernst, O. 1993. Caracterización y agrupamiento de 11 cultivares de cebada cervecera por ciclo, rendimiento en grano, sus componentes y calidad industrial. In: Reunión Nacional de Entidades de Cebada Cervecera (4ª., 1993, Palmar, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, Uruguay, INIA. pp. 42-48.
9. _____; Ernst, O.; Hoffman, E.; Bentancur, O. 1997. Caracterización del germoplasma de cebada en Uruguay, de acuerdo a variables agronómicas y de calidad de grano. *Agrociencia (Uruguay)*. 6(1): 27-39.

10. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, IT). 2017. FAOSTAT. (en línea). Roma. s.p. Consultado ago. 2018. Disponible en <http://www.fao.org/faostat/en/>
11. Flood, R.; Halloran, G. 1984. Temperature as a component of the expression of developmental responses in wheat. *Euphytica*. 33(1): 91–98.
12. Franckowiak, J.; Yu, G.; Krasheninnik, N. 2003. Genetic control of photoperiod responses in spring barley. *In*: Canadian Barley Symposium (3rd., 2003, Red Deer, Alberta). Proceedings. Alberta, s.e. p. 98.
13. Harlan, J. R. 1976. Barley, *Hordeum vulgare* (Graminea-triticinae). *In*: Simmonds, N. W. ed. Evolution of Crop Plants. London, Longman. pp. 93-98.
14. Hay, R. K. M.; Ellis, R. P. 1998. The control of flowering in wheat and barley: what recent advances in molecular genetics can reveal. *Annals of Botany*. 82(5): 541–554.
15. Hoffman, E.; Ernst, O.; Brassetti, D.; Bentancur, O. 1993. Análisis y caracterización de patrones de crecimiento inicial en 11 variedades de cebada cervecera. *In*: Reunión Nacional de Entidades de Cebada Cervecera (4^a., 1993, Palmar, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, Uruguay, INIA. pp. 19-32.
16. _____; Fassana, C.; Akerman, A.; Rivoir, P. 2015. Informe del Programa de caracterización de cultivares de cebada cervecera: año 2014. (en línea). Paysandú, Facultad de Agronomía. EEMAC. 23 p. Consultado dic. 2014. Disponible en <http://www.eemac.edu.uy/index.php/publicaciones-new/documentos-de-investigacion/jornada-de-cultivos-de-invierno/informes-caracterizacion-trigo-y-cebada/caracterizacion-de-cultivares-de-cebada/419-informe-caracterizacion-cebada-2015-fagro-2016-1>
17. Igartua, E.; Cuesta-Marcos, A.; Lasa, J.; Gracia, M.; Yahiaoui, S.; Molina-Cano, J.; Ciudad, F.; Casas, A. 2008. Fenología y adaptación de la cebada. *In*: Ávila, C.; Atienza, S.; Moreno, M.; Cubero, J. eds. La adaptación al ambiente y los estreses abióticos en la mejora vegetal. Sevilla, Junta de Andalucía. Dirección General de Planificación y Análisis de Mercados. Servicio de Publicaciones y Divulgación. pp. 159-182.

18. Kato, K.; Miura, H.; Sawada, S. 2002. Characterization of QEet.ocs-5A.1, a quantitative trait locus for ear emergence time on wheat chromosome 5AL. *Plant Breeding*. 121(5): 389-393.
19. Laurie, D. A.; Pratchett, N.; Bezant, J. H.; Snape, J. W. 1995. RFLP mapping of five major genes and eight quantitative trait loci controlling flowering time in a winter × spring barley (*Hordeum vulgare* L.) cross. *Genome*. 38:575–585.
20. Locatelli, A. 2011. Bases genéticas de las variables agronómicas de interés local en el germoplasma de cebada (*Hordeum vulgare* L.) utilizado en Uruguay. Tesis Maestría en Ciencias Agrarias. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 88 p.
21. Luizzi, D. Torres, D. s.f. Cebada. Paysandú, Facultad de Agronomía. 73 p.
22. Mastandrea, N. 2015. Variabilidad en la duración de los ciclos y sub fases dentro del germoplasma de cebada cervecera (*Hordeum vulgare* L.) utilizado en Uruguay. Tesis Licenciado en Ciencias Biológicas orientación Biotecnología. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Ciencias. 66 p.
23. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Económicas Agropecuarias, UY). 2018. Anuario estadístico agropecuario 2018. Montevideo. pp. 74 - 83.
24. Miralles, D.; González, F.; Abeledo, L.; Serrago, R.; Alzueta, I.; García, G.; de San Celedonio, R.; lo Valvo, P. 2014. Manual de trigo y cebada para el cono sur: procesos fisiológicos y bases de manejo. s.l., CYTED. 35 p.
25. Poehlman, J. M. 1985. Adaptation and distribution. In: Rasmusson, D. C. ed. *Barley*. Madison, Wisconsin, ASA. pp. 1-17 (Agronomy no. 26).
26. Rey de las Moras, M. C. 2008. Factores que influyen en el desarrollo: el fotoperiodo. *Fisiología de los cultivos. Agricultura Revista Agropecuaria*. no. 913: 920-922.
27. Roberts, E. H.; Semmerfeld, R. J.; Cooper, J. P.; Ellis, R. H. 1988. Environmental control of flowering in barley (*H. vulgare* L.) I. Photoperiod limits to long day responses, photoperiod-insensitivity phases and the effect of low temperature and short day vernalization. *Annals of Botany*. 62 (2): 127-144.

28. Salisbury, F. B.; Ross, C. W. 1992. Hormones and growth regulators: auxins and gibberellins. In: Salisbury, F. B.; Ross, C. W. eds. *Plant Physiology*. Belmont, CA, Wadsworth. pp. 357–381.
29. Silveira, M. 2008. Caracterización genómica de variables agronómicas en cebada cervecera (*Hordeum vulgare* L.). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 82 p.
30. Slafer, G. A.; Rawson, H. M. 1994. Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: a reexamination of some assumptions made by physiologists and modellers. *Australian Journal of Plant Physiology*. 21 (4): 393-426.
31. Turner, A.; Beales, J.; Faure, S.; Dunford, R. P.; Laurie, D. A. 2005. The pseudo-response regulator *Ppd-h1* provides adaptation to photoperiod in barley. *Science*. 310 (5750): 1031-1034.
32. Viega, L.; Hoffman, E.; Ducamp, F.; Mazzilli, S. 2005. Potencial de producción de cebada cervecera en Uruguay: definición del número de granos por espiga. Facultad de Agronomía (Montevideo). Notas técnicas. no. 52. 20 p.
33. Von Zitzewitz, J.; Cuesta-Marcos, A.; Condon, F.; Castro, A.; Chao, S.; Corey, A.; Filichkin, T.; Fisk, S. P.; Gutierrez, L.; Haggard, K.; Karsai, I.; Muehlbauer, G. J.; Smith, K. P.; Veisz, O.; Patrick, H. M. 2011. The genetics of winterhardiness in barley; perspectives from genome-wide association mapping. *The Plant Genome*. 4 (1): 76-91.
34. Wiebe, G. 1979. Introduction of barley into the new world. In: *Barley: origin, botany, culture, winter hardiness, genetics, utilization, pests*. Washington, D. C., USDA. ARS. pp. 2-9 (Agriculture Handbook no. 338).
35. Zadoks, J. C.; Chang, T. T.; Konzak, C. F. 1974. A decimal code for the growth stage of cereals. *Weed Research*. 14 (6): 415- 421.
36. Zhou, M. X. 2009. Barley production and consumption: introduction. In: Zhang, G.; Li, C. eds. *Genetics and improvement of barley malt quality*. Zhejiang, Zhejiang University Press/Springer. pp. 1-2.