

**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**ESCUELA DE PREGRADO**

**MEMORIA DE TÍTULO**

**EFFECTO DE LOS PRECULTIVOS SOBRE EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE  
TRIGO (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum*) EN UN AMBIENTE DE SECANO  
MEDITERRÁNEO.**

**CAROLINA MARCELA GONZÁLEZ AGUAYO**

**SANTIAGO, CHILE**

**2012**

**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**EFFECTO DE LOS PRECULTIVOS SOBRE EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE  
TRIGO (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum*) EN UN AMBIENTE DE SECANO  
MEDITERRÁNEO.**

**EFFECT OF THE PRE CROPS ON YIELD AND QUALITY OF WHEAT (*Triticum  
turgidum* L. ssp. *durum*) UNDER MEDITERRANEAN RAINFED ENVIRONMENT.**

**CAROLINA MARCELA GONZÁLEZ AGUAYO**

SANTIAGO, CHILE

2012

UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
ESCUELA DE PREGRADO

Título:

**EFFECTO DE LOS PRECULTIVOS SOBRE EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE  
TRIGO (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum*) EN UN AMBIENTE DE SECANO  
MEDITERRÁNEO.**

Memoria para optar por el título profesional de Ingeniera Agrónoma  
Mención en Fitotécnia

**Carolina Marcela González Aguayo**

**Profesores Guías**

**Calificaciones:**

Sra. Paola Silva C.  
Ingeniero Agrónomo, M.S., Dra.

6.5

Sr. Edmundo Acevedo H.  
Ingeniero Agrónomo, M.S., Ph D.

6.0

**Profesores Evaluadores**

Sra. Cecilia Baginsky G.  
Ingeniero Agrónomo, Dra.

6.0

Sra. Verónica Díaz M.  
Ingeniero Agrónomo, M. S

6.8

SANTIAGO – CHILE  
2012

## AGRADECIMIENTOS

A mi familia, a mi Papá y a mi Mamá, por su eterno cariño, comprensión y apoyo durante toda la vida. Por entregarse por completo a sus hijos, preocuparse de entregarnos la mejor educación y por hacerme feliz. A mi hermano, por hacerme reír gran parte de mi vida y por todo el cariño que me entrega. A mi Titá, por se mi fans número uno.

Al laboratorio de SAP, y en especial a mis profesores Paola y Edmundo, por sus aportes, comentarios e importantes aportes en esta investigación.

A Rosa Peralta, don Pato Luffí, don Luis Díaz y don Manuel Flores, por el cariño, sabios consejos, apoyo y por llevar a cabo en terreno lo que en papel se planea.

A Nicolás Gomara, Marco Garrido (asesor estadístico honorífico), Pablo Cortés, Carla Soto, Ignacio Guajardo, mis compañeros de laboratorio y amigos, que sin duda hicieron de mi estadía en él mucho más entretenida. Gracias por las ayudas en el campo, por el trabajo en equipo, por las risas y los aportes a esta memoria.

A Guido y Carlos quienes se motivaron y me apoyaron en las labores de terreno durante la realización de mi ensayo, sólo por su interés en aprender.

A mis queridos amigos antumapinos, Valerie Couve, Andrea Mejías, Daniela Barra, Daniela Soto, Ignacio Otaiza y Matías Bustamante, quienes me aconsejaron y acompañaron en distintos momentos a lo largo de mi carrera. Por hacer estos años los mejores.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	1
Palabras Claves.....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	2
Key Words.....	2
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	3
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	6
Lugar de Estudio.....	6
Metodología.....	6
Tratamientos y Diseño Experimental .....	6
Manejo del Ensayo.....	7
Variables Medidas.....	7
Fenología.....	7
Establecimiento .....	7
Biomasa, Rendimiento, Índice de Cosecha y Componentes del Rendimiento.....	7
Contenido de Proteína.....	8
Peso del Hectólitro.....	8
Contenido de agua del suelo.....	8
Contenido de nitrógeno del suelo.....	8
Datos Climáticos.....	8
Análisis Estadístico.....	8
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	9
Información Meteorológica.....	9
Contenido de nitrógeno disponible del suelo.....	10
Contenido de agua del suelo.....	12
Establecimiento .....	14
Fenología del cultivo.....	15
Biomasa, Rendimiento, Índice de Cosecha y Componentes del Rendimiento.....	16
Peso del Hectólitro y Proteína de los granos.....	18
<b>CONCLUSIONES</b> .....	21
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	22
<b>APÉNDICE I</b> .....	27
<b>APÉNDICE II</b> .....	29

## RESUMEN

El uso de las rotaciones de cultivo bajo condiciones de secano es una alternativa empleada en la agricultura para generar sistemas agrícolas más sustentables y productivos. De estas se puede obtener beneficios como el aporte de nitrógeno al suelo y la interrupción en el ciclo de enfermedades.

En la temporada 2010 se sembró trigo candeal variedad Llareta INIA posterior a arveja (*Pisum sativum* L.), haba (*Vicia faba* L.), raps (*Brassica napus* L.) y trigo candeal con el fin de estudiar el efecto de precultivos en la calidad y rendimiento de trigo candeal (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum*) en condiciones de secano mediterráneo de la zona central de Chile. La precipitación alcanzó 230 mm durante el ciclo del cultivo. Para aislar el efecto del precultivo asociado a nitrógeno se aplicó 2 dosis de fertilizante nitrogenado (0 y 160 Kg N ha<sup>-1</sup>).

Los resultados mostraron que haba fue la leguminosa que aportó más nitrógeno a la siembra (44,4 kg N ha<sup>-1</sup>). El rendimiento se vio afectado de manera negativa principalmente por las bajas precipitaciones de la temporada y la aplicación de N, produciéndose un fenómeno de “haying-off”. El tratamiento de 160 Kg N ha<sup>-1</sup> produjo una mayor biomasa, que se reflejó en mayor número de espigas por superficie, pero bajo rendimiento, producto de un menor peso de granos y menos granos por espiga. Los tratamientos sin fertilización nitrogenada tendieron a conservar más agua en el suelo durante la temporada, mientras que los distintos precultivos no generaron diferencias en el contenido de agua del suelo. Los precultivos sólo generaron diferencias significativas en el peso de los granos y el mayor peso se obtuvo con el precultivo haba, debido a un menor número de granos por superficie. Todos los tratamientos superaron el 12% de proteína, mínimo exigido por la industria, mientras que para peso del hectolitro sólo los tratamientos sin fertilización nitrogenada superaron 78 kg hL<sup>-1</sup> que bonifica la industria.

Se concluye que, bajo las condiciones extremadamente secas de la temporada el uso de precultivos no provocó diferencias en el rendimiento ni en la calidad del trigo candeal. El uso de haba como precultivo aportó el mayor contenido de nitrógeno disponible previo a la siembra de trigo candeal. La metodología aplicada no permitió detectar si el uso de precultivos tuvo efecto en el contenido de agua del suelo.

**Palabras Clave:** rotación, arveja, haba, raps, haying-off, nitrógeno

## ABSTRACT

The use of crop rotations under rainfed conditions is an alternative used in agriculture to generate more sustainable agricultural and productive systems. The benefits that are generated from them may be soil nitrogen input and disrupt disease cycle.

Season 2010 the variety Llaretta INIA was planted after pea (*Pisum sativum* L.), faba bean (*Vicia faba* L.), canola (*Brassica napus* L.) and durum wheat to study the effect of precultures in the quality and yield of wheat (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum*) under central rainfed Mediterranean condition in Chile. The rainfall reached 230 mm during the crop cycle. To isolate the effect of pre-culture not associated with nitrogen was applied 2 doses of nitrogen fertilizer (0 and 160 kg N ha<sup>-1</sup>).

The results showed that the legume faba bean provided more nitrogen at pre sowing (44,4 kg N ha<sup>-1</sup>). Yield was negatively affected mainly by low rainfall of the season and the application of N, leading to a phenomenon of "haying-off". The treatments of 160 kg N ha<sup>-1</sup> produced greater biomass, which was reflected in a greater number of spikes per surface, but low yield, due to a lower grain weight and fewer grains per spike. Treatments without nitrogen fertilization tended to keep more water in the soil during the season, whereas preculture treatments didn't generate different in soil water content. The precultures only generated significant differences in grain weight and greater weight was obtained with faba bean, due to a lower number of kernels per area. All treatments exceeded 12% of protein, minimum required by the industry, but only treatments without nitrogen fertilization exceeding 78 Kg hL<sup>-1</sup>, that the industry subsidizes.

Finally we can conclude that, under the extremely dry conditions of the season, the use of precultures did not improve the durum wheat yield nor the quality. The use of faba bean as preculture contributed the highest content of available nitrogen before sowing of wheat. The methodology applied does not allow detecting if the use of precultures causes effects in the soil water content.

**Key Words:** crop rotation, pea, faba bean, canola, haying-off, nitrogen fertilization

## INTRODUCCION

El trigo es el cultivo de mayor superficie sembrada a nivel mundial, con más de 217 millones de hectáreas (FAOSTAT, 2010), de las cuales sólo el 10% corresponde a trigo candeal (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum*) (Acevedo y Silva, 2007). En Chile y en el mundo el trigo candeal o trigo duro es utilizado principalmente para la producción de pastas, sémola, cous-cous. En el periodo 2010/2011 Chile sembró 14.355 hectáreas de trigo candeal, con un rendimiento promedio nacional  $66,7 \text{ qq ha}^{-1}$  (Instituto Nacional de Estadística, 2010). La producción se concentra entre las regiones Metropolitana y del Biobío en condiciones de clima mediterráneo (Acevedo y Silva, 2007).

El clima mediterráneo, está presente en pocas áreas del mundo (Ryan *et al.*, 2008). Se distingue por tener una temporada fría y húmeda en invierno, seguida de una cálida y seca en verano. Este tipo de ambiente influye en las características de los granos, la alta temperatura durante la fase final del llenado de granos puede aumentar el contenido de proteína (%) (Rharrabi *et al.*, 2003). Sin embargo, para cultivos que se desarrollan en condiciones de secano, el estrés hídrico de final de primavera y verano impone una restricción en el rendimiento del trigo durante la última fase de su ciclo. Además, estos ambientes presentan variaciones en la precipitación entre años, lo que se traduce en alta variabilidad en rendimiento entre cada temporada (Albeledo *et al.*, 2008). El déficit hídrico durante la antesis disminuye el rendimiento producto de una reducción en el número de espigas y espiguillas y de la fertilidad en las espigas sobrevivientes (García del Moral *et al.*, 2003). Mientras que el déficit durante el llenado de granos reduce el peso de los granos (Karam *et al.*, 2009).

Las rotaciones de cultivos en condiciones de secano han permitido mejorar la sustentabilidad del recurso suelo. Sin embargo, algunos autores defienden el monocultivo de trigo, argumentando que se pueden lograr beneficios económicos de la especialización en un cultivo (Cook *et al.*, 2004). Los mismos autores señalan que es posible realizar monocultivo mientras se tenga conciencia de que influye en el aumento de la incidencia de patógenos asociados al trigo (*Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Gaemannomices* y otros). Mediante el correcto uso de plaguicidas, sumado al uso de variedades resistentes, se podría evitar la declinación de los rendimientos. Mera y Rouanet (2003) concluyeron además, que el monocultivo es posible si se efectúa una fertilización adecuada. Sin embargo, el uso de monocultivo, como el de barbecho, ha ido perdiendo conveniencia y utilidad producto de nuevas tendencias que pretenden evitar el uso excesivo de insumos, y además por la necesidad de hacer sistemas agrícolas más productivos (Ryan *et al.*, 2008).

Numerosos estudios hablan del beneficio de las leguminosas en la rotación de cultivos. Kirkegaard *et al.* (2008) señalan que el rendimiento de trigo después de cultivos como arveja, lupino, haba, garbanzo, entre otros, puede lograr beneficios en rendimiento, del orden de 30 a 50 % comparado con monocultivo de trigo. La capacidad simbiótica de fijación de nitrógeno de las leguminosas les otorga una ventaja, es así como la arveja (*Pisum*

*sativum*) puede llegar a fijar cantidades tan allá como 174–196 Kg ha<sup>-1</sup> de (Mera y Rouanet, 2003). Datos de Mera y Rouanet (2003) mostraron que en una rotación arveja-trigo se requieren entre 19 y 75 Kg ha<sup>-1</sup> menos de N para el trigo, el que a su vez aumentó el rendimiento en 500 kg ha<sup>-1</sup>, mientras que el contenido de proteína subió en un 2%. En contraste, Carr *et al.* (2008) en un ensayo establecido en secano de clima templado, no encontraron diferencias para contenido de proteína entre la rotación que incluía arveja y el monocultivo de trigo, pero encontraron beneficios de la rotación para rendimiento, peso de los granos y peso del hectolitro. El haba (*Vicia faba*) fija simbióticamente entre 178-251 Kg ha<sup>-1</sup> de N, dejando aproximadamente 70 Kg ha<sup>-1</sup> de N en los primeros 60 cm se suelo de (Mera y Rouanet, 2003). Este cultivo puede aumentar el rendimiento de trigo en 80% y el contenido de proteína hasta en 8% comparado con trigo continuo (Mera y Rouanet, 2003). López-Bellido *et al.* (2003) registraron un rendimiento en trigo de 3.7 Mg ha<sup>-1</sup> para la rotación trigo-haba usando labranza convencional, similar al obtenido con una fertilización de 100 Kg ha<sup>-1</sup> de N.

Diversos estudios indican los beneficios de que quiebran o interrumpen el ciclo de enfermedades (“break crops”), en las rotaciones. Por ejemplo, Kirkegaard *et al.* (2008) señalan que la rotación con estos cultivos pueden generar beneficios en el rendimiento y calidad y además servir como una estrategia muy efectiva para el control de plagas y enfermedades del trigo como mal del pie (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*). Ryan *et al.* (2008) señalan que existen beneficios adicionales en términos de la materia orgánica del suelo, que es importante para la formación de agregados, mantención de la humedad y promoción de la actividad biológica.

Oleaginosas como el raps (*Brassica napus*), son capaces de eliminar organismos patógenos del suelo mediante la producción de exudados radicales como los isotiacianatos (ITC<sub>s</sub>). Este fenómeno denominado biofumigación, puede ser eficiente en la supresión de agentes tan problemáticos para el trigo como el causante del mal del pie (Kirkegaard *et al.*, 2008). Ryan *et al.* (2006) encontraron que el uso de brásicas aumenta el contenido de N mineral en los primeros 5 a 10 cm del suelo, llegando a tener acumulaciones similares a las de arveja. Este efecto no tiene una explicación clara, pero factores como la producción de ITC<sub>s</sub> radicales que provocan un cambio en la comunidad microbiológica del suelo y la alta labilidad de los compuestos que forman los tejidos radicales y aéreos explicarían parte de la acumulación de N mineral (Ryan *et al.*, 2006). Por otro lado, el raps, debido a su sistema radical pivotante, genera una mayor cantidad de macroporos y a la vez permite una mayor capacidad de exploración radicular del trigo (Kirkegaard *et al.*, 1994).

Esta investigación plantea la siguiente hipótesis:

Los precultivos de arveja (*Pisum sativum* L.), haba (*Vicia faba* L.) y raps (*Brassica napus* L.) mejoran la calidad y rendimiento de trigo candeal, variedad Llareta INIA, bajo condiciones de secano mediterráneo.

El objetivo general del estudio fue determinar el efecto de los precultivos de arveja, haba y raps en la calidad y rendimiento de trigo candeal (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum*) bajo secano mediterráneo.

Los objetivos específicos fueron:

Evaluar el rendimiento de trigo candeal proveniente de los precultivos.

Evaluar el contenido de proteína y peso del hectolitro del grano de trigo proveniente de los precultivos.

Evaluar el aporte de nitrógeno al suelo de los precultivos.

Evaluar el contenido de agua del suelo proveniente de los precultivos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Lugar de Estudio

Esta experiencia se llevó a cabo en la Estación Experimental Antumapu de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, Región Metropolitana (33°34' LS y 70°38' LO). El clima es templado mediterráneo semiárido, con veranos secos y cálidos e inviernos fríos y húmedos. Su temperatura varía entre máxima media de 28,2 °C en Enero y mínima media de 4,4 °C en Julio. Posee un periodo libre de heladas de 231 días, con un promedio de heladas de 11 al año. La precipitación es invernal, con una media anual de 350 mm y un período seco de 8 meses entre Septiembre y Abril (Santibañez y Uribe, 1990). El suelo es de origen aluvial y pertenece a la Serie de Suelos Santiago, que se caracteriza por presentar una topografía plana, ligeramente profundo (CIREN, 1996).

### Metodología

#### Tratamientos y Diseño experimental.

Los tratamientos incluyeron dos factores: fertilización nitrogenada y precultivos, con dos y cuatro niveles, respectivamente (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Niveles de los factores fertilización nitrogenada y precultivo.

Fertilización Nitrogenada (kg ha <sup>-1</sup> )	Precultivo
160	Arveja
160	Haba
160	Raps
160	Trigo
0	Arveja
0	Haba
0	Raps
0	Trigo

Los tratamientos sin nitrógeno se utilizaron con el objetivo de cuantificar el aporte de N del precultivo. Mientras que los tratamientos con nitrógeno se hicieron con el objeto de cuantificar otros efectos generados por el precultivo, no asociados a su aporte de N.

Los precultivos (arveja, haba, raps y trigo) estuvieron presentes la temporada anterior a la de este ensayo. Durante este ensayo solo se sembró y analizó trigo candeal.

El diseño experimental correspondió a parcelas divididas en bloques completos al azar, con 4 repeticiones, donde la parcela principal fue la aplicación de nitrógeno (con y sin N) y la sub parcela correspondió a los precultivos (trigo, arveja, haba y raps). El tamaño de la unidad experimental (sub parcela) fue 5,5 m de ancho por 10 m de largo.

### **Manejo del Ensayo**

El suelo se preparó con arado de vertedera y 2 pasadas de rastra. La siembra se realizó el 20 de Mayo de 2010 con trigo candeal variedad Llaretta INIA. Se usó una sembradora SEMEATO (modelo SHMA/13, fabricada en Brasil). La distancia entre hilera fue de 20 cm, y la población objetivo fue de 250 plantas  $m^{-2}$ , la dosis de semilla fue de 150 kg  $ha^{-1}$ .

Respecto a la fertilización, se aplicó 120 Kg  $P_2O_5$   $ha^{-1}$  a la siembra como superfosfato triple a todo el ensayo. En los tratamientos con N se aplicó 160 Kg N  $ha^{-1}$  en forma de urea, parcializado un tercio a la siembra y dos tercios en Zadoks 31 (primer nudo visible). La dosis fue calculada para un rendimiento esperado de 50 qq  $ha^{-1}$  y 12% de proteína en los granos. Durante el mes de octubre se realizó un riego por aspersión de 30 mm a todo el ensayo en Zadoks 45 para disminuir el efecto del estrés hídrico extremo de la temporada.

Se controlaron plagas y enfermedades durante todo el ciclo del cultivo, con la aplicación de herbicidas, fungicidas e insecticidas, según Apéndice I.

### **Variables medidas**

**Fenología:** Se determinó el estado fenológico del cultivo mediante la escala descrita por Zadoks *et al.* (1974). Para ello, las observaciones fueron semanales y consideró la parcela en el estado de desarrollo indicado cuando el 50% de las plantas de la parcela presentó el estado.

**Establecimiento:** Con el 50% de las plantas en el estado de Zadoks 12 (plantas de 2 hojas), se determinó el establecimiento de cada parcela. Se utilizó una vara de 1 m que fue lanzada 4 veces al azar por unidad experimental, obteniendo el número de plantas por metro lineal, resultado que posteriormente se expresó en plantas  $m^{-2}$ .

**Biomasa, Rendimiento, Índice de Cosecha y Componentes del Rendimiento:** Se cosecharon 2  $m^2$  en cada unidad experimental a ras de suelo en cada parcela. Se determinó biomasa (kg  $ha^{-1}$ ), rendimiento de grano (kg  $ha^{-1}$ ), índice de cosecha (IC), peso de granos (g), granos por metro cuadrado (granos  $m^{-2}$ ), espigas por metro cuadrado (espigas  $m^{-2}$ ) y granos por espiga. Los valores se expresaron a 0% de contenido de humedad. La metodología usada en la cosecha se presenta en el Apéndice I.

**Contenido de proteína:** Las muestras fueron enviadas a análisis a INIA Quilamapu. Para determinar el contenido de proteína se usó el método NIRs (Espectroscopia de Infrarrojo cercano).

**Peso del Hectolitro:** Las muestras se enviaron al laboratorio de análisis de INIA Quilamapu, donde se obtuvo el peso de los granos en un volumen de 100 litros ( $\text{kg hL}^{-1}$ ).

**Contenido de agua del suelo:** Se midió cada 2 semanas desde el 11 de junio y semanalmente a partir del 15 de agosto hasta que el contenido de agua en el suelo se volvió constante. Se utilizó una sonda FDR (Diviner 2000), que midió el contenido de agua a intervalos de 10 cm, hasta una profundidad de 50 cm.

**Contenido de nitrógeno del suelo:** Se tomaron muestras con barreno de los primeros 20 cm de suelo en 2 ocasiones: previo a la siembra de trigo, antes de que se aplicara la primera dosis de fertilizante nitrogenado. El segundo muestreo se realizó al estado de primer nudo de las plantas de trigo, Zadoks 3.1. Las muestras fueron refrigeradas y enviadas al laboratorio de suelos de INIA Quilamapu. De este análisis se obtuvo el nitrógeno disponible ( $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ ), expresadas en ppm. Este valor fue transformado a  $\text{Kg N ha}^{-1}$  mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Kg N ha}^{-1} = \text{ppm} \cdot \text{prof (m)} \cdot \text{Da (g cm}^{-3}\text{)} \cdot 10$$

Se consideró una Da de  $1,38 \text{ g cm}^{-3}$  obtenida en el mismo lugar de este ensayo por Reyes *et al.* (2002)

**Datos climáticos:** Se obtuvieron los datos de precipitación y temperatura de la estación meteorológica existente en INIA La Platina, ubicada aproximadamente a 700 m del ensayo.

### Análisis Estadístico

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza para determinar diferencias entre tratamientos a un nivel de significancia del 5%. Los supuestos de normalidad y homogeneidad fueron evaluados. Cuando el tratamiento presentó diferencias significativas, las medias se sometieron a la prueba DMS de Fisher. El programa utilizado fue InfoStat® (Di Rienzo *et al.*, 2011)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Información meteorológica

En el Cuadro 2 se presenta la precipitación y temperatura en los distintos periodos fenológicos del cultivo.

**Cuadro 2.** Precipitación y temperatura asociado a distintos periodos de desarrollo del cultivo.

Período de Desarrollo	Precipitación (mm)	Temperatura	
		Máx. (°C)	Mín. (°C)
Siembra - Emergencia	24	16,4	3,2
Emergencia - Primer Nudo	109	16,2	1,6
Primer Nudo - Embuche	23	19,6	3,8
Embuche - Espigadura	0 + 30*	21,2	4,6
Espigadura – Madurez Fisiológica	44	24,0	6,8
Total:	230		

\* Riego

La mayor proporción de la precipitación ocurrió en el período entre emergencia y primer nudo y alcanzó un 47,4%. La precipitación entre embuche y espigadura fue nula por lo que se aplicó un riego de 30 mm para disminuir el efecto del estrés durante esta etapa. Entre espigadura y madurez fisiológica ocurrió una precipitación de 44 mm, aproximadamente 10 días antes de madurez fisiológica.

Fischer (1985) indica que en el período crítico para el cultivo de trigo, de 20 días previos a antesis hasta 10 días después, no debiese ocurrir ningún tipo de estrés, porque es el período donde se determina el número de granos y por ende el rendimiento. Además, investigaciones de Passioura (1996) realizadas en medio ambientes mediterráneos, señala que la demanda evapotranspirativa del cultivo se incrementa rápidamente a partir de la emergencia de la espiga (entre embuche y espigadura), lo que acentúa el déficit hídrico terminal, con el consecuente problema de acortar el periodo de llenado de granos, y con ello una disminución en el peso de los granos.

### Contenido de nitrógeno disponible en el suelo

A pre siembra sólo se disponía de los tratamientos 0 Kg N ha<sup>-1</sup>, ya que aún no se aplicó el fertilizante nitrogenado. Se encontraron diferencias significativas en nitrógeno disponible a pre siembra entre precultivos, la mayor cantidad de nitrógeno disponible ocurrió cuando el precultivo fue haba en comparación arveja, raps y trigo que fueron iguales entre si (Cuadro 3). Al estado de primer nudo, la interacción entre los factores precultivo y fertilizante nitrogenado no fue significativa. Solo se encontraron diferencias significativas para el nivel fertilización nitrogenada (Cuadro 4).

**Cuadro 3.** Contenido de nitrógeno disponible en el suelo a pre siembra

Fertilización Nitrogenada (kg ha <sup>-1</sup> )	Precultivo	Nitrógeno Disponible Pre Siembra (kg ha <sup>-1</sup> )
0	Arveja	25,8 b
0	Haba	44,4 a
0	Raps	22,6 b
0	Trigo	29,8 b

Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas según la prueba DMS de comparaciones múltiples  $p \leq 0,05$

**Cuadro 4.** Contenido de nitrógeno disponible a primer nudo

Fertilización Nitrogenada (kg ha <sup>-1</sup> )	Nitrógeno Disponible Primer Nudo (kg ha <sup>-1</sup> )
160*	27,2 a
0	14,5 b

Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas según la prueba DMS de comparaciones múltiples  $p \leq 0,05$

\* con 1/3 de la dosis total, 53 Kg ha<sup>-1</sup>

El enriquecimiento de N del suelo se genera a partir de la mineralización de la materia orgánica, del aporte de fertilizantes (orgánicos e inorgánicos) y también, en menor proporción, de la depositación atmosférica. Además cabe destacar la importancia de la fijación biológica de nitrógeno, que constituye una fuente renovable de N, favoreciendo la productividad a largo plazo de los sistemas agrícolas. Dentro de esta, la asociación de las leguminosas con bacterias del tipo *Rhizobium* y su uso en los sistemas agrícolas ha significado una economía para los costos de producción y beneficios en los rendimientos (Maddonna *et al.*, 2006).

Se afirma que gran parte del aumento en el rendimiento de trigo en Australia entre 1960 y 1980 se debió a un mejor uso de rotaciones y del nitrógeno proveniente de leguminosas (Mera y Rouanet, 2003). Diversos estudios destacan la capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico que posee el haba. La Rue y Patterson (1981) indican que esta puede fijar 298 kg N ha<sup>-1</sup> mientras arveja fija 64 kg N ha<sup>-1</sup>, en promedio al año, Jensen *et al.* (2010) señalan que la estructura vegetal del haba contiene un 17,3 % más de nitrógeno atmosférico que otras especies de leguminosas, incluida la arveja, lo que es relevante si se incorpora con la labranza. Además sugieren que al establecer un cultivo de haba previo a la siembra de trigo genera un ahorro de 30 kg de fertilizante nitrogenado por hectárea. Para este experimento el haba también resultó ser el precultivo que dejó la mayor cantidad de nitrógeno en el suelo a la siembra.

El nitrógeno varía considerablemente en cantidad en el suelo, comparado con otros elementos. Su cambio en el tiempo se debe a que este interactúa con factores bióticos (microorganismo y el cultivo) o abióticos (agua, oxígeno, temperatura, pH del suelo, entre otros) (Slafer *et al.*, 2006), además existen procesos que generan la pérdida temporal (inmovilización) o permanente (volatilización, desnitrificación y lixiviación) del nitrógeno del suelo.

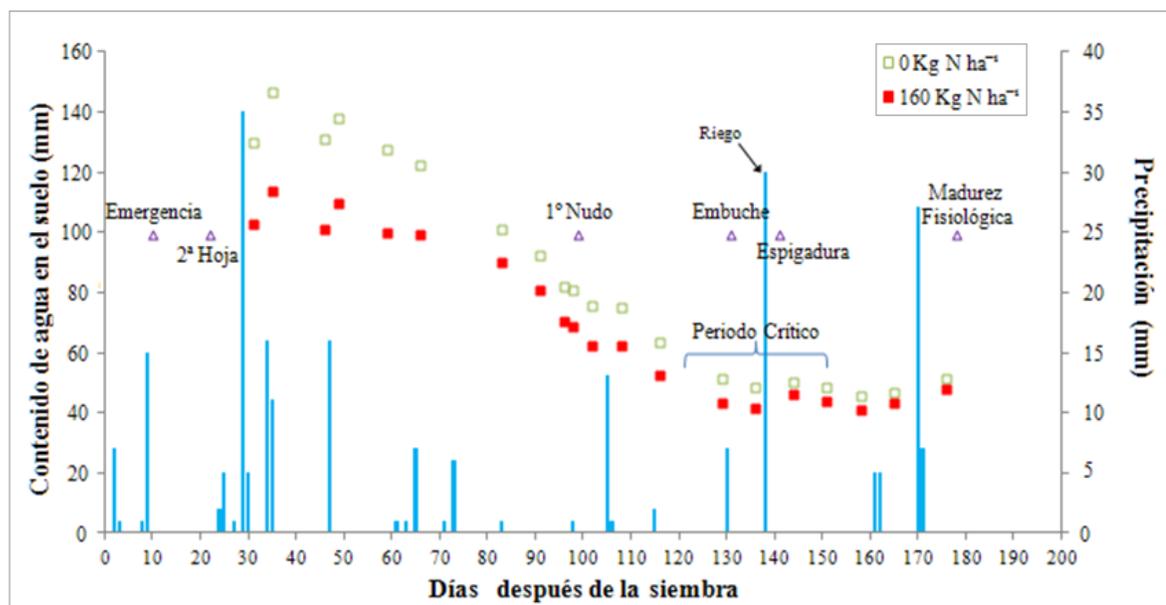
El nitrógeno aportado por el haba previo a la siembra de trigo disminuyó a través de la temporada y no fue significativo a primer nudo. Esta disminución se puede deber a la acción de las precipitaciones y también al efecto que tiene el cultivo en la extracción del nitrógeno del suelo.

Por un lado es probable que se haya producido la lixiviación del nitrógeno mineral aportado por el haba, ya que un 57,8% de la precipitación de la temporada cayó entre siembra y primer nudo. Según Navarro y Navarro (2003) el nitrógeno nítrico, que forma parte importante del nitrógeno mineral del suelo, es más abundante que el amonio y tiene un mayor porcentaje de solubilidad en agua y es muy poco probable que sea retenido por los coloides del suelo. Desciende arrastrado por el agua a una velocidad que dependerá de la textura del suelo y movimiento del agua, por ello y debido a que el suelo del lugar de estudio posee textura franco arcillo arenosa y buen drenaje (Comisión Nacional de Riego, 1981), las pérdidas por lixiviación se acentúan.

El cultivo es un factor importante en la disminución del nitrógeno del suelo, ya que este lo absorbe para la producción de biomasa y granos, por lo que al llegar a madurez solo parte del nitrógeno quedará remanente en el suelo. El N utilizado por la planta puede exportarse junto con los granos o quedar en el rastrojo, así por ejemplo, Slafer *et al.* (2006) determinaron que de la producción de trigo cerca del 70% del nitrógeno absorbido se utiliza para la producción de granos (y es sacado del sistema) y el 30% restante queda en el rastrojo (Slafer *et al.*, 2006).

## Contenido de agua en el suelo

En la Figura 1 se observa el contenido de agua del suelo para los 2 niveles de fertilización nitrogenada y la precipitación, desde siembra a madurez fisiológica.

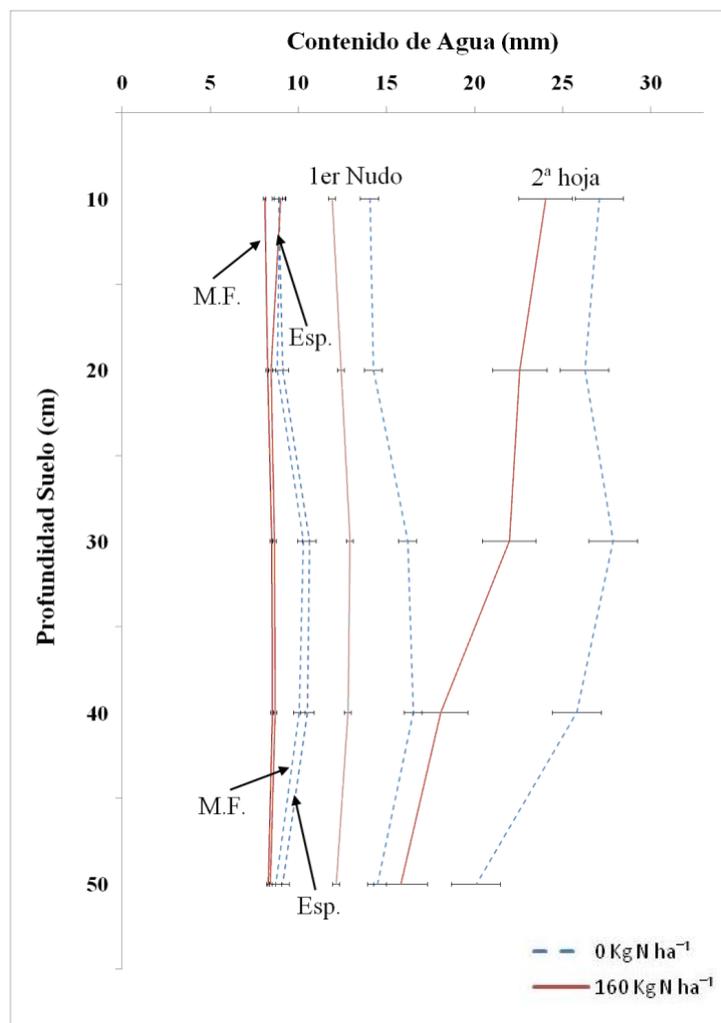


**Figura 1.** Contenido de agua del suelo, precipitación y fenología. Las barras corresponden a la precipitación,  $\Delta$  indica la fenología y la flecha el riego.

Entre el periodo de emergencia hasta cerca de primer nudo (entre 10 y 100 días después de la siembra) se observa que la disminución del contenido de agua fue leve y dentro de este periodo (primeros 70 días después de siembra) hubo numerosas precipitaciones, que junto a una baja evapotranspiración del cultivo, no provocaron grandes cambios en el nivel de agua en el suelo. Después de este periodo se produjo una fuerte reducción del contenido de agua.

La mayor diferencia del contenido de agua del suelo entre tratamientos de nitrógeno se produjo entre el día 30 hasta poco antes del día 80 (entre segunda hoja y poco antes de primer nudo). Los tratamientos sin aplicación de nitrógeno conservaron más agua hasta el final del desarrollo del trigo. El nivel mínimo de agua en el suelo se alcanzó aproximadamente a los 130 días después de siembra (embuche), en pleno período crítico del cultivo.

En la Figura 2 se observa el contenido de agua en el suelo en relación a la profundidad en 4 momentos fenológicos: 2ª hoja, primer nudo, espigadura y madurez fisiológica.



**Figura 2.** Contenido de agua en el suelo en relación a la profundidad. Las barras corresponden al error estándar de las mediciones. Esp.= espigadura, M.F.= madurez fisiológica.

El contenido de agua en todo el perfil del suelo disminuyó, a través del desarrollo del cultivo. Durante cada momento fenológico, los tratamientos en que no se aplicó nitrógeno tuvieron siempre un mayor contenido de agua en el perfil, en comparación con los tratamientos en que se aplicó 160 Kg N ha<sup>-1</sup>. Entre los estados de espigadura y madurez fisiológica el cambio en el contenido de agua fue el menor registrado para los tratamientos.

La demanda atmosférica es sin duda un factor determinante en la cantidad de agua que extrae un cultivo. Esta depende de la radiación, temperatura ambiente, humedad relativa del aire y velocidad del viento (Andriani, 2001). Al inicio del cultivo existió una menor demanda ya que la temperatura media fue menor y hubo mayor humedad ambiente que evita grandes pérdidas por evaporación directa. Hacia el final de la temporada, aumentó la

temperatura, y disminuyó la humedad del aire, sometiendo al sistema a una mayor demanda hídrica.

Andriani (2001) también menciona que el consumo de agua aumenta a medida que el área foliar y cobertura son mayores, hasta un punto donde el aumento de estos genera cambios mínimos en el consumo de agua, por lo que el contenido de agua del suelo disminuyó durante la temporada, de acuerdo a los cambios atmosféricos y fenológicos del cultivo.

Investigaciones realizadas en el Sud Este Australiano indican que la mayor proporción de agua transpirada va desde la siembra a pre anthesis (Angus *et al.*, 2001), encontrándose un peak entre el periodo que va desde primer nudo hasta poco después de la floración (Pergolini *et al.*, 2004). Las curvas de contenido de agua en el suelo de este ensayo (Figura 2) muestran que la mayor extracción del agua ocurrió antes de primer nudo y duró hasta espigadura (pre anthesis), ya que posteriormente el cultivo no fue capaz de extraer más agua del suelo. Esto es consecuencia de un aumento de la demanda hídrica que tiene el cultivo, producto de que se encontraba generando gran parte de sus órganos y estructuras, y del activo crecimiento de los macollos, espigas y raíces (Slafer *et al.*, 1996).

Además, los tratamientos que fueron fertilizados con  $160 \text{ Kg N ha}^{-1}$  provocaron un mayor crecimiento del cultivo y con ello una mayor extracción de agua (como se muestran en las figuras 1 y 2), experiencia similar a los resultados obtenidos por Pala *et al.* (1996); Angus *et al.* (2001); Pergolini *et al.* (2004); Ayad *et al.* (2010) quienes indican que el nitrógeno aplicado estimula el crecimiento aéreo y radical y con ello la extracción de agua del suelo, provocando una mayor evapotranspiración del cultivo.

Durante parte del periodo crítico el ensayo no recibió precipitaciones, y el riego efectuado para aumentar el nivel de agua en el suelo no fue suficiente para disminuir el déficit de precipitaciones, ya que como se vio en la Figura 1, este aporte no se reflejó en un aumento de contenido de agua en el suelo, por lo que se podría suponer que durante este periodo el cultivo sufrió estrés hídrico, que provocó pérdidas en la producción de granos. French y Schultz (1984) señalan que las diferencias de precipitaciones durante el periodo crítico del cultivo de trigo, podrían generar hasta un 86% de la variación en el rendimiento.

### **Establecimiento**

En el Cuadro 5 se presentan los resultados de establecimiento del cultivo. La interacción entre los factores fertilización nitrogenada y precultivo no fue significativa

**Cuadro 5.** Establecimiento del cultivo.

<b>Fertilización Nitrogenada</b> (Kg N ha <sup>-1</sup> )	<b>Cultivo previo</b>	<b>Establecimiento</b> (Plantas m <sup>-2</sup> )
160	arveja	214
160	haba	192
160	raps	207
160	trigo	197
0	arveja	212
0	haba	194
0	raps	208
0	trigo	209
		n.s
	Media general	204
	CV (%)	4

La fertilización nitrogenada y el precultivo no presentaron diferencias significativas. Al no haber diferencias significativas entre los tratamientos se descartó la posibilidad de que las variaciones en rendimiento y sus componentes se hayan debido al establecimiento del ensayo, además la correlación (Apéndice II) entre rendimiento y establecimiento no fue significativa.

### Fenología del cultivo

En el Cuadro 6 se muestran las fechas en la que ocurrieron los principales estados de desarrollo del trigo en estudio.

**Cuadro 6.** Fechas estados de desarrollo del cultivo

<b>Estado</b>	<b>Fecha</b>	<b>DDS</b>
Siembra	20 Mayo	0
Emergencia	30 Mayo	10
2 <sup>a</sup> hoja	11 Junio	22
1 <sup>er</sup> Nudo	27 Agosto	99
Embuche	28 Septiembre	131
Espigadura	8 Octubre	141
Madurez fisiológica	14 Noviembre	178

DDS: días desde la siembra

La fenología fue la misma para los 8 tratamientos. Passioura (1996) señala que la disponibilidad hídrica es un factor que modifica la tasa de desarrollo del cultivo, que se adelanta cuando lo afecta un déficit hídrico. Por otro lado Longnecker *et al.* (1993) ha encontrado que en ciertos casos un déficit de nitrógeno retrasa la aparición de hojas y que tiene un pequeño efecto en la tasa de desarrollo del ápice. Sin embargo estos antecedentes no han sido suficientemente consistentes, por lo que Millares *et al.*, (2006) señalan que la tasa de desarrollo es independiente de los factores anteriormente mencionados, y responden en mayor magnitud a 3 factores reguladores, que son: temperatura, fotoperiodo y vernalización. Este último no tiene efecto en la variedad de trigo utilizada en este ensayo, ya que es del tipo primaveral. Es por esto que el ensayo presentó la misma fenología, independiente de los tratamientos.

### Biomasa, rendimiento, índice de cosecha y componentes del rendimiento.

La interacción entre los factores fertilización nitrogenada (N) y precultivo (PC) no fue significativa para ninguna de las variables. A continuación se presentan de manera independiente para los factores fertilización nitrogenada (Cuadro 7) y precultivo (Cuadro 8) las medias de biomasa, rendimiento, índice de cosecha y los componentes del rendimiento obtenidos después de la cosecha.

**Cuadro 7.** Biomasa, rendimiento, índice de cosecha y componentes del rendimiento en función del factor fertilización nitrogenada.

Fertilización Nitrogenada (Kg N ha <sup>-1</sup> )	BM (Kg ha <sup>-1</sup> )	R (Kg ha <sup>-1</sup> )	IC	PS1000 (g)	G m <sup>-2</sup>	E m <sup>-2</sup>	G E <sup>-1</sup>
160	8.125	1.618 b	0,19 b	33,8 b	4.760	378 a	12,3 b
0	7.924	1.951 a	0,24 a	38,3 a	5.044	336 b	15,5 a
	n.s	†	*	**	n.s	*	†
Media	8.025	1.784	0,22	36,1	4.902	357	13,9
CV %	1,3	9,3	11,6	6,2	2,9	5,9	11,5

BM, biomasa; R, rendimiento; IC, índice de cosecha; PS1000, peso de mil granos; G m<sup>-2</sup>, granos por superficie; E m<sup>-2</sup>, espigas por superficie; G E<sup>-1</sup>, granos por espiga. Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas según la prueba DMS de comparaciones múltiples †: p ≤ 0,1; \*: p ≤ 0,05; \*\*: p ≤ 0,01

La biomasa no cambió con la aplicación de N en tanto que el rendimiento, IC, peso de 1.000 granos y granos por espiga (GE<sup>-1</sup>) disminuyeron en forma estadísticamente significativa con la aplicación de N. Por el contrario, la aplicación de N logró aumentar significativamente el número de espigas por superficie.

El uso del nitrógeno como fertilizante favorece la producción, pero en exceso puede ser perjudicial (Olson *et al.*, 1975; Navarro y Navarro, 2003; Kirkegaard *et al.*, 2008). Uno de

los efectos negativos del exceso de este nutriente es denominado como “haying-off”, ampliamente estudiado en el secano australiano, el que se describe como una baja en el rendimiento en relación al total de materia seca producida (Angus y van Herwaarden, 2001). Las condiciones que favorecen su ocurrencia son inicialmente un apropiado nivel de agua en el suelo y altas dosis de nitrógeno, seguido por una fuerte sequía terminal (McDonald, 1992; Angus y van Herwaarden, 2001), situación similar a lo ocurrido en este experimento donde el contenido de agua en el suelo es mínimo desde el estado de espigadura hasta madurez fisiológica y los rendimientos son bajos igual que el IC, comportamiento similar al descrito por Passioura (2002).

La aplicación de nitrógeno estimuló la producción de espigas por  $m^2$ , la que se correlacionó de manera negativa con el número de granos por espiga ( $R: -0,70$ ;  $p \leq 0,05$ ). Esto significó que este tratamiento produjera un menor número de granos por espiga. El peso de los granos fue mayor en el tratamiento sin N, al igual que el rendimiento, los cuales se correlacionaron de manera positiva ( $R: 0,70$ ;  $p \leq 0,05$ ). Van Herwaarden *et al.* (1998) señalan que en tratamientos con mayor número de espigas por  $m^2$  se produce un aumento de la competencia entre las cañas por los recursos limitados, lo que lleva a la planta de trigo a realizar una compensación en los componentes del rendimiento. El agua del suelo fue el recurso limitante cuando se determinó  $GE^{-1}$  y PS1000, especialmente en los tratamientos con N, restringiendo así a estos componentes del rendimiento.

Respecto a lo sucedido en los precultivos, haba tuvo una tendencia a ser superior en la generación de biomasa y en el número de espigas por  $m^2$ , lo que probablemente se debió a un mayor contenido de nitrógeno en el suelo observado a la siembra cuando el precultivo fue haba.

**Cuadro 8.** Biomasa, rendimiento, índice de cosecha y componentes del rendimiento de los precultivos en función del factor precultivo.

<b>Precultivo</b>	<b>BM</b> (Kg ha <sup>-1</sup> )	<b>R</b> (Kg ha <sup>-1</sup> )	<b>IC</b>	<b>PS1000</b> (g)	<b>G m<sup>-2</sup></b>	<b>E m<sup>-2</sup></b>	<b>G E<sup>-1</sup></b>
Arveja	7.988	1.771	0,21	37,9 ab	4.645	342	13,6
Haba	8.592	1.891	0,21	38,6 a	4.750	378	12,3
Raps	8.125	1.827	0,22	34,3 bc	5.299	365	14,5
Trigo	7.391	1.649	0,22	33,5 c	4.915	342	15,3
	n.s	n.s	n.s	*	n.s	n.s	n.s
Media	8.024	1.785	0,22	36,1	4.902	357	13,9
CV %	5,3	5,0	2,3	6,1	5,1	4,3	8,0

BM, biomasa; R, rendimiento; IC, índice de cosecha; PS1000, peso de mil granos;  $Gm^{-2}$ , granos por superficie;  $E m^{-2}$ , espigas por superficie;  $G E^{-1}$ , granos por espiga. Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas según la prueba DMS de comparaciones múltiples \*:  $p \leq 0,05$ .

Los resultados obtenidos de este ensayo coinciden con los obtenidos en una serie de estudios realizados por van Herwaarden *et al.* (1998) en que, independiente del nivel hídrico del

sistema, todos los sitios evaluados por estos autores tuvieron un aumento de la producción de biomasa y densidad de macollos a medida que se aumentó la dosis de nitrógeno. Estudios de Nielsen y Halvorson (1991) han indicado que el incremento de la dosis de nitrógeno estimuló el tamaño de la planta, el índice de área foliar y la exploración de las raíces. En consecuencia altas dosis de nitrógeno estimulan la producción de biomasa y disminuyen el contenido de agua del suelo, generando un ambiente poco propicio para el llenado de granos. Este fenómeno pudo verse reflejado en los tratamientos de 160 kg N ha<sup>-1</sup>, los cuales extrajeron más agua del suelo durante la primera mitad de la temporada, por lo que disminuyeron el contenido de agua en el suelo para su extracción durante las etapas posteriores a la espigadura del cultivo, perjudicando el proceso de floración y llenado de granos. En el secano australiano se han obtenido resultados similares, donde dosis de nitrógeno de 80 y 240 Kg N ha<sup>-1</sup> estimularon la evapotranspiración del cultivo previo a antesis, generando un mayor consumo de agua del perfil y un mayor estrés para el llenado de granos, comparados con el tratamiento 0 Kg N ha<sup>-1</sup> (van Herwaarden *et al.*, 1998).

El factor precultivo solo tuvo un efecto estadísticamente significativo en el peso de los granos (Cuadro 8), que fue mayor cuando el precultivo fue haba, probablemente dado que por tener más nitrógeno, se estimuló la producción de espigas m<sup>-2</sup> lo que provocó la competencia entre éstas por un limitado contenido de agua en el suelo, consecuentemente se produjeron menos granos por superficie y por espiga, lo que significó una menor competencia en la espiga, beneficiando así el llenado de granos. Por otro lado, el precultivo trigo tendió a tener el menor rendimiento, dado por un menor número de espigas por m<sup>2</sup> y un menor peso de granos.

### **Peso de hectolitro y proteína de los granos**

No se produjo interacción de los factores fertilización nitrogenada y precultivo y solo se encontraron diferencias significativas para el factor fertilización nitrogenada. La fertilización nitrogenada disminuyó el peso del hectolitro y aumentó el porcentaje de proteína (Cuadro 9).

**Cuadro 9.** Peso del hectolitro y porcentaje de proteína del trigo candeal en función del factor fertilización nitrogenada.

<b>Fertilización Nitrogenada</b> (kg ha <sup>-1</sup> )	<b>Peso Hectólitro</b> (kg hL <sup>-1</sup> )	<b>Proteína</b> (%)
160	73,7 b	15,7 a
0	79,4 a	13,3 b
Media	76,5	14,6
CV%	4,0	7,4

Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas según la prueba DMS de comparaciones múltiples  $p \leq 0,01$

La calidad obtenida en los granos de trigo está determinada fundamentalmente por las características genéticas, el medio ambiente en el que se desarrolla el trigo y los manejos agronómicos asociados a este (Fundación Chile, 2008). El porcentaje de proteína obtenido en los granos es una de las características de mayor relevancia para la agroindustria productora de pastas, ya que las proteínas que conforman al trigo duro o candeal, son las que entregan la fuerza y resistencia a la elaboración de las pastas, además mantienen la textura, consistencia y apariencia durante la cocción de las mismas (Fundación Chile, 2008).

El porcentaje de proteína obtenido en el ensayo no sólo superó el mínimo requerido por la industria (10 %), si no que también los niveles para ser bonificados, los que comienzan sobre el 12% (Acevedo y Silva, 2007). Este es un carácter muy influenciado por el ambiente y manejos agronómicos, donde la fertilización nitrogenada, cantidad y momento de aplicación juegan un importante rol. McDonald (1992) y van Herwaarden *et al.* (1998) encontraron que en medio ambientes de secano mediterráneo la concentración de proteína de los granos se incrementaba linealmente en respuesta al aumento de la dosis de fertilizante nitrogenado.

Por otro lado, el peso del hectolitro está directamente relacionado con el rendimiento en semolina que se obtiene de los granos, y su valor depende de la uniformidad del granos, la forma, tamaño y densidad, además éste es alterado por materias extrañas y granos quebrados (Fundación Chile, 2008). Además, van Herwaarden *et al.* (1998) señalan que el peso del hectolitro decae de manera importante en cultivos afectados por “haying-off”, como se observó en este ensayo.

Acevedo y Silva (2007) indican que la agroindustria requiere granos con valores superiores o iguales a  $78 \text{ Kg hL}^{-1}$ ; en ningún caso se castiga o rechaza cuando la producción es inferior a este valor, como sería el caso para los tratamientos con  $160 \text{ Kg N ha}^{-1}$ ; sin embargo, se bonifican aquellas partidas que superen el valor mínimo requerido, como lo obtenido para los tratamientos de dosis  $0 \text{ Kg N ha}^{-1}$ .

En resumen, la temporada de estudio resultó ser particularmente seca en comparación a temporadas anteriores, la precipitación fue de 230 mm, 34% menos respecto al promedio histórico. Esto ocasionó que para el periodo crítico del cultivo, las plantas no fuesen capaces de continuar extrayendo agua del suelo y el contenido de agua alcanzó el mínimo desde el estado de embuche en adelante (Figura 1).

En ambientes de secano, la disponibilidad de agua y nutrientes interactúan para regular y determinar el rendimiento potencial y el uso eficiente del agua (Passioura, 2002). Los resultados de rendimiento para la temporada de investigación fueron particularmente bajos, que se asocia a las pocas precipitaciones que recibió el ensayo.

French y Schultz (1984) propusieron un método de estimación del potencial de rendimiento en grano en condiciones de restricción hídrica. Asumen que no existen pérdidas de agua por percolación profunda ni escorrentía, la evaporación directa del suelo es de 110 mm y la

eficiencia del uso de agua es de  $20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ . Usando estos parámetros, la estimación de rendimiento para el presente ensayo fue  $2.400 \text{ kg ha}^{-1}$ , superior a los  $1.785 \text{ kg ha}^{-1}$  que se obtuvieron del experimento, por lo que además de producirse un rendimiento bajo, limitado por el agua, existieron otros elementos que afectaron este resultado, tal como la distribución de la precipitación, que se concentró al inicio de la temporada y se hizo escasa para el llenado de granos. Además es probable que se haya producido la utilización y agotamiento del mismo tipo de nutrientes o que el cultivo haya sido atacado por patógenos como hongos del tipo *Fusarium* y *Rhizoctonia*, elementos que no se midieron en este ensayo.

Por otro lado estos autores indican que la eficiencia para la producción de materia seca es de  $55 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , por lo que la biomasa estimada fue de  $6.600 \text{ kg ha}^{-1}$  inferior a los  $8.025 \text{ kg ha}^{-1}$  obtenidos del ensayo, de modo que es muy probable que el agua no limitara la producción de biomasa.

La producción de biomasa fue la misma para todos los tratamientos, pero la proporción en que estos se repartieron entre biomasa vegetativa y reproductiva se modificó en función de la disponibilidad de nitrógeno y agua durante el desarrollo del cultivo. Los tratamientos de  $160 \text{ Kg N ha}^{-1}$  generaron más biomasa vegetativa (macollos por superficie), consumieron mayor cantidad de agua del perfil de suelo, lo que provocó que ocurriera el fenómeno de “haying-off”, poco estudiado aún en Chile.

Cuando se aplicó nitrógeno es probable que además de aumentar el número de macollos, también se hayan producido dos fenómenos no medidos: el aumento del índice de área foliar inicial de las plantas y un mayor crecimiento de raíces. Si bien un mayor crecimiento de raíces implica más exploración del suelo y de esta manera una mitigación del estrés hídrico de la temporada, las mediciones obtenidas del contenido de agua en el suelo en 2ª hoja indicaron que a mayor profundidad el contenido de agua fue más bajo (Figura 2), probablemente debido a que las bajas precipitaciones de la temporada no lograron aumentar el contenido de agua en profundidad. Además el cultivo fue utilizándola a medida que este crecía. También cabe mencionar que el suelo del sitio de estudio es poco profundo (60 cm), se vuelve más arenoso en profundidad y con un mayor contenido de piedras, características que no facilitan la retención de agua.

En cuanto a la calidad de los granos, el estrés hídrico que se presentó en la temporada tuvo un efecto en el contenido de proteína, que se beneficia cuando el periodo de llenado de granos es seco, ya que se induce la senescencia temprana de hojas y se estimula el movimiento de la proteína al grano (Acevedo y Silva, 2007). Sin embargo el peso del hectolitro fue afectado por el estrés hídrico en el llenado de granos.

## CONCLUSIONES

Considerando las limitaciones de este estudio caracterizada por una baja precipitación (230 mm) que se concentró al inicio de la temporada, se llegó a las siguientes conclusiones:

El precultivo no provoca diferencias en rendimiento ni en calidad del grano de trigo.

Sólo la utilización de haba como precultivo deja un mayor contenido de nitrógeno a la siembra de trigo.

Con los datos obtenidos del presente ensayo no se puede concluir si el precultivo tuvo un efecto en el contenido de agua en el suelo.

La aplicación de nitrógeno provoca una disminución del rendimiento asociado a “hay-ing-off”

De acuerdo a las condiciones que se presentaron para este ensayo, la hipótesis planteada es rechazada.

## BIBLIOGRAFÍA

Abeledo, L. G., R. Savin and G. A. Slafer. 2008. Wheat productivity in the Mediterranean Ebro Valley: Analyzing the gap between attainable and potential yield with a simulation model. *European Journal of Agronomy* 28: 542-550.

Acevedo, E. y P. Silva. 2007. Trigo Candeal: calidad, mercado y zonas de cultivo. Editorial Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Serie Ciencias Agronómicas N° 12. Santiago, Chile. 182p

Andriani, J.M. 2001. Consumo de agua de los cultivos en el sur de Santa Fe. *In: INTA Oliveros (Ed.). Para mejorar la producción 18-Campaña 2000-2001: Soja*, p 31-33. Disponible en: <http://www.criata.com.ar/trabajos/consumo-agua-stafe.pdf>. Leído en Noviembre 2011.

Angus, J.F. and A.F van Herwaarden. 2001. Increasing water use and water use efficiency in dryland wheat. *Agronomy Journal* 93: 290-298.

Angus, J.F., R.R Gault, M.B. Peoples, M. Stapper and A.F van Herwaarden. 2001. Soil water extraction by dryland crops, annual pastures, and lucerne in south-eastern Australia. *Australian Journal of Agricultural Research* 52 (2): 183-192.

Ayad, J., A. Al-Abdallat and H. Saoub. 2010. Variation in root water and nitrogen uptake and their interactive effects on growth and yield of spring wheat and barley genotypes. *International Journal of Botany* 6 (4): 404-413.

Carr, P.M., G. B. Martin and R.D. Horsley. 2008. Wheat grain quality response to tillage and rotation with field pea. *Agronomy Journal* 100 (6): 1594-1599.

Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). 1996. Estudio agrologico Región Metropolitana. Descripciones de suelos. Materiales y símbolos. Santiago, Chile, 464 p.

Cook, R.J. and D.M. Weller. 2004. In defense of crop monoculture: new directions for a diverse planet. Proceeding of the 4th international crop science congress, Australia. Disponible en: [http://scholar.google.cl/scholar?hl=es&q=%22In+Defense+of+Crop+Monoculture%22&btnG=Buscar&lr=&as\\_ylo=&as\\_vis=0](http://scholar.google.cl/scholar?hl=es&q=%22In+Defense+of+Crop+Monoculture%22&btnG=Buscar&lr=&as_ylo=&as_vis=0). Leído en Mayo de 2010.

COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO.1981. Estudio de suelos del Proyecto Maipo. Agrológ-Chile Ltda., Santiago, Chile. 802 p.

Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada, C.W. Robledo. 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>.

FAOSTAT. 2010 Disponible en:

<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor> Leído en octubre 2012.

Fischer, R. A. 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *The Journal of Agricultural Science* 105: 447 – 461.

FUNDACION CHILE. 2008. Estudio de competitividad de la cadena del trigo candeal, programa de desarrollo tecnológico. Fundación Chile Área Agroindustria. Santiago, Chile. 119 p. Disponible en:

[http://www.sap.uchile.cl/descargas/seminario%20trigo%20duro/presentaciones/5%20-%20Estudio%20de%20competitividad%20\(Flavio%20Araya\).pdf](http://www.sap.uchile.cl/descargas/seminario%20trigo%20duro/presentaciones/5%20-%20Estudio%20de%20competitividad%20(Flavio%20Araya).pdf) Leído en Marzo 2012.

French, R. J. and J. E. Schultz. 1984. Water use efficiency of wheat in a Mediterranean-type environment. I the relation between yield, water use and climate. *Australian Journal of Agriculture Research* 35: 734-764

García del Moral, L. F., Y. Rhrarrabti, D. Villegas and C. Royo. 2003. Evaluation of grain yield and its components in durum wheat under Mediterranean conditions: an ontogenic approach. *Agronomy Journal* 95: 266-274

Instituto Nacional de Estadística. 2010. Agropecuarias: informe anual 2010. Santiago, Chile. Disponible en:

[http://www.ine.cl/canales/chile\\_estadistico/estadisticas\\_agropecuarias/pdf/agropecuarias\\_2010.pdf](http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_agropecuarias/pdf/agropecuarias_2010.pdf). Leído en Noviembre 2011.

Jensen, E.S., M. B. Peoples, and H. Hauggaard-Nielsen. 2010. Faba bean in cropping systems. *Field Crops Research* 115: 203-16.

Karam, F, R. Kabalan, J. Breid, Y Roupael, and T. Oweis. 2009. Yield and water-production functions of two durum wheat cultivars grown under different irrigation and nitrogen regimes. *Agricultural Water Management* 96: 603-615.

Kirkegaard J., P. Gardner and J. Angus. 1994. Effects of brassica break crops on the growth and yield of wheat. *Australian Journal of Agricultural Research* 45(3) 529 - 545

Kirkegaard, J., O. Christen, J. Krupinsky and D. Layzell. 2008. Break crop benefits in temperate wheat production. *Field Crop Research* 107: 185-195.

La Rue, T. A and T.G Patterson. 1981. How much nitrogen do legumes fix? *Advances in Agronomy* 34 15-38. Disponible en: [http://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=M-NxoAq2UsQC&oi=fnd&pg=PA15&dq=how+much+nitrogen+do+legume+fix&ots=isEiVEhTiB&sig=qN3B1HgNQR\\_IdCXwJH7x9ZjDq1Y#v=onepage&q&f=false](http://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=M-NxoAq2UsQC&oi=fnd&pg=PA15&dq=how+much+nitrogen+do+legume+fix&ots=isEiVEhTiB&sig=qN3B1HgNQR_IdCXwJH7x9ZjDq1Y#v=onepage&q&f=false). Leído en Septiembre 2011

Longnecker, N., E. J. M. Kirby and Alan Robson. 1993. Leaf emergence, tiller growth, and apical development of nitrogen-deficient spring wheat. *Crop Science* 33: 69-72.

López-Bellido, R.J., L. López-Bellido, F.J López-Bellido and J.E. Castillo. 2003. Faba bean (*Vicia faba* L.) response to tillage and soil residual nitrogen in a continuous rotation with wheat (*Triticum aestivum* L.) under rainfed Mediterranean conditions. *Agronomy Journal* 95: 1253-1261.

Maddoni, G.A, P. Vilariño e I. García de Salamone. 2006. Dinámica de los nutrientes en el sistema suelo-planta. Pp 442-477. *In: Satorre E.H, R.L. Benech Arnold, G.A Slafer, E. B. de la Fuente, D.J Millares, M. E. Otegui y R. Savin. Producción de granos bases funcionales para su manejo. 2ª Ed. Editorial Facultad de Agronomía UBA, Buenos Aires, Argentina, 783p.*

McDonald, G.K. 1992. Effects of nitrogenous fertilizer on the growth, grain yield and grain protein concentration of wheat. *Australian Journal of Agriculture Research* 43: 949-967.

Mera, M. y J.L Rouanet. 2003. Contribución de las leguminosas de grano en la rotación con cereales: una revisión. Pp 135-156. *In: Acevedo E. Sustentabilidad en cultivos anuales. Cero labranzas manejo de rastrojos. Santiago, Chile. 2008. Serie Ciencias Agronómicas N° 8. 149 p.*

Millares, D., L. B. Windaver y N.V. Gómez. 2006. Factores que regulan el desarrollo de los cultivos de granos. Pp 57-71. *In: Satorre E.H, R.L. Benech Arnold, G.A Slafer, E. B. de la Fuente, D.J Millares, M. E. Otegui y R. Savin. Producción de granos bases funcionales para su manejo. 2ª Ed. Editorial Facultad de Agronomía UBA, Buenos Aires, Argentina, 783p.*

Navarro, S. y G. Navarro. 2003. El nitrógeno en la planta. Pp 165 – 180. *In: Navarro S. y Navarro G. Química agrícola, el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. 2ª ed. Mundi Prensa, Madrid, España. 487p.*

Nielsen, D. and D. Halvorson. 1991. Nitrogen fertility influence on water stress and yield of winter wheat. *Agronomy Journal* 83: 1065- 1070.

Olson, R. A., K. D. Frank, E. J. Deibert, A. F. Dreier, D. H. Sander and V. A. Johnson. 1975. Impact of residual mineral N in soil on grain protein yields of winter wheat and corn. *Agronomy Journal* 68: 769-772.

Pala, M., C.O. Stockle and H.C. Harris. 1996. Simulation of durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. *durum*) growth under different water and nitrogen regimes in a Mediterranean environment using CropSyst. *Agricultural Systems* 51(2): 147–163.

Passioura, J. B. 1996. Drought and drought tolerance. *Plant Growth Regulation* 20: 79-83.

Passioura, J.B. 2002. Review: Environmental biology and crop improvement. *Functional Plant Biology* 29 (5): 537 – 546.

Pergolini, S., C. Castillo y G. Espósito. 2004. Efecto de la fertilización sobre el consumo y la eficiencia de uso del agua del cultivo de trigo. Universidad Nacional de Río Cuarto. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Córdoba. Argentina. 11 p. Disponible en: [http://potafos.org/ppiweb/ltams.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/fbb6f7765d31ad3403256eb3005846ba/\\$FILE/Fertilizaci%C3%B3n-Consumo%20y%20EUA-Trigo.pdf](http://potafos.org/ppiweb/ltams.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/fbb6f7765d31ad3403256eb3005846ba/$FILE/Fertilizaci%C3%B3n-Consumo%20y%20EUA-Trigo.pdf)  
Leído en Noviembre 2011

Reyes, J. I., E. Martínez, P. Silva, y E. Acevedo. 2002. Cero Labranza y propiedades de un suelo aluvial de Chile central. *Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo Boletín* N°18.  
Disponible en:  
<http://www.sap.uchile.cl/descargas/cero/Cero%20labranza%20y%20propiedades%20de%20un%20suelo%20aluvial%20de%20Chile%20central.pdf>. Leído en Septiembre 2011

Rharrabti Y., D. Villegas, C. Royo, V. Martos-Núñez and L. F. García del Moral. 2003. Durum wheat quality in Mediterranean environments: II. Influence of climatic variables and relationships between quality parameters. *Field Crops Research* 80: 133-140.

Ryan, J., M. Singh and M. Pala. 2008. Long-term cereal-based rotation trials in the Mediterranean region: implications for cropping sustainability. *Advances in Agronomy* 97: 273-319.

Ryan, M., J. Kirkegaard and J. Angus. 2006. Brassica crops stimulate soil mineral N accumulation. *Australian Journal of Soil Research* 44: 367-377.

Santibáñez, F. y J. Uribe. 1990. Atlas Agroclimático de Chile. Regiones V y Metropolitana. Laboratorio de Agroclimatología, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, Santiago, Chile. 65 pp.

Slafer, G.A., D. F. Calderini and D.J. Millares. 1996. Yield components and compensation in wheat: opportunities for further increasing yield potential. pp 101-133. *In*: Reinolds, M.P., S. Rajaram and A. McNab (Ed). *Increasing yield potential in wheat: breaking the barriers*. CIMMYT. D.F, México, 236p.

Slafer, G.A, D. J Millares, R. Savin, E. M. Whitechurch y F.G. González. 2006. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en trigo. Pp 98-132. *In*: Satorre E.H, R.L. Benech Arnold, G.A Slafer, E. B. de la Fuente, D.J Millares, M. E. Otegui y R. Savin. Producción de granos bases funcionales para su manejo. 2ª Ed. Editorial Facultad de Agronomía UBA, Buenos Aires, Argentina, 783p.

Van Herwaarden, A. F., G. D. Farquhar, J. F. Angus, R. A. Richards, and G. N. Howe. 1998. "Haying-off", the negative grain yield response of dryland wheat to nitrogen fertiliser I. Biomass, grain yield, and water use. *Australian Journal of Agriculture Research* 49: 1067-1081.

Zadoks, J., T. Chang, and C. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14: 415-421

## APÉNDICES

### Apéndice I

#### **Metodología utilizada para cosecha y obtención de biomasa, índice de cosecha, rendimiento y sus componentes.**

Cuando la parcela presentó más del 50 % de sus plantas en el estado de madurez fisiológica (Zadoks 8,6) se cosechó 1m<sup>2</sup> (5 hileras de 1 m) a ras de suelo, y alejado de los bordes. Esta corresponde al manojó (**HA**)

De esta muestra cosechada se separaron 50 tallos con espigas, de los que se obtuvo su peso húmedo (**FA**) y peso seco (**DS**), luego que se colocaran en una estufa a 70°C durante 48 hrs.

Luego, el manojó se pesó (**FB**) y se obtuvieron los granos de este mediante el uso de una trilladora estacionaria. Se pesó esa muestra (**TG**).

De cada muestra trillada, se separaron 250 granos, los que se utilizaron para obtener el peso húmedo (**WG**) y seco (**DG**) después de ser colocados a una estufa a 70°C durante 48 horas.

Nombre	Abreviación	Unidad
Superficie Cosechada	HA	m <sup>2</sup>
Peso fresco de 50 tallos con espiga	FA	g
Peso seco de 50 tallos con espiga	DS	g
Peso manojó después de sacar los 50 tallos	FB	g
Peso de granos después de trillar manojó	TG	g
Peso muestra de 250 granos húmedos	WG	g
Peso muestra de 250 granos secos a estufa	DG	g

$1. \text{ Biomasa (Kg ha}^{-1}\text{)} = \frac{(DS / FS) (FB + FS)}{(HA)} \times 10$	
$2. \text{ Rend. en grano (Kg ha}^{-1}\text{)} = \frac{(DG / WG) TG (FB + FS) / FB}{(HA)} \times 10$	
$3. \text{ Índice de cosecha} = \frac{(2)}{(1)}$	$7. \text{ Granos por espiga} = \frac{(6)}{(5)}$
$4. \text{ Peso seco de 1000 granos} = DG \times 4$	$8. \text{ Gramos de grano por espiga} = \frac{(2)}{10 \times (5)}$
$5. \text{ Espigas por m}^2 = \frac{(FB + FS)}{FS} \times \frac{50}{HA}$	
$6. \text{ Granos por m}^2 = \frac{(2)}{(4)} \times 100$	

### Agroquímicos utilizados.

A continuación se presenta un cuadro con las aplicaciones de los distintos fungicidas, herbicidas e insecticidas utilizados en el cultivo durante la temporada de estudio

Fecha	Tipo	Ingrediente Activo	Nombre Comercial	Dosis
Pre Siembra	Fungicida	Manconzeb y Carbendazin	Anagran plus	125g por 100kg de semillas
13 de Julio	Herbicida	Metsulfuron metil	Ajax 50 WP	10 g ha <sup>-1</sup>
22 de Julio	Herbicida	Clodinafop	Topik 240 EC	0.3 L ha <sup>-1</sup>
06 de Septiembre	Insecticida	Pirimor	Pirimicarb	250 g ha <sup>-1</sup>
30 de Septiembre	Insecticida	Pirimor	Pirimicarb	250 g ha <sup>-1</sup>

### Diagrama del diseño experimental

AR	HA	RA	TR	HA	RA	TR	AR
0 N	0 N	0 N	0 N	160 N	160 N	160 N	160 N
Rep. I	Rep. I	Rep. I	Rep. I	Rep. III	Rep. III	Rep. III	Rep. III
AR	HA	RA	TR	HA	RA	TA	AR
160 N	160 N	160 N	160 N	0 N	0 N	0 N	0 N
Rep. I	Rep. I	Rep. I	Rep. I	Rep. III	Rep. III	Rep. III	Rep. III
HA	AR	TR	RA	AR	HA	TR	RA
0 N	0 N	0 N	0 N	0 N	0 N	0 N	0 N
Rep. II	Rep. II	Rep. II	Rep. II	Rep. IV	Rep. IV	Rep. IV	Rep. IV
HA	AR	TR	RA	AR	HA	TR	RA
160 N	160 N	160 N	160 N				
Rep. II	Rep. II	Rep. II	Rep. II	Rep. IV	Rep. IV	Rep. IV	Rep. IV

Dosis 0 N: 0 kg N ha<sup>-1</sup>, 160 N: 160 kg N ha<sup>-1</sup>

Precultivos: AR: arveja, HA: haba, RA: raps, TR: trigo

Rep.: repetición

## Apéndice II

### Análisis de Varianza de los Parámetros Medidos del Ensayo

#### Establecimiento del cultivo

Fuente de variación	gl	Establecimiento
Nitrógeno (N)	1	n.s
Precultivo (PC)	3	n.s
N x PC	7	n.s

\*:  $p \leq 0,05$ ; \*\*:  $p \leq 0,01$ ; n.s: no significativo

#### Contenido de nitrógeno disponible en el suelo

Fuente de variación	gl	Nitrógeno Disponible	
		Pre Siembra	Primer Nudo
Nitrógeno (N)	1	n.s	**
Precultivo (PC)	3	**	n.s
N x PC	7	n.s	n.s

\*:  $p \leq 0,05$ ; \*\*:  $p \leq 0,01$ ; n.s: no significativo

#### Biomasa, Rendimiento, Índice de Cosecha y Componentes del Rendimiento

Fuente de Variación	BM	R	IC	PS1000	G m <sup>-2</sup>	E m <sup>-2</sup>	G E <sup>-1</sup>
Nitrógeno (N)	n.s	†	*	**	n.s	*	†
Precultivo (PC)	n.s	n.s	n.s	*	n.s	n.s	n.s
N x PC	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s

BM, biomasa; R, rendimiento; IC, índice de cosecha; PS1000, peso de mil granos; G m<sup>-2</sup>, granos por superficie; E m<sup>-2</sup>, espigas por superficie; G E<sup>-1</sup>, granos por espiga

†:  $p \leq 0,1$ ; \*:  $p \leq 0,05$ ; \*\*:  $p \leq 0,01$ ; n.s: no significativo

### Parámetros de calidad Peso de Hectolitro y Proteína.

Fuente de variación	gl	Peso Hectolitro	Proteína
Nitrógeno (N)	1	**	**
Precultivo (PC)	3	n.s	n.s
N x PC	7	n.s	n.s

\*\* :  $p \leq 0,01$ ; n.s: no significativo

### Coefficientes de correlación

Correlación de Pearson: coeficientes\probabilidades

	BM (Kg ha <sup>-1</sup> )	R (Kg ha <sup>-1</sup> )	IC	PS1000 (g)	G m <sup>-2</sup>	E m <sup>-2</sup>	G E <sup>-1</sup>	Est. (Plantas m <sup>-2</sup> )
BM	1							
R	0,31	1						
IC	-0,36	0,77*	1					
PS1000	0,09	0,70*	0,57	1				
G m <sup>-2</sup>	0,27	0,55	0,43	-0,19	1			
E m <sup>-2</sup>	0,74*	-0,28	-0,71*	-0,55	0,21	1		
G E <sup>-1</sup>	-0,53	0,55	0,91**	0,24	0,53	-0,70*	1	
Est.	0,42	0,68	0,48	0,53	0,35	0,05	0,21	1

BM, biomasa; R, rendimiento; IC, índice de cosecha; PS1000, peso de mil granos; G m<sup>-2</sup>, granos por superficie; E m<sup>-2</sup>, espigas por superficie; G E<sup>-1</sup>, granos por espigas; Est., establecimiento. \*:  $p \leq 0,05$ ; \*\*:  $p \leq 0,01$