

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**ASOCIACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE PROTEÍNA CON
MEDICIONES SPAD EN LOS ESTADOS DE PRIMER NUDO Y EMBUCHE EN
TRIGO CANDEAL**

NICOLÁS ALEJANDRO GOMARA GONZÁLEZ

SANTIAGO – CHILE
2012

UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**ASOCIACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE PROTEÍNA CON
MEDICIONES SPAD EN LOS ESTADOS DE PRIMER NUDO Y EMBUCHE EN
TRIGO CANDEAL**

**GRAIN YIELD AND PROTEIN CONTENT AS RELATED TO SPAD READINGS
AT FIRST NODE AND BOOT STAGES IN DURUM WHEAT**

NICOLÁS ALEJANDRO GOMARA GONZÁLEZ

Santiago, Chile
2012

UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

**ASOCIACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE PROTEÍNA CON
MEDICIONES SPAD EN LOS ESTADOS DE PRIMER NUDO Y EMBUCHE EN
TRIGO CANDEAL**

Memoria para optar al título profesional de:
Ingeniero Agrónomo

NICOLÁS ALEJANDRO GOMARA GONZÁLEZ

Profesores Guías	Calificaciones
Edmundo Acevedo H. Ingeniero Agrónomo, M. S., Ph. D.	7,0
Paola Silva C. Ingeniero Agrónomo, M. S., Dra.	7,0
Profesores evaluadores	
Cecilia Baginsky G. Ingeniero Agrónomo, Dra.	6,8
Oscar Seguel S. Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,8

Santiago-Chile
2012

AGRADECIMIENTOS

Quisiera partir mis agradecimientos a quienes han estado conmigo siempre, a mi madre Luz María, a mi padre Roderick y mis hermanas Natalia y Fabiola, quienes me han apoyado y acompañado durante este proceso entregándome su cariño y compañía cada día.

También quisiera agradecer a mi profesora guía Paola Silva, que con su constante presencia y colaboración no sólo me entregó las herramientas necesarias para realizar esta memoria, sino también, fue una de mis principales guías dentro de mi paso por la universidad. Al profesor Edmundo Acevedo, que con su admirable pasión por enseñar me entregó su apoyo y consejos. A ambos les agradezco todo lo entregado y también la oportunidad que me dieron de participar en el laboratorio SAP, que sin duda mi paso por ahí fue fundamental en mi formación tanto personal como profesional.

A Rosa Peralta, quién fue un gran apoyo y que con sus consejos fue un gran aporte en mi formación. No puedo dejar de agradecer a quienes me acompañaron y que en muchas ocasiones fueron una gran ayuda: Victoria Figueroa, Pablo Cortez, Álvaro Aillapán, Carla Soto, Romina Vera e Ignacio Guajardo, quienes además entregaron su alegría en cada uno de los momentos de arduo trabajo.

A mis amigos de universidad Carolina González, Marco Garrido, Camila Araneda, Juan Carmona, Sandra Encina, Diana Laborie, Fabio Carradini, Nicole Aguayo, Pablo Díaz y María Jiménez, quienes me han acompañado desde el primer día y que con sus buenos consejos y gran amistad hicieron aún más agradable mi paso por la universidad.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
Hipótesis	4
Objetivo general	5
Objetivos específicos	5
MATERIALES Y MÉTODO	6
Lugar del estudio	6
Tratamiento y diseño experimental	6
Manejo del cultivo	7
Observaciones	7
Fenología	7
Establecimiento de planta	7
Mediciones SPAD	8
Mediciones de color	8
Mediciones contenido de nitrógeno en la planta	8
Biomasa, rendimiento y componentes	9
Contenido de proteína del grano	9
Mediciones climáticas y de suelo	9
Cálculos	10
Análisis Estadístico	10
RESULTADOS	12
Clima y Suelo	12
Balance hídrico	12
Análisis de suelo	13
Fenología	14
Establecimiento	15
Biomasa, rendimiento y componentes	15
Contenido de proteína en grano	18
Mediciones SPAD	19
Relación entre rendimiento y valores SPAD	20
Relación entre porcentaje de proteína en grano y valores SPAD	22

Color de Hoja

	25
Eficiencia del uso del nitrógeno (EUN)	27
DISCUSIÓN	30
CONCLUSIONES	33
BIBLIOGRAFÍA	34
APÉNDICE	40
Apéndice I. Distribución de tratamientos ensayo Corcolén INIA	40
Apéndice II. Distribución de tratamientos ensayo Llaretá INIA	41
Apéndice III. Protocolo de cosecha y cálculos de parámetros de rendimiento	42
Apéndice IV. Análisis de Varianza	44

RESUMEN

Las estrategias de manejo del nitrógeno pueden tener un impacto importante en el rendimiento y proteína en grano, como también sobre el medio ambiente, estrategias que pueden ser definidas mediante el uso del SPAD. Este estudio asoció el rendimiento y el contenido de proteína en grano con mediciones SPAD y color de hoja en estado de primer nudo y embuche en trigo candeal. El trabajo se realizó en la Estación Experimental Antumapu de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, durante la temporada 2010/2011. Se realizaron dos ensayos con las variedades de trigo candeal Llaretta INIA y Corcolén INIA, en condiciones de riego, ambas variedades sometidas a tratamientos de dosis de N (0, 60, 120, 180 y 240 kg N ha⁻¹) y parcialización en la siembra, primer nudo y embuche. El diseño experimental de cada ensayo fue en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los resultados mostraron que la dosis 180 kg N ha⁻¹, parcializado 60 y 120 kg N ha⁻¹ en siembra y primer nudo respectivamente, fue la que logró el mayor rendimiento, con 8.411 kg ha⁻¹. Con respecto al porcentaje de proteína en grano, existieron diferencias ($p \leq 0,01$) entre tratamientos, siendo la dosis 240 kg N ha⁻¹, parcializada 80-120-40 kg N ha⁻¹ a siembra, primer nudo y embuche respectivamente, la que tuvo el valor más alto, con 12,6%. Los valores SPAD medidos a primer nudo y embuche se relacionaron positivamente con rendimiento ($p \leq 0,001$; $R^2=0,92$ y $p \leq 0,05$; $R^2=0,68$, respectivamente) y porcentaje de proteína en grano ($p \leq 0,05$; $R^2=0,53$ en primer nudo y $p \leq 0,001$ y $R^2=0,89$ en embuche). Al analizar el color, los resultados del análisis de correspondencia múltiple mostraron una asociación entre rendimiento alto y muy alto con valor oscuro medido en embuche y primer nudo, como también el croma de saturación baja medido en los mismos estados de desarrollo. El alto contenido de proteína se asoció a croma de saturación baja medido en embuche. Con respecto a la eficiencia del uso del nitrógeno (EUN), eficiencia fisiológica y eficiencia de absorción, el valor más alto se logró en el tratamiento con una aplicación de 60 kg N ha⁻¹, alcanzando 50,1 kg en grano kg⁻¹ de N en EUN, 63,3 kg en grano kg⁻¹ de N en eficiencia fisiológica y 93,1% en eficiencia de absorción. Por lo tanto, el SPAD es una herramienta útil para predecir rendimiento y contenido de proteína en grano medido en primer nudo y embuche en trigo candeal.

Palabras claves: *Triticum turgidum* L. spp. durum, dosis, nitrógeno, color de hoja, eficiencia del uso del nitrógeno.

ABSTRACT

Nitrogen management strategies can have a significant impact on grain yield, and protein as well as on the environment, and they can be defined through the use of SPAD readings. This study related grain yield and protein of durum wheat at the first node and boot stages with SPAD readings and leaf color. The field experiment was carried out at the Antumapu Experiment Station of the College of Agricultural Sciences, University of Chile, during the 2010-2011 season. Two experiments were done with two cultivars of durum wheat (Llareta INIA and Corlen INIA) under irrigation conditions and both receiving nitrogen rates of 0, 60, 120, 180 and 240 kg N ha⁻¹ in split applications at sowing, first node and boot stages. The experimental design consisted of four randomized blocks with four replications. The results showed that the 180 kg N ha⁻¹ rate distributed in 60 and 120 kg N ha⁻¹ at sowing time and first node, respectively, had the highest yield, with 8.411 kg ha⁻¹. On the other hand, the protein percentage in the grain showed differences between treatments ($p \leq 0,001$), with the 240 kg N ha⁻¹ split rate (distributed in 80-120-40 kg N ha⁻¹ at sowing, first node and boot, respectively) obtaining the highest value with a 12,6% of protein in the grain. The SPAD values measured at the first node and boot stages were positively related to yield ($p \leq 0,001$; $R^2=0,92$ and $p \leq 0,05$; $R^2=0,68$, respectively). Grain protein percentage was also related to SPAD values (with $p \leq 0,05$ and $R^2=0,53$ at the first node and $p \leq 0,001$ and $R^2=0,89$ at boot stage). When analyzing leaf color with a Munsell Plant Tissue Color Chart, the results from the multiple correspondence analysis showed a relationship between high and very high yield and the dark value measured at the first node and boot stages as well as low chroma measured at the same development stages. The high protein content was found to be associated to a chroma of low saturation measured at boot stage. With respect to the nitrogen use efficiency (NUE), physiological efficiency and absorption efficiency, the highest value was achieved by treatment 2 (60 kg N ha⁻¹) which reached 50,1 grain kg kg⁻¹ N in NUE, 63,3 grain kg kg⁻¹ N in physiological efficiency and 93,1% in absorption efficiency. Therefore, SPAD reading is a useful tool to predict grain yield and protein content in durum wheat when measured at first node and boot stages.

Key words: *Triticum turgidum* L. spp. durum, rate, nitrogen, leaf color, nitrogen use efficiency.

INTRODUCCIÓN

El trigo candeal (*Triticum turgidum* L. spp. durum) es la materia prima para la producción de pastas, bourghul, couscous, frikes, mote, entre otros. En Chile la superficie sembrada de trigo candeal alcanzó 14.355 hectáreas en la temporada 2010-2011, con un rendimiento promedio de 66,7 qq ha⁻¹, siendo la Región Metropolitana la principal región productora, con 49,1% de la superficie sembrada, seguida de la Región del Bío Bío, con un 25,6% de la superficie total (INE, 2011).

El rendimiento y calidad en trigo candeal están fuertemente influenciados tanto por factores bióticos como abióticos presentes durante el desarrollo del cultivo. La fertilización nitrogenada es el segundo factor de importancia después del agua, que influye en mayor medida en el rendimiento del cultivo (Acevedo *et al.*, 2002). La importancia del nitrógeno radica en que éste es un componente importante de las estructuras de las plantas, enzimas, reservas proteicas y calidad del grano. Es por esto que deficiencias de este nutriente durante el desarrollo del cultivo pueden provocar grandes mermas tanto en rendimiento como en calidad de grano (Acevedo *et al.*, 2002).

El rendimiento y contenido de proteínas están fuertemente relacionados con las aplicaciones de nitrógeno (Li-Hong *et al.*, 2007). Chile es un país con alto rendimiento (66,7 qq ha⁻¹ promedio), pero con bajo contenido proteico en el grano, alcanzando un promedio nacional de 10,4% (Silva *et al.*, 2007a), a pesar de los altos niveles de fertilización nitrogenada usados (alrededor de 250 kg ha⁻¹). En México y California se utilizan dosis de fertilización nitrogenada similar a las chilenas, sin embargo, logran entre 11,0 y 12,5% de proteína en grano con rendimientos entre 58 y 70 qq ha⁻¹, respectivamente (Fundación Chile, 2008).

Dentro de las prácticas básicas de manejo del nitrógeno destaca la aplicación de dosis óptima y en el momento oportuno, y para esto es indispensable contar con estudios de disponibilidad de nitrógeno en el suelo, determinar los riesgos de pérdidas, como también definir rendimiento y/o calidad objetivo.

Para definir cuándo y con cuánto nitrógeno fertilizar es necesario conocer los momentos de mayor absorción de nitrógeno en los cultivos, en el caso del trigo candeal ocurre desde primer nudo hasta 10 días después de floración, ya que en este periodo se produce crecimiento simultáneo de raíces, tallo, hojas y espiga, por lo que existe una alta competencia por nutrientes entre estas estructuras. Cualquier estrés incidirá directamente sobre el crecimiento de la espiga, disminuyendo el número de granos m⁻² y el rendimiento final (Acevedo *et al.*, 2002).

Los análisis basados en cuantificar el nitrógeno en plantas son una alternativa para definir la dosis y los momentos de aplicación (Hoel, 1998). Dentro de este tipo de análisis, el instrumento Minolta SPAD-502 (Konica Minolta, Japón) es una herramienta para realizar esta medición. Sus principales ventajas son su fácil y rápida utilización, sin causar daños en las hojas (Arregui *et al.*, 2006).

El instrumento Minolta SPAD mide la absorbancia de luz en la hoja. Diversos estudios demuestran que existe una relación positiva entre las lecturas SPAD y el contenido de clorofila en la hoja en trigo (Debaeke *et al.*, 2006). Muchos investigadores han utilizado esta relación con la finalidad de conocer el estado de fertilización nitrogenada (Piekielek *et al.*, 1995; Houles *et al.*, 2007; Pagola *et al.*, 2009) y llegar a estimar rendimiento y contenido de proteína en trigo a través de lecturas del contenido relativo de clorofila (Arregui *et al.*, 2006).

Dentro de los costos de producción en un cultivo de trigo en Chile en la temporada 2009-2010, la fertilización representó el 30%, siendo el principal costo (ODEPA, 2010). Por otra parte, altas aplicaciones de fertilizante nitrogenado no sólo tienen un efecto económico negativo hacia el agricultor, sino que también afectan el medio ambiente, incidiendo de forma negativa en microorganismos, plantas y animales, cuando es aplicado de forma excesiva.

Por lo dicho, es necesario considerar el concepto de eficiencia del uso del nitrógeno (EUN). Novoa y Loomis (1981) definen la EUN como la producción de grano por unidad de nitrógeno aplicado. Moll *et al.* (1982) dividieron la EUN en eficiencia de absorción y eficiencia fisiológica, donde la primera se define como la habilidad de la planta en extraer nitrógeno desde el suelo y la segunda como la habilidad con que el nitrógeno absorbido es utilizado en producir grano. Una alta eficiencia fisiológica resulta de una efectiva translocación del nitrógeno desde las partes vegetativas al grano (Rathke *et al.*, 2006). Por otro lado, la eficiencia de absorción depende principalmente del crecimiento radical (profundidad y densidad de raíces), el que regula la cantidad total de nitrógeno absorbido (Rathke *et al.*, 2006), como también de factores externos asociados a pérdidas de nitrógeno por volatilización, desnitrificación, lixiviación y escurrimiento superficial.

Otro concepto involucrado es el índice de cosecha de nitrógeno (ICN), que se define como la proporción de nitrógeno total de la planta que es translocado al grano (Rattunde y Frey, 1986) y es un valor que facilita la evaluación del efecto dosis y parcialización del nitrógeno sobre el contenido de proteína en el grano.

Estudios en trigo y arroz realizados por Singh *et al.*, (2002) y Shukla *et al.*, (2004) demostraron que las aplicaciones de fertilizante nitrogenado que consideran mediciones del color de hoja durante su periodo de crecimiento (con tablas de color Leaf Color Chart (LCC) o con SPAD), comparadas con aplicaciones que no consideran mediciones del estado nutricional de la planta, favorecen tanto rendimiento y calidad como también la eficiencia en el uso del nitrógeno.

Hipótesis

El uso de SPAD en el estado de primer nudo y embuche permiten predecir el rendimiento y contenido de proteína en grano de trigo candeal.

Objetivo general

Asociar rendimiento y contenido de proteína con mediciones SPAD en estado de primer nudo y embuche en trigo candeal variedades Llareta y Corcolén INIA tratados con distinta cantidad y parcialización de nitrógeno en condiciones de riego.

Objetivos específicos

- Cuantificar el rendimiento y contenido de proteína en el grano de trigo producido producido bajo distintas dosis y parcializaciones de nitrógeno.
- Determinar los valores SPAD al estado de primer nudo y embuche.
- Determinar el color de hoja al estado de primer nudo y embuche.
- Asociar los valores SPAD y color de hoja al estado de primer nudo y embuche, con rendimiento y contenido de proteína en el grano.

MATERIALES Y MÉTODO

Lugar del estudio

El estudio se llevó a cabo en la Estación Experimental del Campus Antumapu de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, ubicada en la Región Metropolitana, provincia de Santiago (33° 34' S; 70° 38'O) durante la temporada 2010/2011.

El clima es templado, mediterráneo semiárido, con veranos secos y cálidos e inviernos fríos y lluviosos. El régimen térmico se caracteriza por presentar una temperatura máxima media de 28,2°C en enero y una temperatura mínima media de 4,4°C en julio. Las precipitaciones son invernales, con una media anual de 369,5 mm y un período seco de 8 meses entre septiembre y abril (Santibáñez y Uribe, 1990).

El suelo es un Mollisol, perteneciente a la Serie Santiago, se identifica por ser un suelo de origen aluvial, poseer una profundidad media (60 cm), textura franco arcillo arenosa, buen drenaje, 2% de materia orgánica y pH 8 (Comisión Nacional de Riego, 1981).

Tratamiento y diseño experimental

Se utilizaron dos variedades de trigo candeal (*Triticum turgidum* L. spp. durum) var. Llareta INIA y Corcolén INIA procedentes del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA). Se realizaron dos ensayos, uno para cada variedad, en un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones (Apéndice I y II). Cada ensayo tuvo los siguientes tratamientos (Cuadro 1):

Cuadro 1. Tratamientos, dosis y parcialización de la fertilización nitrogenada.

Tratamientos	Parcialización (kg ha ⁻¹)			Dosis total de N (kg ha ⁻¹)
	N a la siembra	N a primer nudo	N a embuche	
1 (testigo)	0	0	0	0
2	60	0	0	60
3	120	0	0	120
4	180	0	0	180
5	0	180	0	180
6	60	120	0	180
7	120	60	0	180
8	80	120	40	240

La unidad experimental tuvo un área de 15 m² (parcela de 5 m de largo y 3 m de ancho).

Manejo del cultivo

El pre cultivo fue raps y el manejo de labranza previo a la siembra correspondió a labranza convencional con incorporación de residuos al suelo. El suelo fue arado y rastreado dos veces. La siembra se realizó en forma mecanizada mediante una sembradora SEMEATO SHM13/15 el 19 de mayo del 2010 con una dosis de semillas de 150 kg ha⁻¹ a 20 cm entre hileras. Las semillas fueron desinfectadas con los productos Mancozeb y Carbendazim (125 g por 100 kg semilla).

La fertilización fosfatada fue de 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ a la siembra en forma de superfosfato triple. El nitrógeno se aplicó de forma parcializada como urea a la siembra y salitre sódico en primer nudo y embuche. La fertilización se realizó de forma manual utilizando una pantalla para aislar cada unidad experimental y evitar caída de fertilizante en los tratamientos adyacentes.

El cultivo se manejó bajo un sistema de riego por aspersión.

Observaciones

Fenología

Acorde a la escala de Zadoks *et al.*, (1974), se registró la fecha de emergencia (Zadoks 10), primer nudo (Zadoks 31), embuche (Zadoks 40), espigadura (Zadoks 50), anthesis (Zadoks 60), cuaja (Zadoks 70) y madurez fisiológica (Zadocks 90). Se consideró la unidad experimental en el estado de desarrollo indicado cuando el 50% de sus plantas lo presentaron.

Establecimiento de planta

Se contó el número de plantas en un metro lineal tres veces por parcela en el estado de Zadoks 12 (plantas de 2 hojas antes de comenzar a macollar). El promedio se expresó en número de plantas m⁻².

Mediciones SPAD

Con la finalidad de determinar el contenido de clorofila en la hoja, se utilizó el instrumento medidor de clorofila Minolta SPAD-502 (Soil-Plant Analysis Development, Konica Minolta modelo 502, Japón). El valor promedio de clorofila en la hoja por tratamiento se obtuvo muestreando 20 hojas recientemente expandidas provenientes de diferentes plantas, escogidas al azar. Las lecturas se realizaron en la parte central de la última hoja completamente expandida y libres de enfermedades (Hoel, 1998), con la precaución de evitar lecturas sobre la nervadura central. Las mediciones se hicieron en los estados de primer nudo y embuche entre las 10:00 y 14:00 horas. La medición a primer nudo se hizo un día antes de realizar la aplicación de N de los tratamientos 5 al 8, mientras que la segunda medición se hizo en la hoja bandera durante el estado de embuche, antes de la aplicación de nitrógeno del tratamiento 8. Las lecturas con SPAD son expresadas en unidades SPAD.

Mediciones de color

La medición de color se realizó utilizando una “Munsell Plant Tissue Color Chart” (Macbeth Division of Kollmorgen Corporation, USA). El sistema Munsell describe el color en términos de tres atributos denominados matiz, valor y croma. El matiz representa los colores cromáticos divididos en 5 clases principales (rojo, amarillo, verde, azul y morado). La notación valor indica el grado de luminosidad u oscuridad de un color en relación a la escala del gris, el que se extiende de un negro puro (simbolizado como 0/) a un blanco puro (simbolizado 10/). Finalmente, el croma indica el grado de saturación de un color, su escala de medición se extiende de /0 para un gris neutro hasta /14 o más para colores saturados. La notación Munsell para cualquier color se escribe en el siguiente orden: Matiz/Valor/Croma. Las mediciones se realizaron al mismo tiempo que se hicieron las mediciones SPAD. Se muestrearon 10 hojas por cada parcela, correspondiente a la última hoja expandida en el estado de primer nudo y embuche. Las hojas muestreadas provinieron de diferentes plantas libres de enfermedades (Shukla *et al.*, 2004). La medición de color se realizó a la sombra entre las 10:00 y 14:00 horas.

Mediciones contenido de nitrógeno en la planta

La determinación del contenido de nitrógeno de la planta se realizó mediante análisis de nitrógeno por el método Kjeldahl, con un tamaño de muestra de 10 g de peso seco por tratamiento. Estos fueron obtenidos de una muestra de 10 plantas por unidad experimental, considerando la parte aérea de cada planta. Los análisis se realizaron en el laboratorio de calidad de trigo de INIA.

Biomasa, rendimiento y componentes

Por cada unidad experimental se cosecharon a ras de suelo 5 hileras de 1m lineal, sin incluir los bordes de la parcela en la cosecha. De la muestra cosechada de cada parcela, se separaron 50 tallos con espiga, de los que se obtuvo su peso en húmedo y seco después de ser colocados en una estufa a 70°C durante 48 hrs. El resto de la muestra fue pesada y trillada. Posteriormente se separaron 250 granos de cada muestra, los que se pesaron en húmedo y en seco después de ser colocados a una estufa a 70°C durante 48 horas. Con esta información se calculó la biomasa, el rendimiento y sus componentes: número de granos m⁻², peso de los 1.000 granos, número de espigas m⁻² y granos por espiga (Apéndice III).

Contenido de proteína del grano

La medición del contenido de proteína en grano se realizó después de la cosecha, y se determinó por medio del método de Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIR) (Gross *et al.*, 2003). Este análisis fue realizado en el laboratorio de la empresa LUCCHETTI. El contenido de proteína fue expresado en porcentaje en relación al peso total de grano.

Mediciones climáticas y de suelo

En los estados de primer nudo y embuche se realizó un análisis químico de suelo a una profundidad de 0-20 cm y 20-40 cm para conocer los niveles de nitrógeno disponible del suelo en los ensayos de ambas variedades. La medición en el estado de primer nudo solo consideró los tratamientos 1, 2, 3 y 4, ya que estos tratamientos tienen la misma dosis inicial que los tratamientos 5, 6 y 7, mientras que la medición en el estado de embuche consideró todos los tratamientos con excepción del 8.

El contenido de agua del suelo se midió una vez a la semana por medio de la sonda FDR marca Diviner 2000, cada 10 cm hasta una profundidad de 40 cm durante todo el periodo de crecimiento del cultivo.

Se obtuvo información climática de precipitación y temperatura de la estación meteorológica de INIA La Platina, ubicada a aproximadamente 1.000 m del ensayo.

Cálculos

Para el cálculo de la EUN y los otros índices de eficiencia, se utilizó el método propuesto por Novoa y Loomis (1981), quienes definen la EUN como la producción en grano por unidad de nitrógeno suplementado:

$$\text{Eficiencia uso del Nitrógeno (EUN) (kg grano kg N}^{-1}\text{): } \frac{Y_i - Y_o}{N_i}$$

$$\text{Eficiencia de Absorción de Nitrógeno (%): } \frac{NR_i - NR_o}{N_i} \times 100$$

$$\text{Eficiencia Fisiológica de Nitrógeno (kg grano kg N}^{-1}\text{): } \frac{Y_i - Y_o}{NR_i - NR_o}$$

$$\text{Índice de Cosecha de Nitrógeno (ICN) (%): } \frac{NG}{NR_i} \times 100$$

En que N_i es la dosis de nitrógeno aplicado; NR_i el nitrógeno absorbido en una parcela fertilizada con una dosis de nitrógeno i ; NR_o el nitrógeno absorbido en una parcela con dosis o ; Y_i el rendimiento en grano en la parcela fertilizada con dosis i ; Y_o el rendimiento en grano en la parcela con dosis o y NG es el nitrógeno en el grano.

Análisis Estadístico

Los resultados obtenidos de cada tratamiento: rendimiento y componentes, contenido de proteína valores SPAD y eficiencias se sometieron a un análisis de varianza (ANDEVA) mediante el programa Minitab ® 16.1.0. El modelo utilizado es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij},$$

Donde μ corresponde a la media general, τ_i el efecto del i -ésimo tratamiento, β_j el efecto del j -ésimo bloque y ϵ_{ij} representan errores normales e independientes con esperanza cero y varianza común σ^2 .

Al identificarse diferencias significativas entre tratamientos, las medias fueron separadas mediante test de Tukey ($p \leq 0,05$).

Se realizaron regresiones entre las variables rendimiento y proteína en grano con valores SPAD tomados en primer nudo y embuche utilizando el programa Statgraphics Centurion XV Versión 15.2.06.

Para relacionar color de hoja con las variables rendimientos y porcentaje de proteína en grano se realizó un análisis de correspondencia múltiple, utilizando el programa Minitab ® 16.1.0. Este tipo de análisis es cualitativo, por lo que los valores de rendimiento, proteína y los componentes de color valor y croma fueron categorizados de acuerdo al Cuadro 2.

Cuadro 2. Categorización de datos de proteína, rendimiento, valor y croma.

Propiedad	Categoría	Rango
Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Muy bajo	< 3.000
	Bajo	3.000-4.999
	Medio	5.000-6.999
	Alto	7.000-9.000
	Muy alto	>9.000
Proteína (%)	Muy bajo	< 8,9
	Bajo	9,0 – 9,9
	Medio	10,0 – 10,9
	Alto	11,0 – 11,9
	Muy alto	>12
Valor	Muy oscuro	3
	Oscuro	4
	Medio	5
	Claro	6
	Muy claro	7
Croma	Saturado bajo	4
	Saturado moderado	6
	Saturado medio	8
	Saturado alto	10

RESULTADOS

Clima y Suelo

En el Cuadro 3 se presentan las temperaturas máximas, mínimas, precipitaciones y riegos durante el periodo del cultivo.

Cuadro 3. Temperaturas medias máximas, mínimas, precipitación y riegos durante el desarrollo del cultivo.

	Promedio T° máxima (°C)	Promedio T° mínima (°C)	Precipitación (mm mes ⁻¹)	Riego (mm mes ⁻¹)
Mayo	19,9	4,2	54	-
Junio	15,6	1,9	75	-
Julio	13,7	-0,3	26	-
Agosto	16,6	2,3	8	15
Septiembre	20,1	3,8	23	30
Octubre	22,6	5,7	10	3 x 30
Noviembre	26,5	8,5	34	2 x 45
Total			230	225

El año 2010 se caracterizó por ser un año seco en la región Metropolitana, ya que la precipitación total durante el periodo de desarrollo del cultivo alcanzó 230 mm, sin embargo, con el riego el cultivo recibió un total de 455 mm. El mes que tuvo las temperaturas más bajas fue julio, con un promedio de -0,3°C, temperaturas que no afectaron al cultivo, ya que este se encontraba en estado vegetativo, previo a la elongación del tallo.

Balance hídrico

La Figura 1 muestra el contenido de agua en los primeros 50 cm de profundidad del suelo.

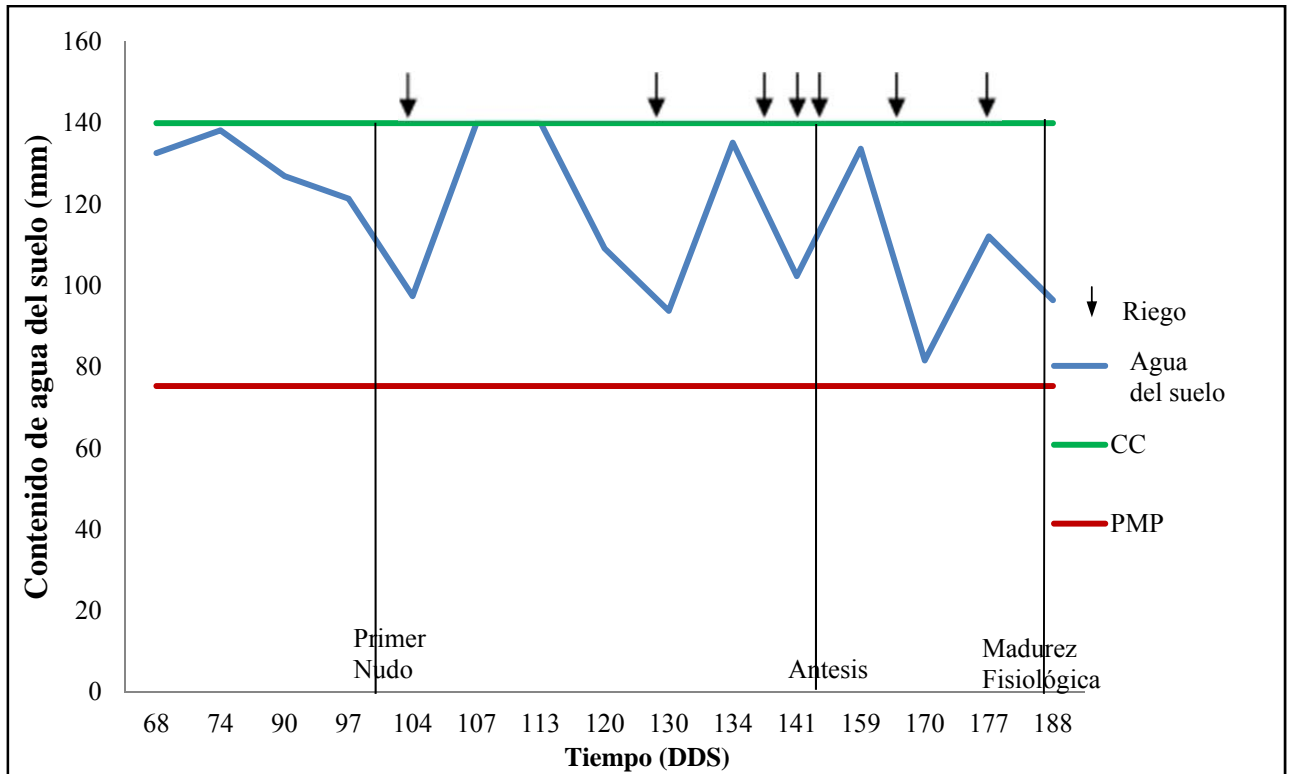


Figura 1. Balance hídrico en cultivo de trigo candeal. Las flechas indican los riegos, líneas verticales indican estados de desarrollo de primer nudo, antesis y madurez fisiológica.

Durante el periodo de crecimiento del cultivo se realizaron 7 riegos con el fin de llevar el contenido de agua a capacidad de campo, con un aporte total de 225 mm durante toda la temporada. El primer riego se realizó el 27 de agosto con la finalidad de incorporar el nitrógeno aplicado en primer nudo y el último riego el día 15 de noviembre, antes de que el cultivo alcanzara el estado de madurez fisiológica.

Análisis de suelo

El análisis de nitrógeno disponible en el suelo consideró la suma del nitrógeno en forma de amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-) en los estados de primer nudo y embuche (Cuadro 4).

Los resultados muestran que a primer nudo no hubo diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los contenidos de nitrógeno disponible. Sin embargo, la cantidad total de nitrógeno en el suelo se incrementó en la medida que aumentó la dosis de nitrógeno aplicado a la siembra.

A embuche hubo diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$), donde solo el Tratamiento 4 se diferenció de los Tratamientos 1, 2 y 3.

Cuadro 4. Contenido de nitrógeno disponible en el suelo considerando el perfil de 0 a 40 cm, en los estados de primer nudo y embuche.

Tratamiento	Nitrógeno (kg ha ⁻¹)	N disponible en primer nudo (kg N ha ⁻¹)	N disponible en embuche (kg N ha ⁻¹)
1	0 ^a -0 ^b -0 ^c	37,6 a	65,0 b
2	60-0-0	34,5 a	68,9 b
3	120-0-0	43,4 a	69,0 b
4	180-0-0	62,7 a	105,1 a
5	0-180-0	- -	85,7 ab
6	60-120-0	- -	74,6 ab
7	120-60-0	- -	96,2 ab
8	80-120-40	-	-

Letras distintas representan diferencias significativas de acuerdo al test de Tukey ($p \leq 0,05$).
a-b-c: parcialización de nitrógeno en siembra – primer nudo – embuche.

Fenología

Al realizar un análisis combinado de varianza (Cuadro 5) no se detectó interacción variedad*nitrógeno ($p \leq 0,05$) en el periodo desde siembra a los estados de embuche, espigadura, antesis, cuaja y madurez fisiológica, por lo que ambas variedades fueron analizadas juntas. Con respecto a variedades, solo hubo diferencias significativas en espigadura y cuaja, mientras que entre tratamiento nitrógeno hubo diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en todos los estados fenológicos.

Cuadro 5. Análisis combinado de varianza para estados fenológicos.

Fuente	Embuche (DDS)	Espigadura (DDS)	Antesis (DDS)	Cuaja (DDS)	Madurez Fisiológica (DDS)
Repetición	ns	ns	ns	ns	ns
Variedad	ns	*	ns	*	ns
Nitrógeno	**	***	***	***	***
Variedad*Nitrógeno	ns	ns	ns	ns	ns

*: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$; ***: $p \leq 0,001$; ns: no significativo

DDS: Días desde siembra

La fertilización nitrogenada tuvo un efecto en la duración de cada estado fenológico, siendo el tratamiento sin nitrógeno el más precoz, ya que tuvo un periodo de siembra a madurez fisiológica 10 días menos que el tratamiento 8 (Cuadro 6). Fois *et al.* (2009) determinaron que a mayor dosis de fertilización nitrogenada mayor es el periodo desde siembra a antesis bajo condiciones de clima Mediterráneo y riego.

Una mayor disponibilidad de nitrógeno alarga el periodo de siembra a madurez fisiológica debido a que la planta produce más biomasa aérea y hasta antesis alrededor del 50% del nitrógeno de la planta se encuentra en las hojas formando parte del sistema fotosintético, mientras que el otro 50% del nitrógeno se encuentra en tallo y raíces sin una activa participación en la fotosíntesis. Al momento del llenado de los granos, el nitrógeno de las estructuras de reserva es el primero en removilizarse para constituir las proteínas del grano, retrasando la removilización del nitrógeno desde las hojas, incrementando la longevidad del follaje (Jamienson y Semenov, 2000).

Cuadro 6. Periodo fenológico en DDS a embuche, espigadura, antesis, cuaja y madurez fisiológica.

Tratamiento	Nitrógeno (kg ha ⁻¹)	Embuche (DDS)	Espigadura (DDS)	Antesis (DDS)	Cuaja (DDS)	Madurez Fisiológica (DDS)
1	0 ^a -0 ^b -0 ^c	134 b	138 c	144 c	149 c	182 b
2	60-0-0	135 ab	139 bc	147 bc	151 bc	182 b
3	120-0-0	135 ab	140 bc	149 ab	154 ab	187 ab
4	180-0-0	137 a	144 ab	151 a	156 ab	190 a
5	0-180-0	136 ab	142 abc	148 ab	154 ab	191 a
6	60-120-0	136 ab	141 abc	149 ab	155 ab	188 a
7	120-60-0	135 ab	142 abc	148 ab	154 ab	187 ab
8	80-120-40	137 a	146 a	152 a	157 a	192 a
	C.V. (%)	1,2	2,4	1,8	1,9	1,9

Letras distintas representan diferencias significativas de acuerdo al test de Tukey ($p \leq 0,05$).

a-b-c: parcialización de nitrógeno a: siembra - primer nudo - embuche, respectivamente.

DDS: Días desde siembra; C.V.: Coeficiente de variación.

Establecimiento

En los ensayos no hubo problemas de establecimiento del cultivo, logrando en promedio 225 pl m⁻².

Biomasa, rendimiento y componentes

Al realizar el análisis combinado de varianza (Cuadro 7) no se detectó interacción entre variedad*nitrógeno ($p \leq 0,05$) en ninguno de los parámetros en evaluación, por lo que el análisis se realizó considerando ambas variedades en su conjunto. Por otro lado, no se observó diferencia significativa ($p \leq 0,05$) entre las dos variedades evaluadas, con excepción de los parámetros de IC y peso seco de granos. Con respecto a los tratamientos de nitrógeno, se detectó diferencias significativas ($p \leq 0,001$) en las variables biomasa, rendimiento, IC, espigas m⁻² y granos m⁻².

Cuadro 7. Análisis combinado de varianza para parámetros de rendimiento.

Fuente	Biomasa (kg ha ⁻¹)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	IC	Peso seco		Espigas m ⁻²	Granos espiga ⁻¹
				1000 granos (g)	Granos m ⁻²		
Repetición	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Variedad	ns	ns	*	***	ns	ns	ns
Nitrógeno	***	***	***	ns	***	***	ns
Variedad*Nitrógeno	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

*: p≤0,05; **: p≤0,01; ***p≤0,001; ns: no significativo

En el Cuadro 8 se muestran las medias por tratamiento en cada uno de los parámetros de rendimientos evaluados.

Cuadro 8. Biomasa, rendimiento y componentes considerando el promedio de ambas variedades.

Tratamiento	Nitrógeno (kg ha ⁻¹)	Biomasa (kg ha ⁻¹)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	IC	Peso Seco 1000 granos (g)	Granos m ⁻²	Espigas m ⁻²	Granos espiga ⁻¹
1	0 ^a -0 ^b -0 ^c	9.538 c	3.493 c	0,37 a	55,0	6.355 c	245 c	26
2	60-0-0	20.241 b	6.505 b	0,32 c	53,1	12.203 b	451 b	27
3	120-0-0	23.839 ab	7.861 ab	0,33 bc	54,1	14.542 a	526 ab	27
4	180-0-0	24.163 ab	8.091 a	0,34 abc	52,3	15.481 a	548 ab	28
5	0-180-0	21.866 ab	7.982 a	0,37 a	54,7	14.591 a	567 a	25
6	60-120-0	23.330 ab	8.411 a	0,36 ab	55,3	15.247 a	523 ab	29
7	120-60-0	24.314 ab	8.394 a	0,35 abc	54,1	15.516 a	540 ab	29
8	80-120-40	24.990 a	8.407 a	0,34 abc	51,4	16.426 a	591 a	28
	C.V. (%)	13,3	11,9	6,7	4,9	10,7	14,1	9,0

Letras distintas representan diferencias significativas de acuerdo al test de Tukey (p≤0,05).

a-b-c: parcialización de nitrógeno en siembra – primer nudo – embuche respectivamente.

C.V.: Coeficiente de variación.

Con respecto a biomasa y rendimiento, el tratamiento 1 fue el que tuvo el valor más bajo, mientras que la mayor acumulación de biomasa y rendimiento se logró en los tratamientos 3, 4, 5, 6, 7 y 8. Considerando la dosis total de nitrógeno, a medida que esta aumentó, el rendimiento final en grano tuvo el mismo comportamiento ya que los resultados mostraron que una dosis mayor a 120 kg N ha⁻¹ no produjo un aumento estadísticamente significativo en rendimiento.

López-Bellido *et al.* (2004) evaluaron el efecto sobre el rendimiento al aumentar la dosis de fertilización nitrogenada entre 0 y 300 kg N ha⁻¹, aplicando el fertilizante a siembra y primer nudo, en trigo harinero. Los rendimientos obtenidos variaron de 30,1 a 108,7 qq ha⁻¹, logrando los rendimientos más altos en el rango de fertilización entre 240 y 300 kg N ha⁻¹, esto bajo condiciones de secano en clima Mediterráneo.

Un aporte de nitrógeno en los momentos de mayor demanda incrementa la síntesis de biomasa gracias a una mayor capacidad fotosintética, esto debido a que en plantas C₃ aproximadamente el 80% del total del nitrógeno en la hoja se encuentra en los

cloroplastos, y de este, entre 12 y 35% forma parte de la Rubisco (Makino, 2003), siendo la enzima más abundante en la planta y la que además tiene una activa participación en el proceso fotosintético (Feller *et al.*, 2007). De esta forma, una mayor disponibilidad de nitrógeno en la planta genera un aumento en clorofila y en la actividad de la Rubisco, incrementando la actividad fotosintética de las hojas e induciendo una mayor producción de biomasa, favoreciendo un aumento en los rendimientos (Cabrera-Bosquet *et al.*, 2009; Fois *et al.*, 2009).

No se observó un efecto estadísticamente significativo de la parcialización del nitrógeno sobre el rendimiento, como tampoco en ninguno de sus componentes. Sin embargo, estudios realizados por López-Bellido *et al.*, (2005) y Garrido-Lestache *et al.*, (2004) en trigo harinero, sembrado bajo condiciones de secano en clima Mediterráneo, mostraron los mejores rendimientos en grano cuando la mitad o la tercera parte de la dosis de fertilizante nitrogenado fue aplicado a inicios de elongación del tallo.

En este estudio, la dosis de nitrógeno tuvo un efecto significativo en el número de granos m^{-2} y el número de espigas m^{-2} ($p \leq 0,001$). El valor más bajo se obtuvo en el tratamiento sin aplicación de nitrógeno, mientras que los valores más altos de número de granos m^{-2} y espigas m^{-2} se logró en los tratamientos 3, 4, 5, 6, 7 y 8. Un mayor número de granos m^{-2} está asociado a una mayor capacidad fotosintética como también a una mayor distribución de asimilados hacia la formación de la espiga y menos a estructuras vegetativas durante las tres semanas previas a la floración (Frederick y Bauer, 1999). Sinclair y Jamieson (2006) indican que la disponibilidad de nitrógeno en el periodo de mayor demanda del cultivo es un factor crucial que determina el número de granos m^{-2} , siendo esta variable una de las más importantes en definir el rendimiento final (Brown y Petrie, 2006).

Una alta disponibilidad de nitrógeno en estados iniciales de crecimiento debe reflejar un mayor número de macollos con espigas viables (Armour *et al.*, 2004). En este estudio se logró un aumento gradual en el número de espigas m^{-2} a medida que aumentó la dosis de nitrógeno aplicado a la siembra, sin embargo, solo el tratamiento 1 se diferenció significativamente de los otros tratamientos (Cuadro 8).

El peso seco de los 1.000 granos y el número de granos por espigas no fueron afectados por la dosis como tampoco por el momento de aplicación del nitrógeno. De esta forma, el aumento en el rendimiento producto de un aumento en la fertilización nitrogenada fue el resultado de un aumento en el número de espigas m^{-2} y número de granos m^{-2} , incluso cuando el peso de los granos tendió a disminuir, resultado acorde al obtenido por Abad *et al.*, (2004).

En general, los valores de IC obtenidos son bajos en relación al valor 0,46 característico de la especie de trigo, siendo el valor más alto de IC alcanzado en este ensayo de 0,37. Considerando la dosis de nitrógeno, el tratamiento 1 se diferenció de los tratamientos 2 y 3. Con respecto a la parcialización de nitrógeno, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos.

Cabe destacar que en el periodo de llenado de grano, el tratamiento 8 tuvo tendencia producto de las precipitaciones tardías ocurridas en el mes Noviembre, afectando hasta un

80% de las plantas dentro de una unidad experimental, por lo que esta situación pudo haber generado algún grado de disminución del rendimiento.

Contenido de proteína en grano

En el resultado del análisis combinado de varianza (Cuadro 9), no se observaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) con respecto a la variedad. Para el caso de tratamiento nitrógeno se observó diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,001$). La interacción variedad*nitrógeno no fue estadísticamente significativa ($p \leq 0,05$), por lo que para el análisis se utilizó el promedio de porcentaje de proteína en grano de ambas variedades.

Cuadro 9. Análisis combinado de varianza del contenido de proteína en grano.

Fuente	Proteína en Grano (%)
Repetición	n.s
Variedad	n.s
Nitrógeno	***
Variedad*Nitrógeno	n.s

*** $p \leq 0,001$; ns: no significativo

Con respecto al contenido de proteína en grano, los tratamientos 1, 2 y 3 tuvieron los valores más bajos, en torno al 10,4%, mientras que el tratamiento 8 fue el que tuvo el contenido más alto con un 12,6% de proteína en el grano (Cuadro 10).

Entre los tratamientos 5 y 7, en que se aplicó una dosis total de nitrógeno de 180 kg ha^{-1} , hubo diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,001$), con 11,7% y 11% de proteína en grano respectivamente. A medida que aumentó la dosis de nitrógeno aplicada en primer nudo, también aumentó el contenido de proteína en grano.

Cuadro 10. Proteína en grano, considerando el promedio de ambas variedades.

Tratamientos	Nitrógeno (kg ha^{-1})	Proteína en grano (%)
1	0 ^a -0 ^b -0 ^c	10,1 d
2	60-0-0	10,1 d
3	120-0-0	10,4 d
4	180-0-0	11,1 bc
5	0-180-0	11,7 b
6	60-120-0	11,3 bc
7	120-60-0	11,0 c
8	80-120-40	12,6 a
	C.V.	1,92

a-b-c: parcialización de nitrógeno en siembra – primer nudo – embuche, respectivamente.

Letras distintas representan diferencias significativas de acuerdo al test de Tukey ($p \leq 0,05$).
C.V.: Coeficiente de variación.

A medida que aumentó la dosis de fertilización nitrogenada se produjo un aumento en el contenido de proteína en grano. Similares resultados han sido informados por Abad *et al.* (2004), Garrido-Lestache *et al.* (2004) y López-Bellido *et al.* (2004), quienes concluyeron que a mayor dosis de fertilizante nitrogenado hubo mayor contenido de proteína en grano, incluso con dosis que no tienen un efecto positivo en incrementar el rendimiento. Esto se explica porque las respuestas del rendimiento y el contenido de proteína en grano son diferentes frente a la fertilización nitrogenada. En condiciones de baja disponibilidad de este nutriente, existe una relación negativa entre el contenido de proteína en grano y rendimiento, donde un aumento del contenido de nitrógeno disponible incrementa el rendimiento pero disminuye el porcentaje de proteína. A medida que aumenta la disponibilidad de nitrógeno del suelo, la respuesta del rendimiento y proteína en grano cambian, teniendo un menor impacto sobre el incremento del rendimiento, pero un mayor impacto sobre la acumulación de proteína en grano (Stone y Savin, 1999; Silva *et al.* 2007b).

Aplicaciones de nitrógeno en embuche pueden incrementar el contenido de proteína en el grano, así lo demuestra el tratamiento 8, sin embargo, en este estado se dificulta la aplicación de fertilizante granular por el gran desarrollo vegetativo del cultivo, por lo que entre más temprana sea la predicción del contenido final de proteína en grano, más factible será la aplicación de fertilizante con la finalidad de corregir y asegurar un grano de buena calidad proteica.

Mediciones SPAD

El análisis combinado de varianza (Cuadro 11) muestra que no hubo interacción variedad*nitrógeno, por lo que es posible analizar ambas variedades en su conjunto. A nivel de tratamiento de N, hubo diferencias significativas en ambos momentos de medición, mientras que en variedad ambas se diferenciaron solo en el estado de primer nudo.

Cuadro 11. Análisis combinado de varianza de mediciones SPAD en estado de primer nudo.

Fuente	SPAD Primer Nudo	SPAD Embuche
Repetición	ns	Ns
Variedad	**	Ns
Nitrógeno	***	***
Variedad*Nitrógeno	ns	Ns

: $p \leq 0,01$; * $p \leq 0,001$; ns: no significativo.

En promedio, Llaretta presentó valores más altos que Corcolén en primer nudo, sin embargo, en el estado de embuche ambas variedades se comportaron igual, obteniendo una media de SPAD de 46,3 para ambas variedades (Cuadro 12).

A medida que aumentó la dosis de nitrógeno aplicado a la siembra, también lo hicieron los valores SPAD medidos en primer nudo, oscilando entre 41,1 y 51,4 unidades SPAD y diferenciándose significativamente entre tratamientos ($p \leq 0,001$). Los tratamientos 1 y 5 tuvieron los valores SPAD más bajos con 42,0 y 41,1 respectivamente (Cuadro 12), ambos sin aplicación de nitrógeno al momento de la siembra.

Cuadro 12. Media de valores SPAD medidos en primer nudo y embuche para cada variedad y tratamiento.

	Nitrógeno (kg ha⁻¹)	SPAD Primer Nudo	SPAD Embuche
Variedad			
Llaretta	-	47,6 a	46,3
Corcolén	-	46,1 b	46,3
Tratamiento			
1	0 ^a -0 ^b -0 ^c	42,0 d	43,0 E
2	60-0-0	46,8 c	42,8 E
3	120-0-0	50,3 a	43,7 E
4	180-0-0	51,4 a	45,4 D
5	0-180-0	41,1 d	51,7 A
6	60-120-0	45,9 c	49,0 B
7	120-60-0	50,0 ab	46,6 Cd
8	80-120-40	47,2 bc	48,0 Bc

a-b-c: parcialización de nitrógeno en siembra – primer nudo – embuche, respectivamente. Letras distintas representan diferencias significativas de acuerdo al test de Tukey ($p \leq 0,05$).

Los valores SPAD en embuche fueron más bajos en comparación con los de primer nudo en los tratamientos sin parcialización de nitrógeno (con excepción de los tratamientos 1 y 5), mientras que en aquellos tratamientos en que se aplicó una mayor dosis de nitrógeno en primer nudo que a la siembra, los valores SPAD medidos en embuche fueron mayores en comparación a los medidos en primer nudo.

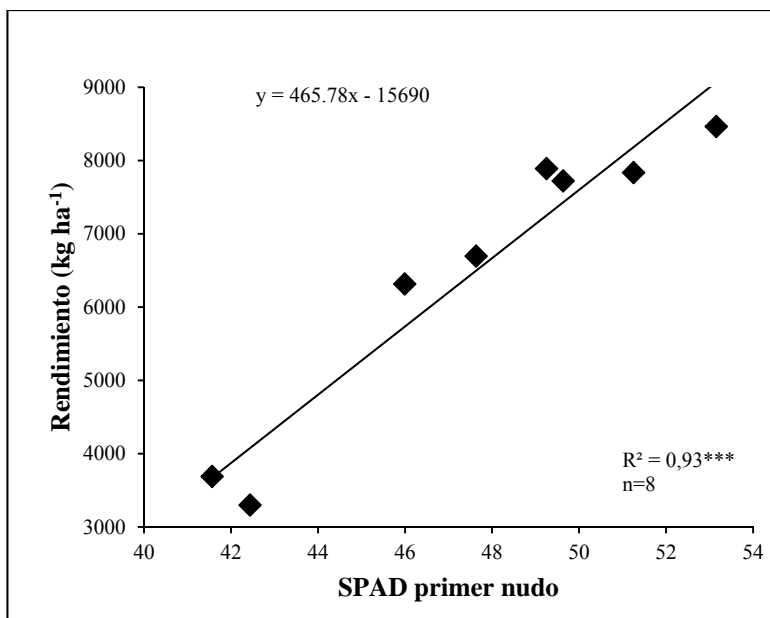
Relación entre rendimiento y valores SPAD

Los valores SPAD son una estimación del contenido de clorofila en la hoja, por lo que altos valores SPAD están asociados a una mayor capacidad fotosintética de las hojas, lo que se debiera traducir en mayores rendimientos.

Se obtuvo una relación estadísticamente significativa entre rendimiento y SPAD medido en primer nudo (Figura 2a) como también en embuche (Figura 2b) ($p \leq 0,0001$ y $p \leq 0,01$,

respectivamente), encontrándose un mejor ajuste en la regresión rendimiento y SPAD medido a primer nudo, con un valor $R^2=0,93$.

a.



b.

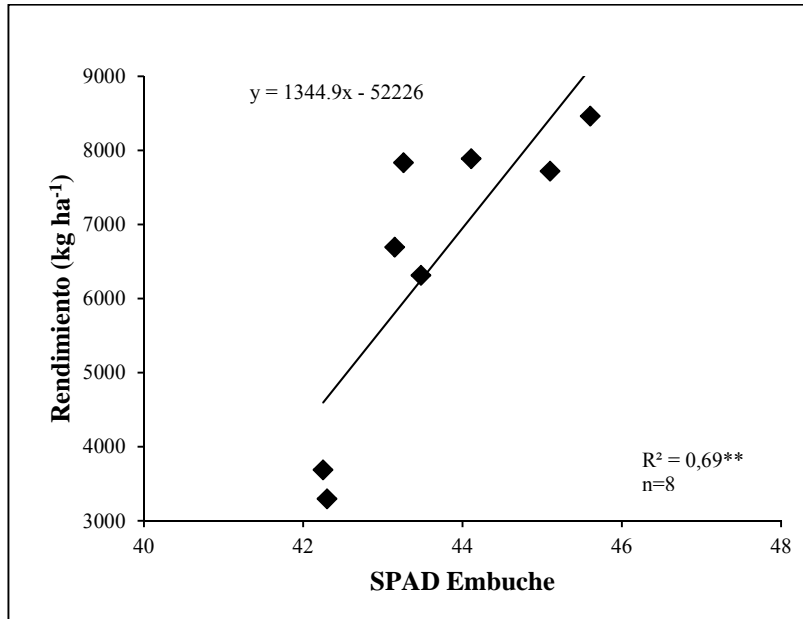


Figura 2. Correlación entre mediciones SPAD en (a) primer nudo y (b) embuche versus rendimiento, considerando los tratamientos 1, 2, 3 y 4.

** : $p \leq 0,01$; *** : $p \leq 0,001$; n: número de muestras

Follett y Follett (1992), en un estudio realizado en Colorado bajo condiciones de secano y Singh *et al.*, (2002), bajo condiciones de riego en India, determinaron que en el estado de

máximo macollaje existió la mejor asociación entre mediciones SPAD y rendimiento en trigo harinero invernal.

La regresión al estado de embuche explicó el 68%, valor superior al de Yildirim *et al.* (2011), que obtuvieron un $R^2=0,51$ al estado de antesis en trigo candeal bajo condiciones de riego en Turquía. Otros autores han encontrado buenas relaciones entre rendimiento y SPAD en otros estados de desarrollo. Debaeke *et al.*, (2006) obtuvieron la mejor regresión en floración en trigo candeal, sembrado en Toulouse, Francia, mientras que Hoel (1998) determinó que el estado de embuche es el más adecuado para realizar las mediciones SPAD, en trigo harinero invernal, sembrado en el sur este de Noruega, con un $R^2= 0,54$.

Blackmer y Schepers (1995) señalaron que es posible encontrar relaciones pobres entre lecturas SPAD y rendimiento en mediciones realizadas en estados de desarrollo temprano, debido a que las diferencias en rendimiento a menudo son causadas por deficiencias o estreses ocurridas en estados más avanzados en el desarrollo del cultivo, como heladas o estrés hídrico en periodo de floración, y que las mediciones tempranas no son capaces de detectar.

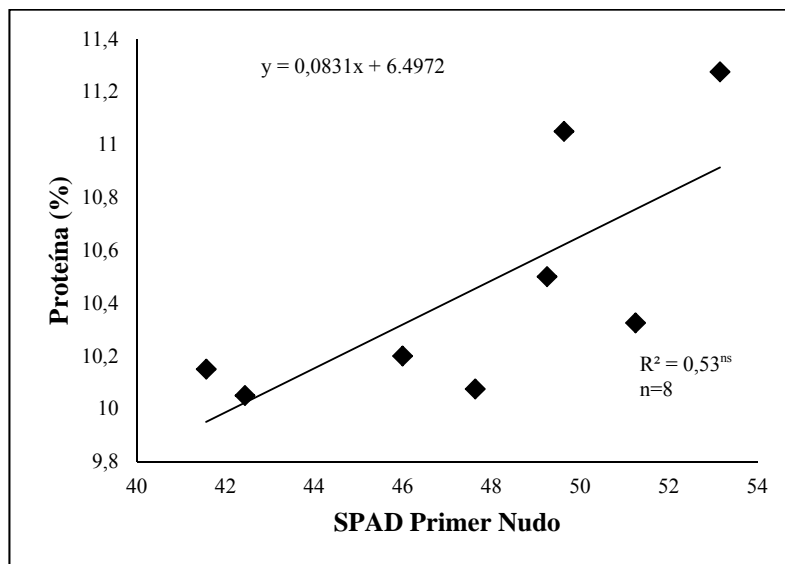
Con el objeto de lograr rendimientos mayores a 8.000 kg ha^{-1} , rendimiento superior al promedio nacional durante la temporada 2010-2011 (6.670 kg ha^{-1}), es necesario obtener como mínimo 51 unidades SPAD a primer nudo, valor obtenido al reemplazar la medición SPAD en la ecuación de la regresión.

Relación entre porcentaje de proteína en grano y valores SPAD

Altas concentraciones de nitrógeno en la hoja están asociadas a altos contenidos de proteína en grano, debido a que una gran proporción del nitrógeno es removilizado desde hojas y tallos al grano, después de ocurrida la antesis (Xue *et al.*, 2007), por lo que las mediciones del contenido de clorofila en la hoja puede ser un buen indicador de la concentración de nitrógeno final en grano (Lopez Bellido *et al.*, 2004).

Las Figuras 3 a y b muestran la regresión entre proteína y SPAD medido a primer nudo y embuche, respectivamente. Para esto se seleccionaron los tratamientos 1, 2, 3 y 4, los que tuvieron sólo una aplicación de nitrógeno al momento de la siembra. Los resultados muestran que en primer nudo no hubo una relación estadísticamente significativa, mientras que en embuche sí existió una relación significativa entre contenido de proteína en grano y valores SPAD, explicando el 90% la variación total en el porcentaje de proteína en grano.

a.



b.

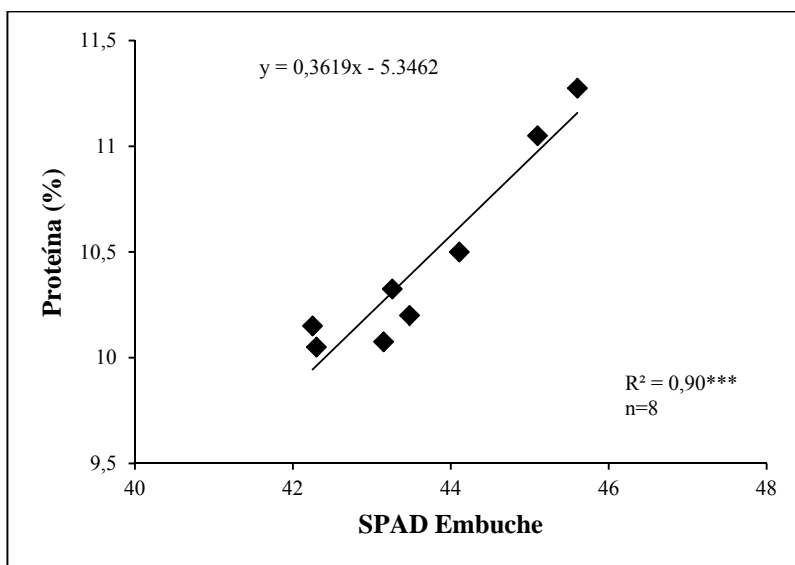


Figura 3. Regresión entre valores SPAD medidos en (a) primer nudo y (b) embuche versus porcentaje de proteína en grano, considerando los tratamientos 1, 2, 3 y 4.

*** $p \leq 0,001$; ns: no significativo; n: número de muestras

Al considerar los tratamientos 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7, la regresión entre los valores SPAD medidos en el estado de embuche y proteína en grano (Figura 4), fue significativa ($p \leq 0,001$) y la regresión explicó un 85% de la variación total en el porcentaje de proteína en grano ($R^2=0,85$). Sin embargo, en esta regresión la pendiente cayó de los 0,36 a los 0,17, lo que muestra una disminución en la acumulación de proteína por incremento de cada unidades SPAD.

Hoel (1998) utilizó el instrumento SPAD para evaluar su relación con N en la planta de trigo y sus resultados mostraron que existe una estrecha relación entre proteína en grano y SPAD en estado de embuche ($R^2=0,73$) mientras que en primer nudo obtuvo una relación más baja ($R^2=0,47$). Diversos autores también han encontrado buenas correlaciones entre SPAD y proteína en grano, como Le Bail *et al.*, (2005) con R^2 de 0,77 en inicio de llenado de grano y López-Bellido *et al.*, (2004) con un R^2 de 0,88 a floración, ambos en trigo harinero, o Debaeke *et al.*, (2006) con un R^2 de 0,76 a floración en trigo candeal.

Se han observado buenas correlaciones entre mediciones SPAD y proteína en grano en estados de desarrollo avanzado en trigo, bajo condiciones de riego en clima Mediterráneo, esto por el hecho de que tanto el N absorbido en el periodo pre antesis y la translocación de este nutriente en periodos post antesis influyen directamente en el contenido de proteína en el grano; además, los estreses térmicos e hídricos en periodos post antesis, propios del clima Mediterráneo, han demostrado tener una gran influencia sobre la translocación de N al grano, por lo que bajo condiciones de riego, donde se reduce la posibilidad de estrés hídrico, es posible obtener buenas correlaciones entre las mediciones SPAD y la proteína en el grano (Arregui *et al.*, 2006).

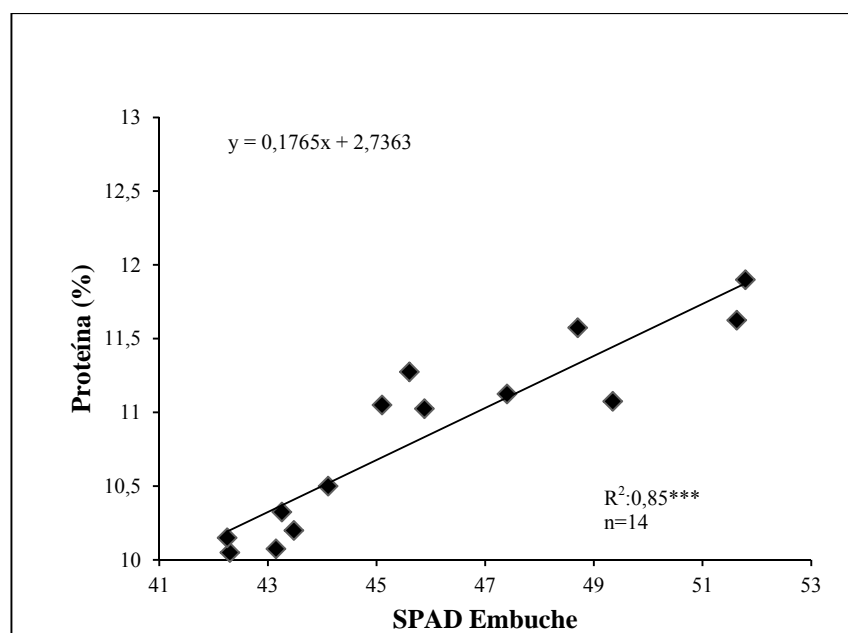


Figura 4. Regresión entre valores SPAD medidos en embuche con porcentaje de proteína en grano, considerando los tratamientos 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

*** $p \leq 0,001$; n: número de muestras.

Con valores SPAD menores a 44,5 al estado de embuche, no es esperable un contenido de proteína en grano mayor a 10,5%, mientras que con valores SPAD mayores a 45 es esperable superar el 11% de proteína. La importancia de obtener contenido de proteína superior al 11% radica en que la industria de pastas ofrece bonificaciones por concepto de calidad y se puede optar a mejores precios al momento de exportar.

Realizando una predicción a partir de la fórmula obtenida por la regresión, para lograr un contenido de proteína en grano mayor a un 13%, las mediciones SPAD al estado de embuche deben ser mayores a 58 unidades, valor no alcanzado en este estudio.

Color de Hoja

En primer nudo las variedades Corcolén INIA y Llareta INIA (Cuadro 13), tuvieron colores de hoja que fluctuaron entre matiz de 5 y 7,5 GY (Verde Amarillo) y rango de valor/croma de 5/6 y 4/4.

Un mayor valor representa una mayor claridad, mientras que un mayor croma, representa un mayor grado de saturación. Considerando esto, en mediciones realizadas al estado de primer nudo, los tratamientos 1 y 5 tuvieron los colores de verde más claros, ya que un 55% de las muestras exhibieron el color verde amarillo 5GY 5/6. El tratamiento 4, que recibió la dosis de nitrógeno más alta aplicada a primer nudo, tuvo un color verde más oscuro y saturado, donde el 100% del tratamiento tuvo el color verde amarillo 7,5GY 4/4.

A medida que aumentó la dosis de nitrógeno aplicada a la siembra se pudo observar una mayor homogeneidad en el color de la parcela, alcanzando hasta el 100% del mismo color en el tratamiento 4 en las mediciones realizadas en primer nudo.

Cuadro 13. Porcentaje de color dominante a primer nudo y embuche

Tratamiento	Nitrógeno (kg ha ⁻¹)	Porcentaje de color dominante en primer nudo (%)		Porcentaje de color dominante en embuche (%)
1	0 ^a -0 ^b -0 ^c	55%	5GY ^d 5 ^e /6 ^f	77% 5 GY 5/6
2	60-0-0	85%	5GY 4/6	80% 5 GY 4/6
3	120-0-0	91,2%	5GY 4/4	93% 5 GY 4/6
4	180-0-0	100%	7,5GY 4/4	54% 5 GY 4/4
5	0-180-0	55%	5GY 5/6	66% 5 GY 4/4
6	60-120-0	85%	5GY 4/6	92% 5 GY 4/4
7	120-60-0	91,2%	5GY 4/4	91,3% 5 GY 4/4
8	80-120-40	95%	5GY 4/6	78,4% 5 GY 4/4

a-b-c: parcialización de nitrógeno en siembra – primer nudo – embuche.

d= Matiz; e= Valor; f= Croma

En la mediciones realizadas al estado de embuche (Cuadro 13) el matiz no presentó variaciones. El tratamiento 1 tuvo el color verde más claro, con un valor de 5, mientras que los tratamientos 4, 5, 6, 7 y 8, presentaron los colores de verde más oscuros y saturados, con valores de valor/croma de 4/4, tratamientos que, salvo el 4, recibieron nitrógeno en el estado de primer nudo.

Con la finalidad de asociar el color de hoja con rendimiento y contenido de proteína en grano se realizó un análisis de correspondencia múltiple, análisis de tipo cualitativo que consideró una categorización de los parámetros de rendimiento, proteína, valor y croma (Cuadro 2) y que asoció cada una de estas variables (Figura 5).

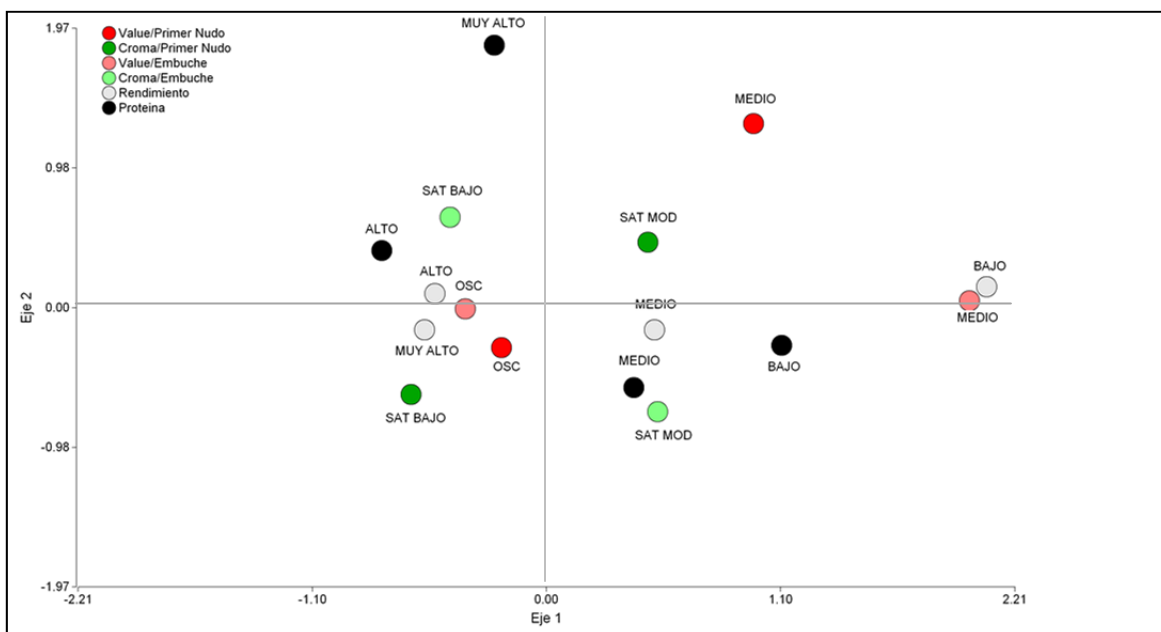


Figura 5. Análisis de correspondencia múltiple considerando rendimiento, proteína en grano y color de hoja descompuesto en valor y croma. Separación de puntos con respecto al centro 0,0 del gráfico. Puntos cercanos entre sí representan asociación entre las variables.

Los resultados del análisis de correspondencia múltiple (Figura 5) muestran una asociación entre rendimiento alto ($7.000-9.000 \text{ kg ha}^{-1}$) y muy alto ($>9.000 \text{ kg ha}^{-1}$) con valor oscuro (4/) medido tanto en primer nudo como en embuche y croma saturado bajo (/4) medido en los mismos estados de desarrollo. También existió una asociación entre un rendimiento bajo ($3.000-4.999 \text{ kg ha}^{-1}$) con valor medio (5/) medido en primer nudo y embuche.

Con respecto a proteína, los contenidos de proteína muy alto ($>12\%$) y alto ($11,0-11,9\%$) se asociaron con un valor oscuro (4/) y croma saturado bajo (/4) medido en embuche, mientras que un contenido de proteína medio ($10,0-10,9\%$) y bajo ($9,0-9,9\%$) se asoció a croma saturado moderado (/6) medido en embuche.

Singh *et al.* (2011), utilizando una tabla de color LCC (Leaf Color Chart) observaron que al aumentar la dosis de fertilizante nitrogenado mayor es la intensidad de color verde en hoja en maíz y trigo (Singh *et al.*, 2012). Por otro lado, Maiti y Das (2006) en su estudio de calibración de una tabla de color LCC en trigo harinero, determinaron que a medida que aumenta la dosis de fertilizante nitrogenado de 0 a 150 kg N ha^{-1} se produce un aumento en el verdor de la hoja. En su estudio también determinaron que a través del uso de LCC como indicador de deficiencia de nitrógeno en la planta se puede llegar a ahorrar entre 40 y $67,5 \text{ kg N ha}^{-1}$ sin una reducción del rendimiento, al igual que Singh *et al.*, (2011), quienes determinaron que es posible ahorrar entre 20 y 50% de fertilizante nitrogenado en maíz.

Eficiencia del uso del nitrógeno (EUN)

El análisis combinado de varianza (Cuadro 14), mostró diferencias significativas entre tratamientos de nitrógeno ($p \leq 0,001$) para EUN y eficiencia fisiológica. La interacción variedad*nitrógeno no tuvo efecto significativo, por lo que el análisis de varianza se realizó considerando ambas variedades en conjunto. Hubo diferencias ($p \leq 0,05$) entre las dos variedades evaluadas en los parámetros de eficiencia de absorción y EUN.

Cuadro 14. Análisis combinado de varianza para eficiencia de absorción, eficiencia fisiológica, EUN e índice de cosecha de nitrógeno.

Fuente	Eficiencia de absorción	Eficiencia fisiológica	EUN	ICN
Repetición	ns	ns	ns	ns
Variedad	*	ns	*	ns
Nitrógeno	ns	***	***	ns
Variedad*Nitrógeno	ns	ns	ns	ns

*: $p \leq 0,05$; *** $p \leq 0,001$; ns: no significativo. EUN: Eficiencia en uso del nitrógeno. ICN: Índice de cosecha de nitrógeno.

El valor más alto de EUN se logró en el tratamiento 2 alcanzando 50,1 kg grano kg N⁻¹ (Cuadro 15), valor alto que puede estar explicado por un rendimiento moderadamente alto en relación a la baja dosis de nitrógeno aplicada. La tendencia de los datos muestra que a medida que aumenta la dosis de nitrógeno, la EUN tiende a disminuir. Ciampitti y Vyn (2011) en maíz, Limon-Ortega *et al.* (2008) y Guarda *et al.* (2004) en trigo, evaluaron la eficiencia de uso del nitrógeno y observaron un comportamiento inversamente proporcional entre dosis de nitrógeno y EUN. Este comportamiento estaría dado por pérdidas de nitrógeno ya sea por volatilización, lixiviación o desnitrificación producto de que altas concentraciones de nitrógeno en el suelo saturarían los mecanismos de entrada a las raíces (Novoa y Loomis, 1981), aumentando la posibilidad de pérdida (Fageria y Baligar, 2005).

Cuando la dosis de 180 kg N ha⁻¹ se parcializó (tratamientos 5, 6 y 7), no se detectaron diferencias significativas, sin embargo, los resultados muestran que los tratamientos 6 y 7, donde la dosis se aplicó de forma parcializada a la siembra y primer nudo, tuvieron una EUN de 27,3 y 27,2 kg grano kg N⁻¹, respectivamente, siendo más altas que las logradas cuando la dosis de 180 kg N ha⁻¹ se aplicó 100% a la siembra o 100% a primer nudo. López-Bellido *et al.* (2005) trabajando en trigo harinero bajo condiciones de secano en clima Mediterráneo, obtuvieron la EUN más alta cuando la dosis de nitrógeno fue parcializada a la siembra y elongación del tallo, con un valor de 21,8 kg grano kg N⁻¹. La parcialización de la dosis de nitrógeno aplicando en los momentos de mayor demanda, genera una reducción de las pérdidas, principalmente en condiciones de riego.

Cuadro 15. Valores medios de EUN, Eficiencia fisiológica, Eficiencia de absorción e ICN considerando el promedio de ambas variedades.

Tratamiento	Nitrógeno (kg ha ⁻¹)	Eficiencia de absorción (%)	Eficiencia fisiológica (kg grano kg ⁻¹ N)	EUN (kg grano kg ⁻¹ N)	ICN (%)
1	0 ^a -0 ^b -0 ^c	-	-	-	91,9
2	60-0-0	93,1	63,3 a	50,1 a	96,0
3	120-0-0	77,0	48,8 ab	36,4 ab	89,5
4	180-0-0	66,1	39,3 abc	25,5 bc	84,6
5	0-180-0	81,6	32,5 bc	24,9 bc	78,3
6	60-120-0	64,1	45,5 abc	27,3 bc	92,0
7	120-60-0	69,2	42,9 abc	27,2 bc	89,4
8	80-120-40	70,3	30,5 c	20,4 c	80,0
	C.V.	8,4	8,3	7,3	17,3

a-b-c: parcialización de nitrógeno en siembra – primer nudo – embuche, respectivamente
 Letras distintas representan diferencias significativas de acuerdo al test de Tukey ($p \leq 0,05$)
 C.V.: Coeficiente de variación.

La eficiencia fisiológica depende de la eficiencia del nitrógeno para formar biomasa, el efecto del nitrógeno sobre la repartición de carbohidratos y la eficiencia en la removilización del N desde tejidos senescentes, como también de su transporte y almacenamiento (Novoa y Loomis, 1981; Hirel *et al.*, 2007).

En eficiencia fisiológica hubo diferencias entre tratamientos ($p \leq 0,001$), siendo el tratamiento 2 el que tuvo la mayor eficiencia, con 63,3 kg grano kg⁻¹N; sin embargo, no se diferenció estadísticamente de los tratamientos 3 y 4, en que la dosis de nitrógeno fue aplicada 100% a la siembra, por lo que no hay un efecto significativo en dosis. La tendencia de los datos muestra una clara disminución de la eficiencia fisiológica en la medida que aumentó la dosis aplicada a la siembra, alcanzando los 39,3 kg grano kg⁻¹N en el tratamiento 4. Fischer (1993) determinó que la dosis de nitrógeno y la eficiencia fisiológica tienen un comportamiento inversamente proporcional, esto debido a que si bien mayores dosis de nitrógeno tienden a maximizar la producción de biomasa y rendimientos, el superávit de este elemento en la planta incrementaría la proteína en grano, por sobre un incremento en el rendimiento.

El ICN no tuvo diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos, por lo que ni la dosis de nitrógeno, ni la parcialización tuvo efecto sobre el ICN. Sin embargo, este fluctuó entre 78,3% y 96,0%, siendo el tratamiento 2 el que tuvo el valor de ICN más alto y el tratamiento 5 el más bajo.

La eficiencia de absorción no tuvo diferencias entre tratamientos ($p \leq 0,05$), pero se puede observar que a medida que aumentó la dosis de nitrógeno aplicada a la siembra, la eficiencia de absorción disminuyó, resultados también obtenidos por Alcoz *et al.* (1993), quienes alcanzaron una eficiencia de absorción de 37% al aplicar 75 kg N ha⁻¹ y 19% al aplicar 150 kg N ha⁻¹ en trigo panadero.

En este estudio, la eficiencia de absorción disminuyó de 93,1% al aplicar 60 kg N ha⁻¹ a 66,1% con 180 kg N ha⁻¹. La mayor eficiencia de absorción se logró en el tratamiento 2 por una mayor proporción de acumulación de biomasa y nitrógeno en grano en relación a

la dosis de nitrógeno aplicada, lo que quiere decir que gran parte del nitrógeno aplicado fue absorbido por las plantas.

La reducción de la EUN estuvo asociada con la reducción de ambos componentes, como lo son la eficiencia de absorción y la eficiencia fisiológica.

DISCUSIÓN

En la actualidad, la fertilización nitrogenada representa no solo un costo importante para los agricultores, sino que también su uso indiscriminado puede tener un impacto sobre el medio ambiente a través de la lixiviación de nitratos, contaminación de aguas, emisiones de N_2O asociado a desnitrificación, entre otros (Foulkes *et al.*, 2009). Es por esto que en las últimas décadas se ha trabajado en desarrollar tecnologías que cuantifiquen la necesidad de nitrógeno en las plantas, como lo es el SPAD y de esta forma determinar la demanda real de N por el cultivo, aplicar las cantidades adecuadas y ser más eficiente en el uso del nitrógeno (Abedi *et al.*, 2011).

Los resultados de este estudio muestran que un incremento en la dosis de nitrógeno hasta los 120 kg N ha^{-1} al momento de la siembra (Tratamiento 3) tuvo un efecto significativo sobre el rendimiento y sus componentes, tratamiento que alcanzó un rendimiento en grano de 7.861 kg ha^{-1} (Cuadro 8). Otros autores también obtuvieron aumentos de rendimiento con un incremento en la dosis de nitrógeno aplicado en la siembra en trigo harinero, como es el caso de Fischer *et al.*, (1993) quienes alcanzaron un rendimiento máximo de 7.113 kg ha^{-1} aplicando una dosis 180 kg N ha^{-1} , o López-Bellido *et al.*, (2004) quienes obtuvieron un incremento del rendimiento hasta los $10.870 \text{ kg ha}^{-1}$ con 300 kg N ha^{-1} . Estudios en trigo candeal también muestran esta tendencia, como es el caso de Fois *et al.*, (2009) quienes obtuvieron un aumento significativo del rendimiento hasta los 120 kg N ha^{-1} alcanzando los 6.330 kg ha^{-1} .

La parcialización del nitrógeno no aumentó el rendimiento, sin embargo, el valor más alto se alcanzó en el tratamiento 6, donde se aplicó 60 kg N ha^{-1} a la siembra y 120 kg N ha^{-1} en primer nudo, con 8.411 kg ha^{-1} . El aumento del rendimiento ocurrió por un incremento en el número de espigas m^{-2} y número de granos m^{-2} . Acevedo *et al.* (2002) indican que la mayor respuesta del rendimiento a la fertilización nitrogenada ocurre cuando es aplicado en primer nudo (Zadoks 31), previo a la elongación del tallo. El número de granos se establece en el periodo comprendido entre 20 y 30 días antes de floración y 10 días después de anthesis y en este período se produce una competencia por recursos como luz, agua y nitrógeno, por lo que la deficiencia de estos recursos es la principal causa en la reducción del número de granos y, por lo tanto, del rendimiento (Acevedo *et al.*, 2002). El rendimiento está definido por el producto de la radiación fotosintéticamente activa absorbida por la canopia (PAR_A), la eficiencia en el uso de la radiación (RUE) y del índice de cosecha (IC) (Cárcova *et al.*, 2003). Tanto la radiación fotosintéticamente activa como la RUE tienen un impacto directo sobre la fotosíntesis. En la PAR_A influyen directamente el índice de área foliar (IAF) y la duración del ciclo de desarrollo del cultivo (Cárcova *et al.* 2003), mientras que las condiciones ambientales adversas como temperatura, limitaciones hídricas y de nitrógeno, tienen un efecto directo en la eficiencia del uso de la radiación (RUE) generando bajos rendimientos (Muchow y Sinclair, 1994).

La dosis y parcialización del nitrógeno tuvieron un efecto significativo en el contenido de proteína en grano. Un incremento en la dosis final de nitrógeno estuvo asociado a un incremento en el contenido de proteína, misma tendencia reportada por Abad *et al.*,

(2004), Garrido-Lestache *et al.*, (2004) y López-Bellido *et al.*, (2004) en trigo harinero bajo condiciones de clima Mediterráneo. El valor más alto de proteína lo tuvo el tratamiento 8 con 12,6%, tratamiento en el cual se realizó una aplicación tardía en el estado de embuche (Cuadro 10). Bajo condiciones de disponibilidad de agua, la parcialización del nitrógeno en estados avanzados tienen un efecto positivo sobre el incremento del contenido de proteína en el grano, así lo demuestran estudios realizados por Garrido-Lestache *et al.* (2004) quienes consideraron una aplicación de 50 y 75 kg N ha⁻¹ a inicio de elongación del tallo (Zadocks 31) o Brown y Petrie, (2006) y Ottman *et al.* (2000) quienes lograron un incremento en la proteína del grano con aplicaciones de nitrógeno después de floración.

En este estudio, aplicaciones hasta 120 kg N ha⁻¹ en la siembra resultaron en un bajo contenido de proteína en el grano (10,4%), por lo que tanto la dosis como el momento de aplicación tienen un efecto sobre la proteína en grano en trigo candeal. Dentro de los factores que afectan la calidad del grano se encuentran el genotipo, temperatura y fertilización nitrogenada (Slafer *et al.*, 2003); así, la acumulación de nitrógeno durante periodos pre antesis en tejidos vegetales determina la cantidad de proteína removilizada al grano durante su proceso de acumulación (Foulkes *et al.*, 2009), ya que dos tercios o más de la proteína almacenada en los granos está presente en la planta a antesis (Kramer, 1979).

Los resultados de este estudio mostraron una correlación significativa entre la medición SPAD en primer nudo y embuche con el rendimiento, siendo el estado de primer nudo donde se obtiene el mejor ajuste, con un $R^2=0,93$ (Figuras 2 a y b). Singh *et al.*, (2002) lograron la mejor regresión entre SPAD y rendimiento con mediciones tempranas al estado de máximo macollaje, con $R^2=0,75$. Otros autores determinaron que los mejores ajustes entre SPAD y rendimiento se obtienen en estado de embuche, como por ejemplo Hoel (1998) quien obtuvo un $R^2=0,60$, valor más bajo que $R^2=0,69$ obtenido en este estudio, mientras que Vidal *et al.*, (1999) obtuvo un $R^2=0,80$ en el mismo estado de desarrollo. La mayor correlación lograda en primer nudo y asociado a que este es el momento en que una aplicación de nitrógeno puede mejorar el rendimiento, respalda el uso del SPAD como una herramienta adecuada para ajustar las dosis de nitrógeno. Por cada unidad SPAD, se aumentará el rendimiento en 466 kg ha⁻¹ hasta alcanzar las 50,3 unidades obtenidas en primer nudo, ya que valores mayores a este no obtuvieron un aumento significativo en el rendimiento.

Las mediciones SPAD realizadas en primer nudo y embuche se correlacionaron significativamente con proteína en grano, obteniendo un $R^2=0,53$ y $0,90$ respectivamente, siendo en el estado de embuche donde se obtuvo el mejor ajuste, resultado similar al de Hoel (1998). De esta forma, la alta correlación lograda en este estado de desarrollo permitirá hacer aplicaciones de nitrógeno con una finalidad de corregir el contenido de proteína en el grano, utilizando como herramienta de apoyo el SPAD. Mediciones SPAD menores a 46,8 unidades en el estado de embuche indicarán la necesidad de aplicar nitrógeno con la finalidad de aumentar el contenido de proteína en grano por sobre un 11% en trigo candeal sembrado en la Región Metropolitana.

En clima Mediterráneo bajo condiciones de riego se obtienen buenas correlaciones entre mediciones SPAD en estados tardíos y el contenido de proteína en grano. Esto debido a que bajo condiciones de riego, se reduce la posibilidad de sufrir estrés hídrico en periodos post antesis, los que tienen una gran influencia sobre la removilización de N al grano (Arregui *et al.*, 2006).

La intensidad de verdor de una hoja está directamente relacionada con el contenido de clorofila dentro de ella y a su vez, con el contenido de nitrógeno, en diferentes estados de desarrollo en trigo panadero (Ladha *et al.*, 2005), arroz (Islam, *et al.*, 2007) y maíz (Singh *et al.*, 2011). De esta forma, a mayor dosis de nitrógeno mayor es el contenido de clorofila en la hoja, lo que se traduce en valores SPAD más altos asociado a mayor intensidad de verdes. Al comparar los resultados de este estudio, para obtener rendimientos mayores a 7.000 kg ha⁻¹ es necesario obtener valores SPAD mayores a 48,7 unidades, los que a su vez se asocian a color de hoja 5GY 4/4 medido en primer nudo; mientras que para lograr contenidos de proteína en grano mayor al 11%, es necesario obtener mediciones SPAD en embuche mayores a 46,8 unidades o color de hoja 5GY 4/4. Por lo tanto, la utilización de la tabla de color “Munsell Leaf Color Chart” también es una herramienta factible para determinar el estado nutricional con respecto al nitrógeno, con el fin de corregir rendimiento y proteína en trigo candeal.

Con respecto a la eficiencia del uso del nitrógeno (EUN), hubo diferencias significativas entre tratamientos, siendo el tratamiento 2 el que tuvo el valor más alto, con 50,1 kg de grano kg N⁻¹. La parcialización de la dosis de 180 kg N ha⁻¹ no tuvo efectos significativos sobre la eficiencia del uso del nitrógeno. López-Bellido *et al.* (2005) no detectaron diferencias significativas en la EUN al parcializar una dosis de 150 kg N ha⁻¹ en siembra y macollaje, presumiblemente debido al aporte de N desde el suelo producto de la acumulación a través del tiempo. Los valores más altos de eficiencia fisiológica se obtuvieron, al igual que en la EUN, en el tratamiento 2, con 63,3 kg de grano kg⁻¹N, sin tener un efecto significativo con respecto a los tratamientos 2 y 3, por lo que no hubo un efecto dosis, como tampoco de parcialización. En eficiencia de absorción no hubo diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo, el valor más alto se obtuvo en el tratamiento 2, con una eficiencia de 93,1%. A medida que aumentó la dosis de nitrógeno aplicada a la siembra la eficiencia de absorción disminuyó, concordando con resultados obtenido por Alcoz *et al.* (1993) en trigo panadero. Pese a lo anterior, es importante lograr un equilibrio entre alcanzar los mayores rendimientos y calidades en grano con la eficiencia más alta, es por esto que el tratamiento 2, si bien obtuvo el mejor valor de eficiencia, logra rendimientos bajos. De esta forma, el tratamiento 6 es el que logra el rendimiento más alto con una mayor eficiencia, logrando un equilibrio entre un rendimiento alto con el menor impacto posible sobre medio ambiente.

Los resultados de este estudio muestran que las variedades de trigo candeal Llaretta INIA y Corcolén INIA se comportaron de igual forma, por lo que no fue necesario diferenciar entre cada una de ellas. Gracias a este comportamiento, los resultados de este estudio son válidos para ambas variedades, sin embargo, debido a la gran variabilidad de climas y suelos presentes en la zona triguera nacional, es necesario realizar validaciones y calibraciones entre las diferentes localidades con las regresiones obtenidas.

CONCLUSIONES

La dosis total de nitrógeno influyó en el rendimiento final en grano. Con una aplicación de 180 Kg N ha⁻¹ parcializada en la siembra y primer nudo se logró el rendimiento más alto. Sin embargo, la parcialización no mostró diferencias significativas en rendimiento.

Bajo condiciones de riego en clima Mediterráneo, el SPAD es una herramienta factible de usar con el fin de estimar rendimiento y contenido de proteína en el grano midiendo en los estados de primer nudo y embuche, respectivamente.

La tabla de color “Munsell Leaf Color Chart” es otra herramienta que permite determinar el estado nutricional de la planta. Para lograr rendimientos mayores a 7.000 kg ha⁻¹ se deben obtener unidades SPAD mayores a 48,7 o color de hoja 5GY 4/4 en el estado de primer nudo, mientras que para lograr contenidos de proteína en grano mayor al 11%, es necesario obtener mediciones SPAD en embuche mayores a 46,8 unidades o color de hoja 5GY 4/4.

Si bien, ambas variedades se comportaron de igual forma frente a las variables evaluadas, es necesario calibrar las regresiones obtenidas para diferentes localidades, ya que la bibliografía indica una alta variabilidad de las mediciones SPAD frente a variaciones medioambientales.

BIBLIOGRAFÍA

- Abad, A., J. Lloveras and A. Michelena. 2004. Nitrogen fertilization and foliar urea effects on durum wheat yield and quality and on residual soil nitrate in irrigated Mediterranean conditions. *Field Crops Research* 87: 257-269.
- Abedi, T., A. Alemzadeh and S. Abdolreza. 2011. Wheat yield and grain protein response to nitrogen amount and timing. *Australian Journal of Crop Science* 5(3): 330-336.
- Acevedo, E., P. Silva and H. Silva. 2002. Wheat Growth and Physiology. In: B.C. Curtis, S. Rajaram and H. Gómez Macpherson (eds.). *Bread wheat improvement and production*. FAO, Roma, Italy. pp. 39-70.
- Alcoz, M., F. Hons and V. Haby. 1993. Nitrogen fertilization timing effect on wheat production, nitrogen uptake efficiency and residual soil nitrogen. *Agronomy Journal* 85: 1198-1203.
- Armour, T., P. Jamieson, P. Nichols, and R. Zyskowsli. 2004. Breaking the 15 t/ha wheat yield barrier: a discussion. In *Proceeding of the 4th International Crop Science Congress*. Brisbane, 26 de septiembre- 1 de Octubre. Disponible en sitio web www.cropscience.org.au. Leído el 12 de Octubre de 2011.
- Arregui, L., B. Lasa, A. Lafarga, I. Iraneta, E. Baroja and M. Quemada. 2006. Evaluation of chlorophyll meters as tools for N fertilization in winter wheat under humid Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy* 24: 140–148.
- Blackmer, T. and J. Schepers. 1995. Use of a chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. *Journal of Production Agriculture* 8: 56-60.
- Brown, B. and S. Petrie. 2006. Irrigated hard winter wheat response to fall, spring, and late season applied nitrogen. *Field Crops Research* 96: 260-268.
- Cabrera-Bosquet, L., R. Albrizio, J. Araus, S. Nogués. 2009. Photosynthetic capacity of field-grown durum wheat under different N availabilities: A comparative study from leaf to canopy. *Environmental and Experimental Botany* 67: 145–152.
- Cárcova, J., L. Gabriela y M. López. 2003. Análisis de la generación del rendimiento: crecimiento, partición y componentes. Pp: 73-98. In: Satorre, E., R. Benech, G. Slafer, E. de la Fuente, D. Millares, M. Otegui y R. Savin (eds.). *Producción de granos. Bases funcionales de su manejo*. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires. 783 pp.

Ciampitti, I. and T. Vyn. 2011. A comprehensive study of plant density consequence on nitrogen uptake dynamics of maize plants from vegetative to reproductive stage. *Field Crops Research* 121: 2-18.

Comisión Nacional de Riego. 1981. Estudio de suelos del proyecto Maipo tomo IV. Santiago, Chile. 604 – 802.

Debaeke, P., P. Rounet and E. Justes. 2006. Relation between the normalized SPAD index and the nitrogen nutrition index: Application to durum wheat. *Journal of Plant Nutrition* 29: 75-92.

Fageria, N. and V. Baligar. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crops plants. *Advances in Agronomy* 88: 97-185.

Feller, U., I. Anders and T. Mae. 2007. Rubiscolytics: fate of rubisco after its enzymatic function in a cell is terminate. *Journal of Experimental Botany* 59 (7): 1615–1624.

Fischer, R., G. Howe and Z. Ibrahim. 1993. Irrigated spring wheat and timing and amount of nitrogen fertilizer. I. Grain yield and protein content. *Field Crops Research* 33: 37-56.

Fischer, R. 1993. Irrigated spring wheat and timing and amount of nitrogen fertilizer. II. Physiology of grain yield response. *Field Crops Research* 33: 57-80.

Fois, S., R. Motzo and F. Giunta. 2009. The effect of nitrogenous fertilizer application on leaf traits in durum wheat in relation to grain yield and development. *Field Crops Research* 110: 69-75.

Follett, R. and R. Follett. 1992. Use of a chlorophyll meter to evaluate the nitrogen status of dry winter wheat. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 23: 687-697.

Foulkes, M., M. Hawkesford, P. Barraclough, M. Holdsworth, S. Kerr, S. Kightley and P. Shewry. 2009. Identifying traits to improve the nitrogen economy of wheat: Recent advances and future prospects. *Field Crops Research* 114: 329-342.

Frederick J. and P. Bauer. 1999. Physiological and numerical components of wheat yield. Pp: 45-65. In: Satorre, E. and G. Slafer (eds.). *Wheat ecology and physiology of yield determination*. Food Products Press. New York. 503 pp.

Fundación Chile. 2008. Seminario “Estudio de competitividad en la cadena del trigo candeal”. Chillán, Chile. Disponible en sitio web www.sap.uchile.cl. Leído el 12 de mayo de 2010.

Garrido-Lestache, E., R. López-Bellido, and L. López-Bellido. 2004. Effect of N rate, timing and splitting and N type on bread-making quality in hard red spring wheat under rainfed Mediterranean conditions. *Field Crops Research* 85: 213-236.

Gross, C., N. Robert E. Bervas and G. Charmet. 2003. Genetic analysis of grain protein-content, grain yield and thousand-kernel weight in bread wheat. *Theoretical and Applied Genetics* 106:1032–1040.

Guarda, G., S. Padovan and G. Delogu. 2004. Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. *European Journal of Agronomy* 21: 181-192.

Hirel, B., J. Le Gouis, B. Ney and A. Gallais. 2007. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. *Journal of Experimental Botany*, 58 (9): 2369–2387.

Hoel, B.O. 1998. Use of a hand-held chlorophyll meter in Winter wheat: evaluation of different measuring positions on the leaves. *Acta Agrícola. Scand. B. Soil and Plant* 48: 222–228.

Houles, V., M. Guérif and B. Mary. 2007. Elaboration of a nitrogen nutrition indicator for Winter wheat based on leaf area index and chlorophyll content for making nitrogen recommendations. *European Journal of Agronomy* 27: 1–11.

Instituto Nacional de Estadística (INE). 2011. Agropecuarias. Informe anual 2010. 191pp.

Islam, Z., B. Bagchi and M. Hossain. 2007. Adoption of leaf color chart for nitrogen use efficiency in rice: Impact assessment of a farmer-participatory experiment in West Bengal, India. *Field Crops Research* 103:70-75.

Jamieson, P. and M. Semenov. 2000. Modelling nitrogen uptake and redistribution in wheat. *Field Crop Research* 68: 23-44.

Kramer, T. 1979. Environmental and genetic variation for protein content in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica* 28 (2): 209-218.

Ladha, J., H. Pathak, T. Krupnik, J. Six and C. van Kessel. 2005. Efficiency of Fertilizer Nitrogen in Cereal Production: Retrospects and Prospects. *Advances in Agronomy* 87: 85-156.

Le Bail, M., M. Jeuffroy, C. Bouchard and A. Barbottin. 2005. Is it possible to forecast the grain quality and yield of different varieties of winter wheat from Minolta SPAD meter measurements? *European Journal of Agronomy* 23: 379-391.

- Li-Hong X., C. Wei-Xing and Y. Lin-Zhang. 2007. Predicting grain yield and protein content in winter wheat at different N supply levels using canopy reflectance spectra. *Pedosphere* 17(5): 646–653.
- Limon-Ortega, A., B. Govaerts and K. Sayre. 2008. Straw management, crop rotation, and nitrogen source effect on wheat grain yield and nitrogen use efficiency. *European Journal of Agronomy* 29: 21–28.
- López-Bellido, R., C. Shepherd and P. Barraclough. 2004. Predicting post-anthesis N requirements of bread wheat with a Minolta SPAD meter. *European Journal of Agronomy* 20: 313–320.
- López-Bellido, L., R. López-Bellido and R. Redondo. 2005. Nitrogen efficiency in wheat under Mediterranean conditions as affected by split nitrogen application. *Field Crops Research* 94: 86-97.
- Maiti, D. and D. Das. 2006. Management of nitrogen through the use of Leaf Colour Chart (LCC) and Soil Plant Analysis Development (SPAD) in wheat under irrigated ecosystem. *Archives of Agronomy and Soil Science* 52(1): 105 – 112.
- Makino A. 2003. Rubisco and nitrogen relationships in rice. Leaf photosynthesis and plant growth. *Soil Science and Plant Nutrition* 49: 319–327.
- Moll, R.H., E. Kamprath and W. Jackson. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal* 74: 562-564.
- Muchow, R. and T. Sinclair. 1994. Nitrogen response of leaf photosynthesis and canopy radiation use efficiency in field-grow maize and sorghum. *Crop Science* 34: 721-727.
- Munsell Color. 1977. Munsell color chart for plant tissue. Macbeth Division of Kollmorgen Corporation. Maryland, USA.
- Novoa, B. and R.S. Loomis. 1981. Nitrogen and plant production. *Plant and Soil* 58: 177-204.
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2010. Fichas costos Trigo_2009-2010. Disponible en sitio web: www.odepa.cl. Leído 13 mayo 2010.
- Ottman, M., T. Doerge and E. Martin. 2000. Wheat. Durum grain quality as affected by nitrogen fertilization near anthesis and irrigation during grain fill. *Agronomy Journal* 92: 1035-1041.
- Pagola, M., R. Ortiz, I. Irigoyen, H. Bustince, E. Barrenechea, P. Aparicio-Tejo, C. Lamsfus and B. Lasa. 2009. New method to assess barley nitrogen nutrition status based on image color analysis. Comparison with SPAD-502. *Computers and Electronics in Agriculture* 65: 213–218.

Piekielek, W.P., R. Fox, J. Toth and K. Macneal. 1995. Use of a chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate nitrogen sufficiency. *Agronomy Journal* 87: 403–408.

Rathke, G.W., T. Behrens and W. Diepenbrock. 2006. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 117: 80–108.

Rattunde H. and K.J. Frey. 1986. Nitrogen harvest index in oats: Its repeatability and association with adaptation. *Crop Science* 26: 606-610.

Santibáñez, F. y J. Uribe. 1990. Atlas agroclimático de Chile: Regiones V y RM. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Laboratorio de Agroclimatología, Departamento de Ingeniería y Suelos. 65p.

Shukla, A., J. Ladha, V. Singh, B. Dwivedi, V. Balasubramanian, R. Gupta, S. Sharma, Y. Singh, H. Pathak, P. Pandey, A. Padre and R. Yadav. 2004. Calibrating the leaf color chart for nitrogen management in different genotypes of rice and wheat in a systems perspective. *Agronomy Journal* 96: 1606–1621.

Silva, P., J. Kolopp y E. Acevedo. 2007a. Calidad de trigo candeal, fisiología y manejo agronómico. 77-88. In: Acevedo, E. y P. Silva (eds.). Trigo Candeal. Calidad, mercado y zonas de cultivo. Serie Ciencias Agronómicas N°12. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago. 180 pp

Silva, P., J. Kolopp y E. Acevedo. 2007b. Trigo Candeal. ¿Donde cultivar para obtener la mejor calidad? 89-102. In: Acevedo, E., P. Silva (eds.). Trigo Candeal. Calidad, mercado y zonas de cultivo. Serie Ciencias Agronómicas N°12. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago. 180 pp.

Sinclair, T. and P. Jamieson. 2006. Grain number, wheat yield, and bottling beer: An analysis. *Field Crops Research* 98: 60-67.

Singh, B., Y. Singh, J. Ladha, F. Kevin, V. Balasubramanian, J. Singh and C. Khind. 2002. Chlorophyll meter and leaf color chart based nitrogen management for rice and wheat in northwestern India. *Agronomy Journal* 94: 821–829.

Singh, V., Y. Singh, B. Singh, H. Thind, A. Kumar and M. Vashistha. 2011. Calibrating the leaf color chart for need based fertilizer nitrogen management in different maize (*Zea mays* L.) genotypes. *Field Crops Research* 120: 276-282.

Singh, V, B. Singh, Y. Singh, H. Thind, G. Singh, S. Kaur, A. Kumar and M. Vashistha. 2012. Establishment of threshold leaf colour greenness for need-based fertilizer nitrogen management in irrigated wheat (*Triticum aestivum* L.) using leaf colour chart. *Field Crops Research* 130: 109–119.

Slafer, G., A. Kantolic y D. Miralles. 2003 ¿Para qué estudiar las bases de la generación del rendimiento? Pp: 51-56. In: Satorre, E., R. Benech, G. Slafer, E. de la Fuente, D. Millares, M. Otegui y R. Savin (eds.). Producción de granos. Bases funcionales de su manejo. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires. 783 pp.

Stone, P. and Savin, R. 1999. Grain quality, its physiological determinants. Pp: 85-120. In: Satorre, E. and G. Slafer (eds.). Wheat ecology and physiology of yield determination. Food Products Press. New York. 503 pp.

Vidal, I., L. Longeri and J. Hétiér. 1999. Nitrogen uptake and chlorophyll meter measurements in spring wheat. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 55: 1-6.

Xue, L., W. Cao and L. Yang. 2007. Predicting grain yield and protein content in winter wheat at different N supply levels using canopy reflectance spectra. *Pedosphere* 17 (5): 646-653.

Yildirim, M., H. Kilic, E. Kendal and T. Karahan. 2011. Applicability of chlorophyll meter readings as yield predictor in durum wheat. *Journal of Plant Nutrition* 34: 151-164.

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. Distribución de tratamientos ensayo Corcolén INIA

CC 80 ^a 120 ^b 40 ^c IV ^d	CC 0 180 0 IV	CC 60 120 0 IV	CC 120 60 0 IV	CC 180 0 0 IV	CC 120 0 0 IV	CC 60 0 0 IV	CC 0 0 0 IV
CC 60 120 0 III	CC 0 0 0 III	CC 120 60 0 III	CC 0 180 0 III	CC 60 0 0 III	CC 80 120 40 III	CC 180 0 0 III	CC 120 0 0 III
CC 60 0 0 II	CC 180 0 0 II	CC 80 120 40 II	CC 120 0 0 II	CC 60 0 0 II	CC 0 0 0 II	CC 120 60 0 II	CC 0 180 0 II
CC 0 0 0 I	CC 60 0 0 I	CC 120 0 0 I	CC 180 0 0 I	CC 120 60 0 I	CC 60 120 0 I	CC 0 180 0 I	CC 80 120 40 I

CC: Corcolen

a: Dosis de N siembra: 0, 60, 80, 120 y 180 kg N ha⁻¹b: Dosis de N en zadoks 31: 0, 60, 120 y 180 kg N ha⁻¹c: Dosis de N en embuche: 40 kg N ha⁻¹

d: Repetición

Apéndice II. Distribución de tratamientos ensayo Llareta INIA

LL 80 ^a 120 ^b 40 ^c IV ^d	LL 0 180 0 IV	LL 60 120 0 IV	LL 120 60 0 IV	LL 180 0 0 IV	LL 120 0 0 IV	LL 60 0 0 IV	LL 0 0 0 IV
LL 60 120 0 III	LL 0 0 0 III	LL 120 60 0 III	LL 0 180 0 III	LL 60 0 40 III	LL 80 120 0 III	LL 180 0 0 III	LL 120 0 0 III
LL 60 120 0 II	LL 180 0 0 II	LL 80 120 40 II	LL 120 0 0 II	LL 60 0 0 II	LL 0 180 0 II	LL 120 60 0 II	LL 0 0 0 II
LL 0 0 0 I	LL 60 0 0 I	LL 120 0 0 I	LL 180 0 0 I	LL 120 60 0 I	LL 60 120 0 I	LL 0 180 0 I	LL 80 120 40 I

LL: Llareta

a: Dosis de N siembra: 0, 60, 80, 120 y 180 kg N ha⁻¹

b: Dosis de N en zadoks 31: 0, 60, 120 y 180 kg N ha⁻¹

c: Dosis de N en embuche: 40 kg N ha⁻¹

d: Repetición

Apéndice III. Protocolo de cosecha y cálculos de parámetros de rendimiento

- a) Cosechar 5 hileras paralelas de 1 metro lineal (HA) a raz de suelo en cada parcela “manejo”. NO cerca de los bordes. Amarrar etiqueta. Dos veces por parcela.
- b) Sacar 50 tallos con espiga del manejo, colocar en bolsa, amarrar etiqueta a tallos y bolsa, pesar e ingresar a planilla (FS*).
- c) Después de sacar los 50 tallos pesar el manejo previa eliminación de raíces o restos de suelo e ingresar a planilla (FB)
- d) Llevar los 50 tallos a estufa (70°C durante 48 hrs). Después pesar e ingresar a planilla (DS*)
- e) Trillar el manejo, colocar etiqueta del manejo dentro del cartucho de papel y escribir afuera.
- e) Limpiar con ventilador o secador los granos, pesar e ingresar a planilla (TG).
- f) Sacar 250 granos (no quebrados, ni perforados, pueden ser chupados) al pesar descontar el peso del sobre e ingresar a planilla (WG).
- g) Llevar los 250 granos a estufa (70°C durante 48 hrs). Después descontar el peso del sobre e ingresar a planilla (DG).

Cuadro 1. Abreviaciones parámetros para cálculo de rendimientos y sus componentes.

Nombre	Abreviación	Unidad
Superficie cosechada	HA	m ²
Peso fresco de 50 tallos con espiga	FS	g
Peso seco de 50 tallos con espiga	DS	g
Peso manejo después de sacar los 50 tallos	FB	g
Peso de granos después de trillar el manejo	TG	g
Peso muestra de 250 granos húmedos	WG	g
Peso muestra de 250 granos secos a estufa	DG	g
Días a antesis	DA	días
Días a madurez fisiologica	DMP	días
Días a emergencia	DE	días

Cálculos de rendimiento y sus componentes.

$$1. \text{ Biomasa (Kg / ha)} = \frac{(DS / FS) (FB + FS)}{(HA)} \times 10$$

$$2. \text{ Rendimiento en grano (Kg /ha)} = \frac{(DG/WG) TG [(FB + FS) / FB]}{(HA)} \times 10$$

$$3. \text{ Índice de cosecha} = \frac{(2)}{(1)}$$

$$4. \text{ Peso seco de 1000 granos} = DG \times 4$$

$$5. \text{ Espigas por m}^2 = \frac{(FB + FS)}{FS} \times \frac{50}{HA}$$

$$8. \text{ Gramos de grano por espiga} = \frac{(2)}{10 \times (5)}$$

$$9. \text{ Tasa de producción de grano (Kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1} \text{)} = \frac{(2)}{DMF - DA}$$

$$10. \text{ Tasa de producción de biomasa (Kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1} \text{)} = \frac{(1)}{DMF - DE}$$

Apéndice IV. Análisis de Varianza

Embuche

Variable	n	R ²	R ² Aj	CV
Embuche	64	0.49	0.35	1.19

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	124	14	8.86	3.39	0.0008
Tratamiento	72	7	10.29	3.94	0.0018
repetición	52	7	7.43	2.84	0.0143
Error	128	49	2.61		
Total	252	63			

Test: Tukey Alfa=0,05

Error: 2.6122 gl: 49

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1	134	8	0,57	b
3	135	8	0,57	ab
2	135	8	0,57	ab
6	135,5	8	0,57	ab
7	136	8	0,57	ab
5	136	8	0,57	ab
4	137	8	0,57	a
8	137,5	8	0,57	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes($p \leq 0.05$)

Espigadura

Variable	n	R ²	R ² Aj	CV
Espigadura	64	0.55	0.42	2.44

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor
Modelo	712.72	14	50.91	4.24	0.0001
Tratamiento	414.98	7	59.28	4.94	0.0003
repetición	297.73	7	42.53	3.54	0.0037
Error	588.39	49	12.01		

Total 1301.11 63

Test:Tukey Alfa=0.05

Error: 12.0080 gl: 49

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1	138	8	1.23	c
2	139.5	8	1.23	cb
3	140.13	8	1.23	cb
6	141.5	8	1.23	cba
7	142.25	8	1.23	cba
5	142.38	8	1.23	cba
4	144.38	8	1.23	ba
8	146.5	8	1.23	a

Antesis

Variable n R² R² Aj CV
 Antesis 64 0.55 0.43 1.84

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	457.13	14	32.65	4.35	0.0001
Tratamiento	372.19	7	53.17	7.08	<0.0001
repetición	84.94	7	12.13	1.62	0.153
Error	367.81	49	7.51		
Total	824.94	63			

Test:Tukey Alfa=0.05

Error: 7.5064 gl: 49

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1	144	8	0.97	c
2	147.13	8	0.97	cb
7	148.38	8	0.97	ba
5	148.38	8	0.97	ba
6	149.13	8	0.97	ba
3	149.38	8	0.97	ba
4	151.63	8	0.97	a
8	152.25	8	0.97	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes($p \leq 0.05$)

Cuaja

Variable n R² R² Aj CV
 Cuaja 64 0.54 0.41 1.85

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	475.75	14	33.98	4.19	0.0001
Tratamiento	392.75	7	56.11	6.92	<0.0001
repetición	83	7	11.86	1.46	0.2028
Error	397.25	49	8.11		
Total	873	63			

Test: Tukey Alfa=0.05

Error: 8.1071 gl: 49

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1	149	8	1.01	c
2	151.88	8	1.01	cb
7	154.13	8	1.01	ba
3	154.38	8	1.01	ba
5	154.63	8	1.01	ba
6	155.13	8	1.01	ba
4	156.38	8	1.01	ba
8	157.5	8	1.01	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$)

Madurez Fisiológica (MF)

Variable n R² R² Aj CV
 M.F. 64 0.61 0.49 1.92

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	975.13	14	69.65	5.37	<0.0001
Tratamiento	872.44	7	124.63	9.61	<0.0001
repetición	102.69	7	14.67	1.13	0.3592
Error	635.31	49	12.97		
Total	1610.44	63			

Test:Tukey Alfa=0.05

Error: 12.9656 gl: 49

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1	182	8	1.27	b
2	182	8	1.27	b
3	187.13	8	1.27	ab
7	187.38	8	1.27	ab
6	188.88	8	1.27	a
4	190.13	8	1.27	a
5	191	8	1.27	a
8	192.75	8	1.27	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes($p \leq 0.05$)

Biomasa

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Biomasa	64	0.79	0.73	13.27

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1531866972	14	109419069.5	13.4	<0.0001
Tratamiento	1446524389	7	206646341.4	25.3	<0.0001
Repetición	85342582.94	7	12191797.56	1.49	0.192
Error	400235951.1	49	8168080.63		
Total	1932102923	63			

Test:Tukey Alfa=0.05

Error: 8168080.6339 gl: 49

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1	9537.88	8	1010.45	c
2	20241.88	8	1010.45	b
5	21866.25	8	1010.45	ba
6	23330.13	8	1010.45	ba
3	23839.75	8	1010.45	ba
4	24163.13	8	1010.45	ba
7	24314.25	8	1010.45	ba
8	24990	8	1010.45	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes($p \leq 0.05$)

Rendimiento

Variable	n	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento	64	0.81	0.76	11.90

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	166933408.5	14	11923814.89	15.39	<0.0001
Tratamiento	160960315	7	22994330.71	29.68	<0.0001
Repetición	5973093.48	7	853299.07	1.1	0.3772
Error	37958511.64	49	774663.5		
Total	204891920.1	63			

Test:Tukey Alfa=0.05

Error: 774663.5029 gl: 49

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1	3493.25	8	311.18	c
2	6505	8	311.18	b
3	7861.38	8	311.18	ba
5	7982.38	8	311.18	a
4	8091.5	8	311.18	a
7	8394.13	8	311.18	a
8	8407.25	8	311.18	a
6	8411.75	8	311.18	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes($p \leq 0.05$)

I.C

Variable	n	R ²	R ² Aj	CV
I.C	64	0.50	0.36	6.72

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.03	14	1.90E-03	3.56	0.0005
Tratamiento	0.02	7	2.60E-03	4.88	0.0003
Repetición	0.01	7	1.20E-03	2.24	0.0466
Error	0.03	49	5.40E-04		
Total	0.05	63			

Test:Tukey Alfa=0.05

Error: 0.0005 gl: 49

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
2	0.32	8	0.01	c
3	0.33	8	0.01	bc
4	0.34	8	0.01	abc
8	0.34	8	0.01	abc
7	0.35	8	0.01	abc
6	0.36	8	0.01	ab
1	0.37	8	0.01	a
5	0.37	8	0.01	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes($p \leq 0.05$)

Peso 1000 granos

Variable	n	R ²	R ² Aj	CV
P.S 1000 granos	64	0.47	0.31	4.93

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	300.87	14	21.49	3.06	0.0019
Tratamiento	105.22	7	15.03	2.14	0.0565
Repetición	195.65	7	27.95	3.98	0.0016
Error	344.09	49	7.02		
Total	644.96	63			

Test:Tukey Alfa=0.05

Error: 7.0222 gl: 49

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
8	51.38	8	0.94	a
4	52.31	8	0.94	a
2	53.11	8	0.94	a
3	54.05	8	0.94	a
7	54.14	8	0.94	a
5	54.71	8	0.94	a
1	54.96	8	0.94	a
6	55.3	8	0.94	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes($p \leq 0.05$)

Espigas m⁻²

Variable n R² R² Aj CV
 Espigas m⁻² 64 0.76 0.69 14.13

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	762292.26	14	54449.45	10.95	<0.0001
Tratamiento	682780.18	7	97540.03	19.62	<0.0001
Repetición	79512.09	7	11358.87	2.28	0.0427
Error	243593.36	49	4971.29		
Total	1005885.62	63			

Test:Tukey Alfa=0.05

Error: 4971.2930 gl: 49

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1	245.19	8	24.93	c
2	451.01	8	24.93	b
6	523.65	8	24.93	ab
3	526.24	8	24.93	ab
7	540.09	8	24.93	ab
4	548.24	8	24.93	ab
5	567.14	8	24.93	a
8	591.3	8	24.93	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes(p<= 0.05)

Granos m⁻²

Variable n R² R² Aj CV
 Granos m⁻² 64 0.85 0.81 10.66

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	614314274.1	14	43879591	20.29	<0.0001
Tratamiento	591327723.8	7	84475389.11	39.06	<0.0001
Repetición	22986550.3	7	3283792.9	1.52	0.1832
Error	105960335.8	49	2162455.83		
Total	720274609.9	63			

Test:Tukey Alfa=0.05

Error: 2162455.8325 gl: 49

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1	6355.55	8	519.91	c
2	12203.56	8	519.91	b
3	14542.39	8	519.91	a
5	14591.95	8	519.91	a
6	15247.71	8	519.91	a
4	15481.6	8	519.91	a
7	15516.78	8	519.91	a
8	16426.48	8	519.91	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes($p \leq 0.05$)

Granos espíga⁻¹

Variable	n	R ²	R ² Aj	CV
Granos espíga ⁻¹	64	0.37	0.19	8.97

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	176.79	14	12.63	2.04	0.034
Tratamiento	94.47	7	13.5	2.18	0.0526
Repetición	82.33	7	11.76	1.9	0.0902
Error	303.75	49	6.2		
Total	480.54	63			

Test:Tukey Alfa=0.05

Error: 6.1989 gl: 49

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
5	25.8	8	0.88	a
1	26.15	8	0.88	a
2	27.25	8	0.88	a
3	27.64	8	0.88	a
8	28.19	8	0.88	a
4	28.5	8	0.88	a
7	29.09	8	0.88	a
6	29.38	8	0.88	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes($p \leq 0.05$)

Proteína

Variable	n	R ²	R ² Aj	CV
Proteína	64	0.84	0.80	3.75

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	45.4	14	3.24	18.76	<0.0001
tratamiento	43.29	7	6.18	35.78	<0.0001
repetición	2.11	7	0.3	1.75	0.1197
Error	8.47	49	0.17		
Total	53.87	63			

Test: Tukey Alfa=0.05

Error: 0.1728 gl: 49

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1	10.1	8	0.15	d
2	10.14	8	0.15	d
3	10.41	8	0.15	d
7	11.08	8	0.15	c
4	11.16	8	0.15	bc
6	11.33	8	0.15	bc
5	11.76	8	0.15	b
8	12.69	8	0.15	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$)

SPAD primer nudo

Variable	n	R ²	R ² Aj	CV
SPAD Primer nudo	64	0.83	0.78	4.10

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	866.68	14	61.91	16.79	<0.0001
Tratamiento	790.82	7	112.97	30.63	<0.0001
Repetición	75.86	7	10.84	2.94	0.0119
Error	180.72	49	3.69		
Total	1047.4	63			

Test:Tukey Alfa=0.05

Error: 3.6881 gl: 49

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
5	41.18	8	0.68	d
1	42	8	0.68	d
6	45.94	8	0.68	c
2	46.81	8	0.68	c
8	47.18	8	0.68	bc
7	50	8	0.68	ab
3	50.25	8	0.68	ab
4	51.4	8	0.68	ab

Medias con una letra común no son significativamente diferentes($p \leq 0.05$)

SPAD Embuche

Variable	n	R ²	R ² Aj	CV
SPAD EM	64	0.93	0.90	2.12

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	585.62	14	41.83	43.33	<0.0001
Tratamiento	579.78	7	82.83	85.8	<0.0001
Repetición	5.84	7	0.83	0.86	0.5408
Error	47.3	49	0.97		
Total	632.92	63			

Test:Tukey Alfa=0.05

Error: 0.9653 gl: 49

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1	42.28	8	0.35	e
2	43.33	8	0.35	e
3	43.69	8	0.35	e
4	45.36	8	0.35	d
7	46.65	8	0.35	cd
8	48	8	0.35	cd
6	49.03	8	0.35	b
5	51.71	8	0.35	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes($p \leq 0.05$)

Eficiencia de absorción

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ln Eficiencia absorción	56	0.19	0.00	8.40

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.22	13	0.09	0.74	0.7178
Tratamiento	0.5	6	0.08	0.65	0.6885
Repeticion	0.72	7	0.1	0.81	0.5845
Error	5.36	42	0.13		
Total	6.58	55			

Test:Tukey Alfa=0.05

Error: 0.1276 gl: 42

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
6	4.13	8	0.13	a
4	4.17	8	0.13	a
5	4.17	8	0.13	a
8	4.23	8	0.13	a
3	4.3	8	0.13	a
7	4.36	8	0.13	a
2	4.39	8	0.13	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes($p \leq 0.05$)

Eficiencia Fisiologica

Variable	n	R ²	R ² Aj	CV
Ln Eficiencia Fisiologica	56	0.43	0.26	8.32

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3.06	13	0.24	2.48	0.0131
Tratamiento	2.58	6	0.43	4.54	0.0012
Repeticion	0.48	7	0.07	0.72	0.6552
Error	3.98	42	0.09		
Total	7.03	55			

Test:Tukey Alfa=0.05

Error: 0.0947 gl: 42

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
8	3.39	8	0.11	c
5	3.44	8	0.11	bc
4	3.66	8	0.11	abc
7	3.73	8	0.11	abc
6	3.76	8	0.11	abc
3	3.88	8	0.11	ab
2	4.05	8	0.11	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes($p \leq 0.05$)

EUN

Variable	n	R ²	R ² Aj	CV
Ln EUN	56	0.63	0.51	7.28

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4.17	13	0.32	5.41	<0.0001
Tratamiento	3.55	6	0.59	9.97	<0.0001
Repetición	0.62	7	0.09	1.49	0.196
Error	2.49	42	0.06		
Total	6.66	55			

Test: Tukey Alfa=0.05

Error: 0.0593 gl: 42

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
8	3.01	8	0.09	c
5	3.2	8	0.09	ab
4	3.22	8	0.09	ab
6	3.29	8	0.09	ab
7	3.29	8	0.09	ab
3	3.57	8	0.09	ab
2	3.84	8	0.09	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes($p \leq 0.05$)

ICN

Variable	n	R ²	R ² Aj	CV
ICN	64	0.20	0.00	17.27

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.54	14	0.04	0.87	0.594
Tratamiento	0.32	7	0.05	1.02	0.4296
Repetición	0.22	7	0.03	0.72	0.6551
Error	2.18	49	0.04		
Total	2.72	63			

Test: Tukey Alfa=0.05

Error: 0.0445 gl: 49

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1	1.31	8	0.07	a
2	1.29	8	0.07	a
3	1.27	8	0.07	a
6	1.27	8	0.07	a
5	1.21	8	0.07	a
4	1.2	8	0.07	a
8	1.12	8	0.07	a
7	1.11	8	0.07	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$)

Análisis combinado de varianza

Biomasa

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM ajust.	F	p-value
Repetición	3	5179307	5179307	1726436	0,17	0,913
Variedad	1	4268743	4268743	4268743	0,43	0,515
Nitrógeno	7	1446546950	1446546950	206649564	20,82	0,000
Variedad*Nitrógeno	7	29425270	29425270	4203610	0,42	0,883
Error	45	446698094	446698094	9926624		
Total	63	1932118364				

S = 3150,65 R-cuad. = 76,88% R-cuad.(ajustado) = 67,63%

Rendimiento

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM ajust.	F	p-value
Repetición	3	1610414	1610414	536805	0,61	0,609
Variedad	1	84688	84688	84688	0,10	0,757
Nitrógeno	7	160959280	160959280	22994183	26,33	0,000
Variedad*Nitrógeno	7	2942017	2942017	420288	0,48	0,843
Error	45	39294894	39294894	873220		
Total	63	204891292				

S = 934,462 R-cuad. = 80,82% R-cuad.(ajustado) = 73,15%

IC

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM ajust.	F	p-value
Repetición	3	0,0012719	0,0012719	0,0004240	0,73	0,538
Variedad	1	0,0036039	0,0036039	0,0036039	6,22	0,016
Nitrógeno	7	0,0188750	0,0188750	0,0026964	4,65	0,001
Variedad*Nitrógeno	7	0,0049271	0,0049271	0,0007039	1,22	0,314
Error	45	0,0260687	0,0260687	0,0005793		
Total	63	0,0547467				

S = 0,0240688 R-cuad. = 52,38% R-cuad.(ajustado) = 33,34%

Peso 1000 granos

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM ajust.	F	p-value
Repetición	3	17,389	17,389	5,796	0,76	0,524
Variedad	1	143,880	143,880	143,880	18,78	0,000
Nitrógeno	7	105,213	105,213	15,030	1,96	0,082
Variedad*Nitrógeno	7	34,724	34,724	4,961	0,65	0,714
Error	45	344,760	344,760	7,661		
Total	63	645,965				

S = 2,76791 R-cuad. = 46,63% R-cuad.(ajustado) = 25,28%

Espigas m⁻²

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM ajust.	F	p-value
Repetición	3	497	497	166	0,03	0,994
Variedad	1	1061	1061	1061	0,17	0,686
Nitrógeno	7	682823	682823	97546	15,18	0,000
Variedad*Nitrógeno	7	32478	32478	4640	0,72	0,654
Error	45	289080	289080	6424		
Total	63	1005940				

S = 80,1499 R-cuad. = 71,26% R-cuad.(ajustado) = 59,77%

Granos m⁻²

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM ajust.	F	p-value
Repetición	3	1781729	1781729	593910	0,24	0,868
Variedad	1	6989373	6989373	6989373	2,83	0,099
Nitrógeno	7	591328710	591328710	84475530	34,23	0,000
Variedad*Nitrógeno	7	9124782	9124782	1303540	0,53	0,808
Error	45	111051637	111051637	2467814		
Total	63	720276232				

S = 1570,93 R-cuad. = 84,58% R-cuad.(ajustado) = 78,41%

Granos Espiga⁻¹

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM ajust.	F	p-value
Repetición	3	13,169	13,169	4,390	0,72	0,548
Variedad	1	5,051	5,051	5,051	0,82	0,369
Nitrógeno	7	94,163	94,163	13,452	2,19	0,053
Variedad*Nitrógeno	7	91,730	91,730	13,104	2,14	0,059
Error	45	275,844	275,844	6,130		
Total	63	479,958				

S = 2,47586 R-cuad. = 42,53% R-cuad.(ajustado) = 19,54%

Proteína en grano

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM ajust.	F	p-value
repeticion	3	0,0001229	0,0001229	0,0000410	0,82	0,489

Variedad	1	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,00	0,985
tratamiento	7	0,0107962	0,0107962	0,0015423	30,91	0,000
Variedad*tratamiento	7	0,0002299	0,0002299	0,0000328	0,66	0,706
Error	45	0,0022452	0,0022452	0,0000499		
Total	63	0,0133944				

S = 0,00706360 R-cuad. = 83,24% R-cuad.(ajustado) = 76,53%

SPAD Primer nudo

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM ajust.	F	p-value
Repetición	3	21,350	21,350	7,117	1,83	0,156
Variedad	1	38,148	38,148	38,148	9,79	0,003
Tratamiento	7	791,441	791,441	113,063	29,01	0,000
Variedad*Tratamiento	7	21,054	21,054	3,008	0,77	0,614
Error	45	175,367	175,367	3,897		
Total	63	1047,360				

S = 1,97409 R-cuad. = 83,26% R-cuad.(ajustado) = 76,56%

SPAD Embuche

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM ajust.	F	p-value
Repetición	3	1,546	1,546	0,515	0,54	0,657
Variedad	1	0,093	0,093	0,093	0,10	0,756
Tratamiento	7	580,247	580,247	82,892	87,02	0,000
Variedad*Tratamiento	7	8,575	8,575	1,225	1,29	0,279
Error	45	42,865	42,865	0,953		
Total	63	633,326				

S = 0,975995 R-cuad. = 93,23% R-cuad.(ajustado) = 90,52%

Ln Eficiencia absorción

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM ajust.	F	p-value
Repetición	3	0,1652	0,1652	0,0551	0,43	0,736
Variedad	1	0,3493	0,3493	0,3493	2,70	0,109
Tratamiento	6	0,4988	0,4988	0,0831	0,64	0,696
Variedad*Tratamiento	6	0,5143	0,5143	0,0857	0,66	0,681
Error	39	5,0526	5,0526	0,1296		
Total	55	6,5803				

S = 0,359936 R-cuad. = 23,22% R-cuad.(ajustado) = 0,00%

LnEficiencia Fisiológica,

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM ajust.	F	p-value
Repetición	3	0,26086	0,26086	0,08695	0,97	0,415
Variedad	1	0,00201	0,00201	0,00201	0,02	0,882
Tratamiento	6	2,57872	2,57872	0,42979	4,81	0,001
Variedad*Tratamiento	6	0,70665	0,70665	0,11778	1,32	0,272
Error	39	3,48609	3,48609	0,08939		
Total	55	7,03434				

S = 0,298976 R-cuad. = 50,44% R-cuad.(ajustado) = 30,11%

LnEUN

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM ajust.	F	p-value
Rep	3	0,09441	0,09441	0,03147	0,50	0,688
Variedad	1	0,29837	0,29837	0,29837	4,69	0,036
Tratamiento	6	3,54718	3,54718	0,59120	9,30	0,000
Variedad*Tratamiento	6	0,23909	0,23909	0,03985	0,63	0,708
Error	39	2,47888	2,47888	0,06356		
Total	55	6,65793				

S = 0,252113 R-cuad. = 62,77% R-cuad.(ajustado) = 47,49%

Análisis de regresión

Regresión Simple - Rendimiento vs. Primer Nudo (DOSIS)

Variable dependiente: Rendimiento

Variable independiente: SPAN PN

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Coeficientes

Parámetro	Mínimos	Estándar Error	Estadístico T	Valor-P
	Cuadrados Estimado			
Intercepto	-15662.8	2509.2	-6.24225	0.0008
Pendiente	465.253	52.533	8.85635	0.0001

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	2.53E+07	1	2.53E+07	78.43	0.0001
Residuo	1.94E+06	6	323066		
Total (Corr.)	2.73E+07	7			

Coefficiente de Correlación = 0.963815

R-cuadrada = 92.8939 porciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 91.7096 porciento

Regresión Simple - Rendimiento vs. SPAD Embuche (DOSIS)

Variable dependiente: Rendimiento

Variable independiente: SPAD EM

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Coeficientes

Parámetro	Estimado	Error Estándar	Estadístico T	Valor-P
	Mínimos Cuadrados			
Intercepto	-522.263	162.23	-3.21927	0.0182
Pendiente	13.4492	3.71482	3.62041	0.0111

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	1871.23	1	1871.23	13.11	0.0111
Residuo	856.572	6	142.762		
Total (Corr.)	2727.8	7			

Coefficiente de Correlación = 0.828242

R-cuadrada = 68.5985 porciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 63.3649 porciento

Regresión Simple - % Proteína vs. SPAD Primer Nudo (dosis)

Variable dependiente: % Proteína

Variable independiente: SPAD Primer Nudo

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Coeficientes

Parámetro	Mínimos Cuadrados Estimado	Estándar Error	Estadístico T	Valor-P
Intercepto	6.49725	1.51743	4.28175	0.0052
Pendiente	0.083082	0.0317671	2.61533	0.0398

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.805348	1	0.805348	6.84	0.0398
Residuo	0.706449	6	0.117741		
Total (Corr.)	1.5118	7			

Coeficiente de Correlación = 0.729869

R-cuadrada = 53.2709 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 45.4827 por ciento

Regresión Simple - % Proteína vs. SPAD Embuche (Dosis)

Variable dependiente: % Proteína

Variable independiente: SPAD Embuche

Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Coeficientes

Parámetro	Mínimos Cuadrados Estimado	Estándar Error	Estadístico T	Valor-P
Intercepto	-5.34622	2.19531	-2.43529	0.0508
Pendiente	0.361903	0.0502691	7.19931	0.0004

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	1.35494	1	1.35494	51.83	0.0004

Residuo	0.156852	6	0.026142
Total (Corr.)	1.5118	7	

Coeficiente de Correlación = 0.946704
R-cuadrada = 89.6248 por ciento
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 87.8956 por ciento

Regresión Simple - % Proteína vs. SPAD Embuche (tratamientos 1-7)

Variable dependiente: % Proteína
Variable independiente: SPAD Embuche
Lineal: $Y = a + b \cdot X$

Coeficientes

Parámetro	Mínimos Cuadrados			Estadístico T	Valor-P
	Estimado	Estándar Error			
Intercepto	2.73625	1.00472		2.7234	0.0185
Pendiente	0.176462	0.02179		8.09827	0

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	4.35961	1	4.35961	65.58	0
Residuo	0.79771	12	0.0664758		
Total (Corr.)	5.15732	13			

Coeficiente de Correlación = 0.919415
R-cuadrada = 84.5325 por ciento
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 83.2435 por ciento