



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**IMÁGENES DIGITALES ÓPTICAS COMO MÉTODO DE ESTIMACIÓN DEL
CONTENIDO DE NITRÓGENO Y RENDIMIENTO DEL TRIGO CANDEAL
CHILENO, SIN LIMITACIONES HÍDRICAS.**

CARLA CECILIA SOTO OLGUÍN

**SANTIAGO – CHILE
2015**

UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**IMÁGENES DIGITALES ÓPTICAS COMO MÉTODO DE ESTIMACIÓN DEL
CONTENIDO DE NITRÓGENO Y RENDIMIENTO DEL TRIGO CANDEAL
CHILENO, SIN LIMITACIONES HÍDRICAS.**

**OPTICAL DIGITAL IMAGES AS A METHOD TO ESTIMATE NITROGEN
CONTENT AND YIELD OF CHILEAN CANDEAL WHEAT, WITHOUT
HYDRIC LIMITATION.**

CARLA CECILIA SOTO OLGUÍN

Santiago, Chile
2015

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

**IMÁGENES DIGITALES ÓPTICAS COMO MÉTODO DE ESTIMACIÓN DEL
CONTENIDO DE NITRÓGENO Y RENDIMIENTO DEL TRIGO CANDEAL
CHILENO, SIN LIMITACIONES HÍDRICAS.**

Memoria para optar al título profesional de: Ingeniera Agrónoma

CARLA CECILIA SOTO OLGUÍN

Profesores Guías	Calificaciones
Paola Silva C. Ingeniero Agrónomo, M.g. Sc. Dr.	6,0
Mauricio Galleguillos T. Ingeniero Agrónomo, M.S. Dr.	6,2
Profesores Evaluadores	
M. Verónica Díaz M. Ingeniero Agrónomo, M.g. Sc.	6,0
Oswaldo Salazar G. Ingeniero Agrónomo, M.S. Ph. D.	6,5

Santiago-Chile
2015

AGRADECIMIENTOS

Gracias a todos los que me dieron la energía necesaria para lograr el objetivo final durante la ejecución de mi memoria de título, en especial a mi familia por su compañía y apoyo constante.

A mis padres, Mariela y Manuel, por todo el esfuerzo que han sembrado durante mis 27 años de vida.

A mis hermanas Claudia y Ximena, que siempre mantuvieron una presión constante para impulsarme a concretar mi paso por la universidad.

A mi sobrina Millaray, por entregarme cada mañana su energía de niña, recordándome que la vida se llena de colores cuando nos volvemos niños y dejamos los problemas para los aporreados, quedándonos retraídos en las simplezas que a diario la vida nos entrega, dejando partir todo sentimiento erróneo, para guardar lo realmente importante.

A mi gran amiga y asesora estadística Catalina Pinto, porque gracias a sus conocimientos y apoyo logramos descifrar las nebulosas escondidas en mi memoria.

A mis amigos (Catita, Sara, Claudia, Gise, Romi, Burbu, Nacho, Lesli Alessandro, Kanko y Javier) que gracias a ellos el paso por la universidad fue más que un recuerdo que contar; fue encontrar la amistad en cada pasillo de la facultad, la compañía durante esas largas jornadas de clase, la alegría durante los momentos tristes y apoyo en todo lugar y espacio.

A todos los que aportaron con su grano de arena para lograr que esta memoria finalmente llegue a su fin, ya sea en las mediciones de campo o durante el desarrollo de los resultados y discusión (Catita, Sara-ladilla, Burbu, Nacho, Alessandro, Javier-pacha, Clau, Gise, Javier, Nico, Benvenuto, Pancho Cadenas, Mario, Ximana, Vicky, Vicente, Nañito, Marcos, Gerlitt, Caroli, Kanko y Hugo)

A don Pato, don Manuel y don Luis, porque sin sus conocimientos y apoyo en el campo, nada de lo que se escribe en esta memoria tendrían sentido, muchas gracias por su ayuda durante los momentos de lluvia, frío, calor y más calor.

Y a ti Chinito que eres el Oasis en mis desiertos.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
HIPÓTESIS	6
Objetivo General	6
Objetivos Específicos	6
MATERIALES Y MÉTODO	7
Lugar del estudio	7
Tratamiento y diseño experimental	7
Manejo del cultivo	9
Mediciones	10
Observaciones preliminares sobre la captura de imágenes fotográficas	10
Mediciones del cultivo	11
Mediciones climáticas y de suelo	13
Análisis Estadístico	14
RESULTADOS	15
Clima y suelo	15
Análisis de suelo	16
Contenido de agua del suelo	17
Fenología	18
Biomasa, rendimiento y componentes de rendimiento	19
Biomasa en primer nudo	22
Contenido de proteína en el grano	23
Cobertura vegetal (%)	25
Comparación de las cámaras fotográficas	26
Relación entre cobertura vegetal (%) y rendimiento (kg ha^{-1})	27
Valores SPAD	28
Relación entre valores SPAD y rendimiento	30

Relación entre valores SPAD y cobertura vegetal (%)	31
DISCUSIÓN	32
CONCLUSIONES	36
BIBLIOGRAFÍA	37
APÉNDICES	43
Apéndice I.	43
Protocolo de cosecha y cálculos de parámetros de rendimiento	43
Cálculos de rendimiento y sus componentes.	44
Apéndice II	45
Análisis combinado de varianza	45

RESUMEN

A través del procesamiento de imágenes digitales en el rango óptico se estimó el porcentaje de cobertura vegetal (CC) para predecir el rendimiento y contenido de N en trigo candeal chileno (*Triticum turgidum*, spp. Durum L.). El objetivo del estudio fue obtener relaciones cuantitativas entre CC y rendimiento, CC y valores SPAD, valores SPAD y rendimiento. Para esto se realizó un ensayo con dos variedades, Llaretta INIA y Corcolén INIA, en condiciones de riego, ambas variedades sometidas a tratamientos de dosis (0, 60, 120, 180 y 240 kg N ha⁻¹) y parcialización de N en siembra, primer nudo y embuche. El diseño experimental fue en bloques completos al azar, con 4 repeticiones y 8 tratamientos por bloque, estableciéndose un total de 32 unidades experimentales por variedad. La unidad experimental fue de 7,7 m². Se midieron en primer nudo y embuche: cobertura vegetal (%) y transmisibilidad de la luz a través de la hoja (valores SPAD). El resto de las mediciones fueron hechas en madurez fisiológica, las cuales corresponden a rendimiento (kg ha⁻¹), componentes de rendimiento (grano m⁻², grano espiga⁻¹, peso seco de los 1000 granos (PS1000) (g), espigas m⁻²), índice de cosecha (IC), biomasa (kg ha⁻¹) y proteína en grano (%). Por su parte, biomasa fue medida en primer nudo y estimada en madurez fisiológica. Para CC se utilizaron dos cámaras fotográficas para obtener imágenes digitales, las que fueron procesadas con el programa *Canopy cover*, el cual calcula un valor $SAVI_{green}$ a los píxeles individuales de cada fotografía e informa el resultado como la proporción de píxeles verdes ($SAVI_{green} > 0$) entregando de esta manera un valor de porcentaje de cobertura vegetal (CC) por imagen. Los resultados mostraron que sólo hubo diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos para biomasa a madurez fisiológica, biomasa en primer nudo, valores SPAD en embuche, y proteína en grano (%). Además, se obtuvo una asociación significativa entre valores SPAD y rendimiento en ambos estados de evaluación ($R^2=0,93$ y $R^2=0,98$, respectivamente). Sin embargo, no se pudo estimar el contenido de N y rendimiento a partir de imágenes digitales, debido a la influencia que habría tenido en los resultados, la alta disponibilidad de N en el suelo en pre siembra, el efecto de la reflexión especular sobre la estimación de CC y el estrés hídrico presentado durante el periodo crítico del cultivo, efectos que hicieron que los resultados de CC no fueran lo suficientemente consistentes para inferir a partir de ella el objetivo del estudio.

Palabras claves: *Triticum turgidum* L. spp. Durum, cobertura vegetal, imagen digital, valores SPAD, nitrógeno.

ABSTRACT

Through digital image processing in the optical range the percentage of vegetation cover (CC) was estimated to predict yield and N content in Chilean bread wheat (*Triticum turgidum* spp. Durum L.). The objective of the study was to obtain quantitative relationships between CC and yield, CC and SPAD values, and, SPAD values and yield. The experiment was done with two cultivars of durum wheat (Llaretta INIA and Corcolen INIA) under irrigation conditions and both receiving nitrogen (0, 60, 120, 180 and 240 kg N ha⁻¹) in split applications at sowing, first node and boot stages. The experimental design was a randomized complete block with 4 replications and 8 treatments per block, establishing a total of 32 experimental units per variety. The experimental unit has 7,7 m². There were measured in the first node and boot stage: vegetation (%) and transmissivity of light through the leaf (SPAD values). The rest of the measurements were made at physiological maturity: yield (kg ha⁻¹), yield components (grain m⁻², grain spike⁻¹, dry weight of 1000 grains (PS1000) (g), spikes m⁻²), harvest index (IC), biomass (kg ha⁻¹) and grain protein (%). Biomass was measured at the first node and estimated in physiological maturity. The results showed that there were significant differences ($p \leq 0.05$) among treatments only for biomass at physiological maturity, biomass in the first node, SPAD values at boot stage and grain protein (%). In addition, a significant association between SPAD values and yield in both states ($R^2 = 0.93$ and $R^2 = 0.98$ respectively) was obtained. However, it was not possible to estimate the N content and yield from digital pictures, due to the influence that would have on the results, the high availability of N in the soil in pre sowing, the effect of specular reflection on the estimate of CC and water stress presented during the critical period of crop, which produced that the results of CC were not consistent enough to infer from it the study objective.

Key words: *Triticum turgidum* L. spp. Durum, vegetation cover, digital image, SPAD values, nitrogen.

INTRODUCCIÓN

La fertilización nitrogenada corresponde al segundo factor de mayor importancia, después del agua, debido a que el nitrógeno (N) es el elemento más demandado entre los nutrientes para el crecimiento de las plantas (Frink et al., 1999), siendo el que influye en mayor medida en la producción fotosintética y en el rendimiento del cultivo (Acevedo et al., 2002; Bouman, 1992). Sin embargo, el uso poco eficiente de los fertilizantes nitrogenados ha generado problemáticas económicas y ambientales (Hucklesby et al., 1971; Bouman, 1992; Scheromm et al., 1992; Woodard y Bly, 1998). Productivamente, Pacheco y Pat (2002), y ODEPA, (2010) indican que este tipo de fertilización representa el 30% de los costos totales. A lo señalado, se suma la contaminación ambiental causada por las pérdidas por lixiviación, desnitrificación y volatilización (Álvarez, 2006; Villar y Ortega, 2003). Considerando estas grandes problemáticas se hace indispensable mejorar las metodologías utilizadas de manera de incrementar la eficiencia del uso del nitrógeno (EUN), evitando estas pérdidas.

Li et al. (2010) y Raun et al. (2008) definen a la EUN como el rendimiento del cultivo en grano por unidad de N aplicado. Esta eficiencia se alcanza aplicando la dosis en el momento oportuno. En ese sentido Altman et al. (1983) y Fischer et al. (1993) indican que aplicaciones de nitrógeno antes de la elongación del tallo (estado zadoks 31), pueden incrementar los rendimientos si el cereal carece de N, mientras que las aplicaciones después de la elongación del tallo (desde el estado zadoks 45 a 65) sólo van a aumentar el contenido de proteína en el grano (Acevedo et al., 2002; Quemada y Diez, 2007). Esto es explicado porque la absorción de N es baja en el trigo durante las fases iniciales del proceso de crecimiento, la cual alcanza aproximadamente un 10% para pasar luego a una fase exponencial de acumulación de biomasa y N (finales de macollaje y comienzos de primer nudo) para llegar finalmente a un máximo, que se produce a comienzos del llenado de grano (Talandriz y Quezada, 2001). Al momento de la floración se ha absorbido alrededor de un 90% de la cantidad máxima de N que acumula el cultivo (Álvarez, 2006; Faiguenbaum, 2003; Talandriz y Quezada, 2001).

Existen diferentes técnicas para cuantificar el contenido de N en un cultivo. Para Angus et al. (1989) las pruebas de mayor precisión son las que se basan en el contenido de N en las plantas por unidad de superficie. Según Li et al. (2010) estas pruebas miden contenido, concentración de N o nitrato en la planta; y se basan en muestreos destructivos y procedimientos de laboratorio los cuales requieren tiempo y pueden provocar retrasos en la toma de decisiones del agricultor.

Sin embargo, hay otro tipo de técnicas que están asociadas a características biofísicas de la vegetación, basadas en propiedades espectrales de las cubiertas vegetales (Peng et al., 2011; Tremblay et al., 2009). Diversos autores como Peng et al. (2011) y Wood et al. (1992) demostraron que la clorofila de una cubierta vegetal es una expresión directa del aparato fotosintético y se ha observado que el contenido de clorofila puede estar fuertemente relacionado con la productividad. Gates et al. (1965) por su parte, explica

que la concentración de clorofila en una planta está influenciada por las propiedades espectrales o también conocida como reflectancia de los anchos de banda en el rojo, verde y azul (espectro visible). Para Chen et al. (2010) esta característica espectral de la clorofila permite predecir la concentración de N en el trigo. Tremblay et al. (2009) agregan que la clorofila está estrechamente correlacionada con el contenido de N; esta ventaja otorga que la reflectancia espectral de la hoja o cubierta vegetal pueda ser capturada por sensores portátiles y de esta forma predecir el estado de N en el cultivo.

Para Castellarín y Pedrol (2005) la concentración del nitrógeno de las hojas se relaciona con su contenido de clorofila y esta a su vez con la intensidad de color verde de las hojas o índice de verdor que puede ser determinado con medidores de clorofila como el Minolta SPAD 502. Ciganda *et al.* (2009), señalan que este tipo de instrumento ha sido propuestos como una técnica fácil y no-destructiva para estimar el contenido de clorofila por medio de medidas de transmisibilidad en la hojas. Por su parte, Gomara (2012) encontró una correlación positiva entre los valores SPAD y el contenido de N, medidos en primer nudo ($R^2=0,92$) y en embuche ($R^2=0,68$). En relación con ello, Uddling et al. (2007) determinaron una relación no lineal entre las medidas SPAD y la concentración de clorofila para el cultivo de trigo ($R^2= 0,9$). Así mismo, Chen et al. (2010) y Cartelat et al. (2005) encontraron correlaciones significativas entre SPAD y concentración de N en la planta ($R^2=0,7$).

Por otro lado, Gitelson et al. (2002a) sugieren que la intensidad de la reflectancia en el verde y rojo podrían ser utilizadas como una alternativa a la reflectancia roja e infrarroja capturada a partir de imágenes satelitales para estimar la cobertura vegetal en un cultivo. Así mismo Li et al. (2010) reconocieron que las bandas de color rojo y verde capturadas con cámaras digitales proporcionan imágenes que indican la proporción de suelo cubierto por follaje, entregando información sólida y de calidad comparable con los instrumentos de precisión que reconocen bandas de infrarrojos y de color rojo. Esto refleja, según Gitelson et al. (2002a, 2002b) que la cobertura del cultivo (CC) estimada con cámaras digitales que utilizan dispositivos de carga acoplada (CCD) para la captura de imágenes, se correlaciona adecuadamente con el contenido de nitrógeno, y por tanto, proporciona información útil sobre las exigencias de fertilización. De esta forma, diferentes algoritmos, también denominados índices espectrales, han sido propuestos para relacionar concentración de clorofila y contenido de N, basándose en la detección de diferentes anchos de banda del espectro electromagnético. Gitelson et al. (2002a) agrega que la CC desde siembra a cosecha, puede ser estimada con el índice VI_{green} (1) el cual combina dos anchos de banda del espectro electromagnético, R_{green} (verde) y R_{red} (rojo).

$$(1) \quad VI_{green} = (R_{green} - R_{red}) / (R_{green} + R_{red})$$

Además, Li et al. (2010) indican que es importante considerar los efectos de la reflectancia del suelo, para lo cual proponen corregir el índice VI_{green} incluyendo el factor suelo mediante el parámetro L, el cual fluctúa entre 0 (suelo completamente

cubierto) y 1 (suelo desnudo). Sin embargo, Huete (1988) recomienda un valor base y constante para L de 0,5. De esta forma se incluye un nuevo índice llamado $SAVI_{green}$.

$$(2) \quad SAVI_{green} = (1 + L) * \left[\frac{R_{green} - R_{red}}{R_{green} + R_{red} - L} \right]$$

$SAVI_{green}$ indica que un píxel se cuenta como verde cuando el valor obtenido es > 0 y la proporción de píxeles totales de una imagen verde se reporta como una fracción vegetal.

Las imágenes de cámaras digitales obtenidas por Li et al. (2010) fueron procesadas con un programa llamado *Canopy Cover*, el cual se puede descargar libremente en http://www.pi.csiro.au/canopy_cover. Este programa aplica la ecuación (2) a los píxeles individuales e informa el resultado como la proporción de píxeles con valores de $SAVI_{green} > 0$. Este tipo de tecnología relativamente sencilla y accesible proporciona información de calidad sobre exigencias de fertilización y determinación de cobertura vegetal, comparable con sensores multiespectrales o instrumentos portátiles de mayor costo.

HIPÓTESIS

El uso de imágenes digitales en el rango óptico permite estimar el contenido de nitrógeno e inferir el rendimiento en trigo candeal chileno.

Objetivo General

Obtener una relación cuantitativa entre la cobertura vegetal estimada por el índice espectral $SAVI_{green}$, con el rendimiento y los valores SPAD, en los estados de primer nudo y embuche.

Objetivos Específicos

Estimar la cobertura vegetal a partir del índice espectral $SAVI_{green}$, mediante el análisis de imágenes digitales ópticas bajo distintos tratamientos de nitrógeno.

Determinar valores SPAD medidos en hojas como medida indirecta del contenido de N en la planta.

Asociar el rendimiento con los valores de cobertura vegetal estimados a través del índice espectral $SAVI_{green}$, en los estados de primer nudo y embuche.

Asociar la cobertura vegetal estimada a través del índice espectral $SAVI_{green}$ con los valores SPAD, en los estados de primer nudo y embuche.

Asociar el rendimiento con los valores SPAD en los estados de primer nudo y embuche.

MATERIALES Y MÉTODO

Lugar del estudio

El ensayo se realizó en la Estación Experimental Antumapu de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, Región Metropolitana, provincia de Santiago, comuna de La Pintana (33°34' LS y 70°38' LO).

El clima es templado, mesotermal estenotérmico, mediterráneo, semiárido con veranos secos y cálidos e inviernos fríos. La temperatura máxima media corresponde a 28.7°C en enero y la mínima media es de 3,4°C y se presenta en el mes de julio. Las precipitaciones son invernales, con una media anual de 330 mm y un período seco de 8 meses entre septiembre y abril (Santibáñez y Uribe, 1990).

El suelo pertenece a la serie de suelo Santiago, miembro de la Familia franca gruesa sobre arenosa esquelética, mixta, térmica de los EnticHaploxerolls del Orden Mollisols. Corresponden a suelos de origen aluvial, ligeramente profundos (profundidad media de 60 cm) que se presentan en una topografía plana, con o sin micro relieve en una posición de una gran cono aluvial y poseen buen drenaje (CIREN, 1996).

Tratamiento y diseño experimental

El experimento se basó en la evaluación de dos variedades de trigo, Corcolén-INIA y Llaretta-INIA. Los tratamientos son los mismos para cada variedad y están compuestos de 3 parcializaciones de nitrógeno: en siembra, primer nudo y embuche, tal como se aprecia en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos.

Tratamiento	Parcialización (Kg ha ⁻¹)			Dosis total de N (Kg ha ⁻¹)
	N a la siembra	N a primer nudo	N a embuche	
1 (testigo ¹)	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 (testigo ²)	80	120	40	240

¹ Testigo: asociado al aporte de nutrientes del suelo, sin fertilización nitrogenada.

² Testigo: fertilización tradicional en busca de maximizar el rendimiento y contenido de proteína en el grano.

En el Cuadro 1, se observa que los tratamientos 2, 3 y 4 corresponden a distintas dosis de fertilizantes aplicadas en siembra, las cuales están orientadas a generar diferencias en las coberturas vegetales. Por otra parte, para los tratamientos 4, 5, 6 y 7 se consideró una misma dosis total de N (180 kg N ha⁻¹) aunque aplicada en distintos momentos con la finalidad de generar distintas eficiencias de absorción de N, donde T4 recibió la dosis total en siembra, T5 en primer nudo, y tanto T6 como T7 recibieron la dosis parcializada en siembra y primer nudo.

Los tratamientos 1 y 8 corresponden a los testigos. El tratamiento 1 tiene por objetivo representar el crecimiento del cultivo a partir del suministro de N aportado por el suelo, sin fertilización. Por su parte, el tratamiento 8 representa una aplicación recomendada de N, orientada tanto para aumentar el rendimiento (aplicación en primer nudo) como el contenido de proteína en el grano (aplicación en embuche).

Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar, con 4 repeticiones y 8 tratamientos para cada variedad, estableciéndose de esta manera un total de 32 unidades experimentales por variedad. La unidad experimental fue de 7,7 m² (3,5 m de largo y 2,2 m de ancho) como se aprecia en la Figura 1.

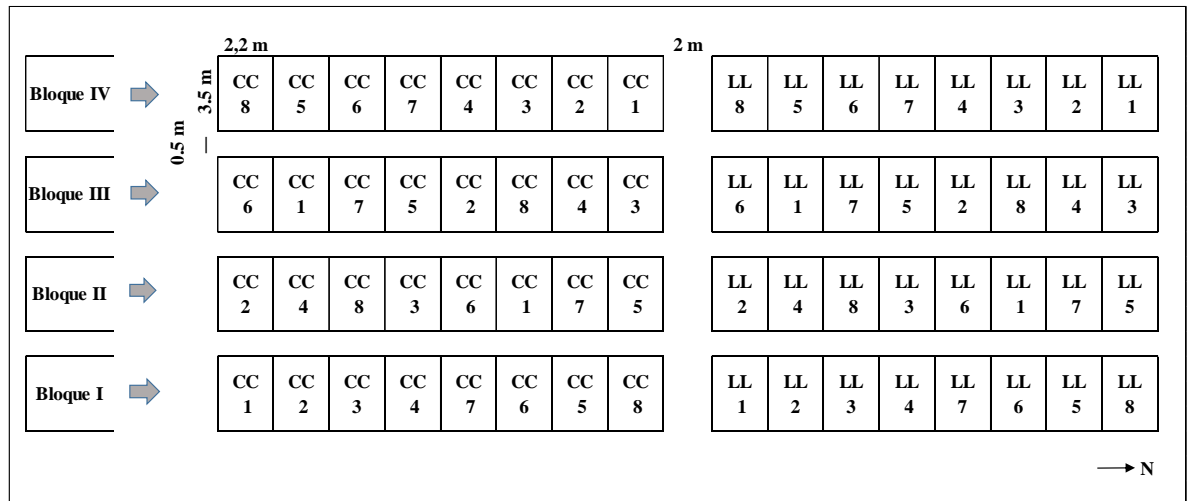


Figura 1. Diagrama de campo, diseño experimental bloques completos al azar.

Manejo del cultivo

Se sembró trigo candeal variedad Llaretá-INIA y Corcolén- INIA, el día 10 de junio de 2011. La dosis de semilla fue de 150 kg ha⁻¹. Las semillas se desinfectaron con mancozeb-carbendazim (125 g 100 kg⁻¹ semilla). El manejo de labranza previo a la siembra correspondió a una labranza convencional, utilizando arado de disco y rastra.

La fertilización fosfatada fue de 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ a la siembra en forma de superfosfato triple. La dosis de nitrógeno correspondió a 180 kg N ha⁻¹, aplicada en forma de urea. Se utilizó esta dosis ya que se busca obtener un rendimiento de 7 ton ha⁻¹ de grano con un porcentaje de proteína de 12%. Además se consideró una eficiencia de absorción de N de 50% y un suministro del suelo de 70 kg N ha⁻¹.

Para calcular la dosis de N (Silva et al., 2011) se utilizaron las siguientes ecuaciones (3) y (4):

$$(3) \quad \text{Dosis de N (kg N ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Demanda del cultivo} - \text{Suministro del suelo}}{\text{Eficiencia de absorción}}$$

$$(4) \quad \text{Demanda del cultivo} = \text{Rendimiento (ton ha}^{-1}\text{)} * \text{Proteína (\%)} * 2,19$$

Mediciones

Observaciones preliminares sobre la captura de imágenes fotográficas

Se realizaron mediciones durante las primeras etapas de desarrollo del cultivo (macolla) con el fin de ajustar la metodología en la utilización de las cámaras fotográficas, evaluando los posibles factores de perturbación (hora, sombra, altura e inclinación de captura) en la obtención de una imagen (Figura 2).

Las cámaras fotográficas utilizadas fueron Panasonic Lumix FxS y Fujifilm finepix s2000HD, ambas utilizan un dispositivo de carga acoplada (CCD) como sensor de imagen. El área capturada por cada cámara es $1,47 \text{ m}^2$ y $1,44 \text{ m}^2$, respectivamente. En cada observación se ajustó la altura de la cámara de modo que se observaran 5 hileras, con una inclinación de 90° respecto del plano horizontal (enfocando el cultivo desde arriba), para lo cual se empleó un trípode especialmente diseñado con estos fines. La cámara se unió al trípode gracias a un tornillo presente en la punta del extensor horizontal, desde ahí se ajustó la inclinación de cada cámara (Figura 2). Luego, la base del trípode se colocó en la entrada de cada unidad experimental para la captura de las imágenes fotográficas.

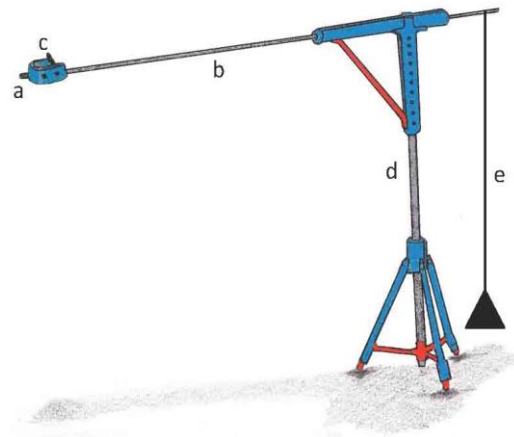


Figura 2. Trípode utilizado para la captura de imágenes fotográficas. Imagen de la izquierda, trípode en campo. Imagen de la derecha, Esquema del trípode utilizado (a: Tornillo para insertar cámara, b: Extensor horizontal, c: Ajuste de inclinación, d: Extensor vertical, e: Contrapeso).

Todas las imágenes fueron capturadas con enfoque, balance de blancos y tiempo de exposición automático. El balance de blancos automático se refiere a la automatización de la imagen para mantener los colores grises, acromáticos y blancos. Se utilizó balance de blancos automático en lugar de un modo preestablecido con el fin de probar la generalidad del método en diferentes condiciones de luz. Por la misma razón, se seleccionó el tiempo de exposición en modo automático. Para el procesamiento de las imágenes se utilizó el programa *Canopy cover* versión 1.1.0.0 creado por Li et al.

(2010), el cual calcula un valor $SAVI_{green}$ e informa un porcentaje de cobertura del cultivo (CC) por imagen (Figura 3).

Mediciones del cultivo

Establecimiento de plantas: se realizó un conteo del número de plantas en un metro lineal, en el estado de Zadoks 12 correspondiente a plantas de 2 hojas antes de comenzar a macollar (Zadoks et al., 1974). Se midió 4 veces en cada unidad experimental, donde se obtuvo un promedio de plantas por m^2 en cada unidad experimental.

Fenología: durante el desarrollo del cultivo en los distintos tratamientos y para cada variedad, se registró el estado fenológico mediante observaciones visuales de campo, considerando para ello la escala desarrollada por Zadoks et al. (1974).

Cobertura vegetal (CC): se determinó mediante el procesamiento de imágenes fotográficas según la metodología de Li, et al. (2010) (Figura 3). Para esto, con cada una de las dos cámaras fotográficas se tomaron dos imágenes digitales en cada unidad experimental, en los estados de primer nudo y embuche, considerando una intensidad de luz y ángulo solar similar entre fotografías, es decir, tomando una inmediatamente después de la otra. Se promediaron los resultados de CC obtenidos por ambas cámaras. Las imágenes fueron capturadas entre las 11:00 y 15:00 horas, a una altura de 1,0 m, con un ángulo de 90° con respecto a la horizontal del suelo, un día antes de la aplicación de N correspondiente.

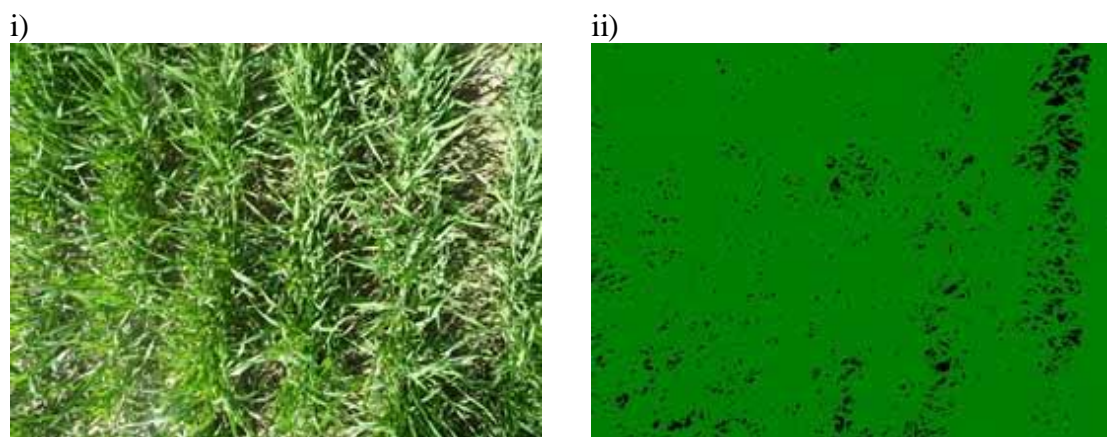


Figura 3. Imagen referencial para la obtención de cobertura vegetal.

- i) Imagen digital capturada desde una cámara fotográfica, tratamiento 1, Corcolén-INIA.
- ii) Imagen digital procesada con el programa *Canopy Cover*, tratamiento 1, Corcolén-INIA.

Mediciones SPAD: con la finalidad de determinar el verdor en el cultivo, se midió la transmisibilidad de la luz en la hoja, utilizando el instrumento SPAD, marca Minolta modelo 502. Diversos autores han encontrado una alta correlación entre las unidades SPAD y la cantidad de clorofila y nitrógeno total en trigo (Rodríguez et al., 1998, Castellarín y Pedrol, 2005; Cartelat et al., 2005; Uddling et al., 2007; Chen et al., 2010). El valor promedio de valores SPAD por cada unidad experimental se obtuvo muestreando 20 hojas recientemente expandidas provenientes de diferentes plantas, libres de enfermedades y escogidas al azar. Las lecturas se realizaron en los estados de primer nudo y embuche, un día antes de la aplicación de N correspondiente, en la parte central de la última hoja completamente expandida del eje principal, con la precaución de evitar lecturas sobre la nervadura central (Hoel, 1998).

Biomasa: se estimó en el estado de primer nudo, recolectando 10 plantas a ras de suelo en cada repetición. Estas muestras fueron colocadas en una estufa a 70°C durante 48 horas para obtener el peso seco. Los pesos secos de las 10 plantas fueron promediados y de esta forma se obtuvo el peso seco por planta (PS) en cada repetición. Posteriormente, utilizando el número de plantas por metro lineal de cada repetición y PS, se obtuvo la biomasa según la ecuación (5):

$$(5) \quad \text{Biomasa (kg ha}^{-1}\text{)}_{\text{Primer nudo}} = \text{N}^{\circ} \text{ de plantas m}^{-2} * \text{PS planta (gr)} * 10$$

Para obtener la biomasa en madurez fisiológica, se recolectaron 5 hileras de plantas de un metro lineal a ras de suelo en cada repetición, equivalente a 1 m² (HA). Posteriormente, se separaron 50 tallos con espigas, de los que se obtuvo el peso en húmedo (FS) y en seco (DS), luego de ser colocados en una estufa a 70°C por 48 horas. Una vez separado los 50 tallos, se obtuvo el peso del resto del manojito (FB). Considerando todos los factores mencionados anteriormente, se estimó la biomasa por medio de la siguiente ecuación (6):

$$(6) \quad \text{Biomasa (kg ha}^{-1}\text{)}_{\text{Madurez fisiológica}} = \frac{(\text{DS} / \text{FS}) * (\text{FB} + \text{FS})}{(\text{HA})} * 10$$

Rendimiento y componentes: en madurez fisiológica por cada unidad experimental se cosecharon a ras de suelo 5 hileras de un metro lineal. De cada muestra cosechada se separaron 50 tallos con espigas, de los que se obtuvo el peso húmedo y en seco (luego de ser colocados en una estufa a 70°C durante 48 horas). El resto de las muestras se pesaron y trillaron. Posteriormente, se separaron 250 granos de cada muestra, los que sirvieron para obtener el peso en húmedo y en seco (después de ser colocados en una estufa a 70°C durante 48 horas). Con estos datos se calculó el rendimiento y sus componentes, los cuales corresponden a: número de granos m⁻², peso de los 1000 granos (PS100), número de espigas m⁻² y granos por espiga; además del índice de cosecha (IC) Las ecuaciones empleadas para calcular estos componentes se aprecian en el Apéndice I.

Contenido de proteína del grano: la medición 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). El contenido de proteína fue expresado en porcentaje en relación al peso total de grano. La muestra fue llevada al laboratorio del Centro Regional INIA Quilamapu, Chillán.

Mediciones climáticas y de suelo

Contenido de agua del suelo: se midió cada dos semanas a partir del 15 de agosto de 2011 hasta madurez fisiológica (25 de noviembre de 2011). Se utilizó una sonda FDR marca Diviner 2000. Las mediciones se realizaron cada 10 cm hasta una profundidad de 60 cm, para lo cual se colocaran 2 tubos de PVC en el suelo en cada repetición del tratamiento 8.

Contenido de nitrógeno del suelo: se tomó una muestra de los primeros 40 cm de suelo previo a la siembra de trigo, para determinar en laboratorio el nitrógeno disponible en el suelo (nitrato y amonio). La muestra fue llevada al laboratorio del Centro Regional INIA Quilamapu, Chillán.

Se utilizaron los datos de precipitación, temperatura y evaporación de bandeja, extraídos de una estación meteorológica ubicada a 300 m del ensayo, para monitorear las condiciones en las que se desarrolló el cultivo.

Análisis Estadístico

Se analizaron estadísticamente las siguientes variables: rendimiento, componentes de rendimiento, IC, biomasa en madurez fisiológica, porcentaje de proteína en grano, valores SPAD y cobertura vegetal para todos los tratamientos de N (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 y T8). Para el análisis de biomasa en primer nudo, se consideraron únicamente los tratamientos T1, T2, T3 y T4 ya que la medición se realizó previo a la aplicación de N en este estado fenológico, por tanto aún no se manifestaban las diferencias en las aplicaciones de N en relación al resto de los tratamientos.

Cada variable medida se evaluó mediante un análisis combinado de varianza considerando los factores variedad, tratamiento y la posible interacción existente entre estos factores (variedad x tratamiento). En el caso de encontrarse una interacción significativa, se consideró el efecto de la interacción en la evaluación de los resultados, en caso contrario, se evaluó cada factor por separado. Además, se comprobaron los supuestos de homogeneidad de varianza, normalidad y aleatoriedad de los datos.

Por otro lado, para detectar diferencias significativas, las medias de los tratamientos fueron comparadas utilizando el test de DGC con un nivel de significancia de 5% ($\alpha=0,05$).

Se realizaron regresiones entre cobertura vegetal, rendimiento y valores SPAD, la significancia fue evaluada mediante la raíz del error cuadrático medio (RMSE) con una significancia de 5% ($\alpha=0,05$). Las relaciones analizadas correspondieron a:

- Cobertura vegetal (%) y rendimiento.
- Cobertura vegetal (%) y valores SPAD
- Valores SPAD y rendimiento.

RESULTADOS

Clima y suelo

En el Cuadro 2 se presentan los promedios de las temperaturas media, mínima y máxima (°C), precipitación (mm) y contenido de agua aplicado mediante el riego (mm), para cada periodo de desarrollo del cultivo. Estos datos fueron evaluados desde el momento de siembra hasta madurez fisiológica del cultivo.

Cuadro 2. Temperatura media máxima y mínima, precipitación, riego en distintos estados fenológicos.

Periodo de desarrollo	-----Promedio T° (°C)-----			Precipitación -----(mm)-----	Riego	Total
	Mínima	Máxima	Media			
Siembra – Emergencia	0,9	14,4	7	126,3	-	126,3
Emergencia – Primer Nudo	2,4	15,2	8,2	79,7	-	79,7
Primer Nudo – Embuche	6,7	23,4	14,2	0,4	45	45,4
Embuche – Espigadura	7,4	22,4	15	-	47,5	47,5
Espigadura – Madurez Fisiológica	7	24,2	15,2	-	102,5	102,5
Total				206,4	195	401,4

Durante el desarrollo del cultivo la precipitación registrada fue de 206,4 mm. El agua aplicada mediante el riego fue de 195 mm, distribuida en cinco riegos. Sumadas ambas entradas de agua (riego y precipitación), el cultivo recibió una cantidad total de 401,4 mm.

En relación a los riegos aplicados, los primeros tres se realizaron mediante aspersores y los dos últimos por tendido. El riego por aspersión presentó una baja uniformidad de mojado y traslape entre aspersor, condición que impulsó a cambiar el sistema de riego a tendido. Este riego se dejó de efectuar a los 145 días después de siembra (DDS) producto que el cultivo presentó tendeduras en algunas plantas ubicadas en los bordes de las parcelas.

En este ensayo, la menor temperatura mínima promedio desde la emergencia del cultivo fue de 2,4°C, ocurrida entre emergencia y primer nudo, mientras que la mayor temperatura máxima promedio fue de 24,2°C, entre espigadura y madurez fisiológica. Según Iglesias y Taha (2010) la etapa vegetativa (germinación, emergencia, macollaje y elongación de hoja) requiere de una temperatura base de 2°C, mientras que desde elongación del tallo hasta la fase reproductiva requiere una temperatura base de 6°C. Por su parte, el rango de temperatura óptimo para la fotosíntesis es de 15 a 20°C, mientras que la temperatura máxima corresponde a 30°C. Por tanto, las temperaturas registradas en el desarrollo del cultivo no fueron un factor limitante.

Análisis de suelo

El Cuadro 3 muestra el resultado del análisis de nitrógeno disponible en el suelo previo a la siembra, considerando la suma de N en las formas de amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-).

Cuadro 3. Nitrógeno disponible en el suelo antes de siembra analizado a los 40 cm.

N- NO_3	N- NH_4	N-min	N-min (kg N ha ⁻¹)
(ppm)			
73,2	8,3	81,3	211,5

En base al análisis de suelo del Cuadro 3, se desprende que el contenido de N disponible antes de siembra correspondió a un valor alto (211,5 kg N ha⁻¹). Además, considerando que la eficiencia de absorción es baja en los estados iniciales del trigo, la cantidad real de N antes de siembra (observada en el Cuadro 3) se puede suponer como suficiente para satisfacer la demanda del cultivo en estados tempranos.

Sin embargo, al no contar con el dato de contenido de N en el suelo al momento de la siembra, se asumió un valor para el suministro por parte del suelo en base a la suma de dos componentes que interfieren en el valor del N mineralizado: el N de los componentes resistentes de las rotaciones anteriores (trigo-raps-avena) con un valor de 60 kg N ha⁻¹, y el N de la fracción lábil del cultivo anterior (avena), con un valor de 10 kg N ha⁻¹. Sumando ambas entradas, se estimó un aporte de 70 kg N ha⁻¹ (Rodríguez et al., 2001).

De esta manera, el valor del suministro de suelo utilizado para calcular la dosis de N fue de 70 kg N ha⁻¹, el cual fue considerablemente menor al valor obtenido en el laboratorio (211,5 kg N ha⁻¹). Sin embargo, es importante considerar que ese valor puede fluctuar dependiendo de las condiciones de precipitación, dado que al corresponder a un elemento móvil en el suelo, la probabilidad que este componente sea lavado o lixiviado a capas inferiores es alta, y que por tanto el valor entregado en el análisis de suelo corresponde a una fotografía momentánea del estado nutricional del mismo. Además, de estar influenciada por procesos tales como la mineralización de la materia orgánica del suelo y de los residuos de cultivos anteriores, junto con la nitrificación del amonio liberado (Cabrera, 2007).

Contenido de agua del suelo

En la Figura 4, se muestra el contenido de agua del suelo registrado durante el desarrollo del cultivo, junto con los eventos fenológicos más importantes y los riegos aplicados.

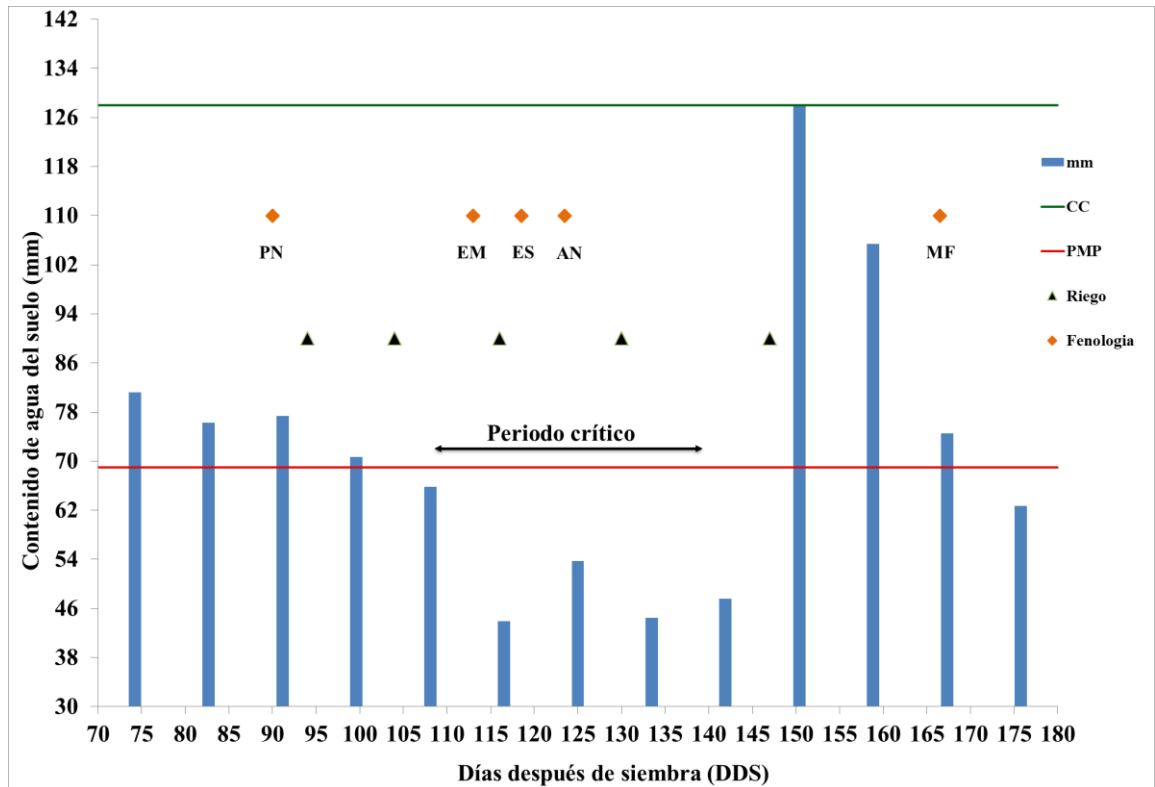


Figura 4. Contenido de agua del suelo en relación a los DDS. ♦ Evento fenológico: primer nudo (PN), embuche (EM), espigadura (ES), anthesis (AN) y madurez fisiológica (MF). ▲ Riegos aplicados.

Utilizando las mediciones del contenido de humedad del suelo a través de la sonda FDR, se obtuvieron puntos de humedad en diferentes estados fenológicos del cultivo. Sin embargo, la calibración de la sonda no se efectuó en campo, por tanto las mediciones con este instrumento no fueron usadas para calcular las necesidades de riego. Pese a eso, se utilizó el valor más alto de las mediciones de contenido de humedad del suelo para asumirlo como el valor a capacidad de campo (C. de C.), el cual fue de 128 mm, y corresponde además al contenido de agua después de 48 horas de haber aplicado el riego. Con ese valor y utilizando la ecuación (6) (Silva et al., 2000) se estimó un valor de 69 mm para contenido de agua en punto de marchitez permanente (P.M.P.).

$$(6) \quad \text{P.M.P.} = \frac{\text{C. de C.}}{1,85}$$

A modo de usar una referencia en los valores de C. de C. y P.M.P. para el suelo estudiado, se consideró a Martínez et al. (2008) y Cerda et al. (2015) quienes trabajaron en el mismo suelo, bajo un sistema de labranza tradicional y trigo regado. Martínez et al. (2008) encontró que C. de C. y P.M.P. correspondieron a 25 y 12 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, respectivamente. Así mismo, Cerda et al. (2015) halló que la C. de C. y P.M.P. correspondió a 22,5 y 10,4 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ en los primeros 30 cm profundidad. De esta forma, promediando los valores encontrados por Martínez et al. (2008) y Cerda et al. (2015), el contenido volumétrico para C. de C. es de 23,8 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, mientras que para P.M.P. fue de 11,2 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. Por consiguiente, ajustando las mediciones de contenido de agua según profundidad de suelo (1 m) y pedregosidad (50%), se obtuvo un valor de 122 mm para C. de C. y 58 mm en P.M.P., datos cercanos a los utilizados en este ensayo para suponer el valor de C. de C. y P.M.P.

De esta forma, en la Figura 4 se observa que entre los 100 y 145 DDS el contenido de agua del suelo estuvo por debajo del P.M.P., coincidiendo con el periodo crítico del cultivo.

Fischer (1985) señala que durante el periodo crítico del cultivo, el cual se extiende entre los 20 días previos a la antesis hasta 10 días después, no puede existir ningún tipo de estrés dado que se define el número de grano y por tanto el rendimiento. De esta forma, en este ensayo se puede especular que el cultivo estuvo sometido a un estrés hídrico. Además, Fischer (1985), agrega que a partir de la emergencia de la espiga (entre embuche y espigadura), en medios ambientes mediterráneos, la demanda evapotranspirativa del cultivo se incrementa rápidamente, acentuando aún más la extracción de agua en ese periodo.

Fenología

En relación a la fenología, no se presentaron diferencias visuales en ninguna de las dos variedades. Ambas presentaron eventos de desarrollo de forma sincronizada durante todas las etapas de crecimiento, lo mismo se vio entre los tratamientos. Por lo que las distintas dosis de nitrógeno aplicadas a los diferentes tratamientos no tuvieron un efecto en la fenología. Contrario a esto, Gomara (2012) y Fois et al. (2009), determinaron que a mayor dosis de fertilización nitrogenada mayor fue el periodo desde siembra a antesis, bajo condiciones de clima mediterráneo y riego.

Biomasa, rendimiento y componentes de rendimiento

Se midió el número de plantas m^{-2} en ambas variedades. En Llareta-INIA el promedio fue de 240 plantas m^{-2} y en Corcolén-INIA de 259 plantas m^{-2} , datos que reflejan un buen establecimiento de plantas.

Al realizar el análisis combinado de varianza para el rendimiento y sus componentes (Apéndices II) no se encontró interacción significativa entre tratamiento x variedad para biomasa, rendimiento, IC y granos m^{-2} . Sin embargo, para el PS1000 ($p \leq 0,01$), espigas m^{-2} ($p \leq 0,05$) y granos espiga⁻¹ ($p \leq 0,05$) la interacción si fue significativa.

Por otro lado, el análisis de varianza entre los tratamientos sólo fue significativo para biomasa ($p \leq 0,05$), mientras que en el caso de las variedades éstas presentaron un comportamiento estadísticamente distinto sólo en el PS1000 y en el IC ($p \leq 0,05$). De esta forma, al ser rendimiento la variable de medición más importante y no presentar diferencias significativas entre variedades, el análisis de comparación de medias para los tratamientos fue realizado utilizando ambas variedades en su conjunto.

En el Cuadro 4 se presentan las comparaciones de medias para biomasa, rendimiento y sus componentes.

Cuadro 4. Análisis de comparación de medias para variables de biomasa, rendimiento y componentes de rendimiento.

	Biomasa	Rendimiento	Componentes de rendimiento					
			(Kg ha ⁻¹)	IC	PS 1000 (g)	Granos m ⁻²	Esp m ⁻²	Granos esp ⁻¹
Variedad								
Llareta-INIA	19075 a	6233 a	0,31 a	59,6 a	10499 a	442 a	24 a	
Corcolén-INIA	20550 a	6681 a	0,36 b	63,2 b	10597 a	458 a	24 a	
Tratamiento								
T1 0 ¹ -0 ² -0 ³	19468 a	5932 a	0,33 a	61,8 a	10301 a	413 a	22 a	
T2 60-0-0	20340 a	6102 a	0,34 a	60,1 a	11145 a	421 a	22 a	
T3 120-0-0	23300 b	6274 a	0,32 a	60,8 a	11919 a	431 a	23 a	
T4 180-0-0	20710 a	6374 a	0,30 a	61,3 a	9941 a	447 a	24 a	
T5 0-180-0	17025 a	6519 a	0,40 a	60,7 a	10770 a	460 a	25 a	
T6 60-120-0	18389 a	6588 a	0,37 a	62,7 a	10447 a	467 a	25 a	
T7 120-60-0	18993 a	6645 a	0,32 a	62,1 a	9556 a	467 a	25 a	
T8 80-120-40	20277 a	7224 a	0,32 a	61,7 a	10308 a	496 a	25 a	
C.V. (%)	14,8	17,6	18,3	4,1	16,9	12,6	15,2	

Letras distintas en sentido vertical representan diferencias significativas de acuerdo al test de DGC ($p \leq 0,05$).

1-2-3: parcialización de nitrógeno en siembra – primer nudo – embuche respectivamente.

C.V.: Coeficiente de variación.

En relación al Cuadro 4 sólo se encontró diferencias significativas entre tratamientos para biomasa (kg ha⁻¹), siendo T3 el que tuvo un mayor valor en comparación al resto de los tratamientos. Cabe destacar que en los primeros tres tratamientos, es posible observar un aumento paulatino de la biomasa producto del aumento en la dosis de fertilización en siembra, tal como era de esperar, pese a que el análisis de comparación de medias en general, no mostró diferencias significativas. Sin embargo, esta tendencia no se observó para el T4, a pesar que tuvo la mayor dosis de fertilización aplicada en siembra.

Continuando con la evaluación de la biomasa en los tratamientos que recibieron la mayor dosis de N parcializada (T4, T5, T6 y T7), se observó que no presentaron diferencias estadísticas entre ellos, presumiblemente debido a la limitante hídrica ocurrida durante el periodo crítico.

Del rendimiento se observa que no existen diferencias significativas entre tratamientos. Es decir, en aquellos tratamientos que recibieron la aplicación de N únicamente en siembra (T1, T2, T3, T4), completamente en primer nudo (T5), parcializado en siembra y primer nudo (T6 y T7), así como el que recibió la parcialización en siembra, primer nudo y embuche (T8), presentaron una respuesta similar en términos estadísticos. Sin embargo, se observa una clara tendencia en aumento del rendimiento junto con el incremento de la dosis y la parcialización de N.

Por otra parte, los valores promedios de número de espigas m^{-2} , granos espiga $^{-1}$, el PS1000g fue de 450, 24 y 61, respectivamente. Según Mellado (2007) los trigos invernales (cuyas dosis de N se mueven en el rango de 150 a 160 kg N ha^{-1} , distribuidos 1/3 a la siembra y 2/3 a la macolla) obtienen valores de 551 espigas m^{-2} , 32 granos espiga $^{-1}$ y un PS1000g de 43. En las variedades de trigo candeal Llaretta-INIA y Corcolén-INIA, Gomara (2012) encontró un promedio de 535 espigas m^{-2} , 27 granos espiga $^{-1}$, y un PS1000 g de 54. Si comparamos los datos de estos autores con los encontrados para este ensayo, se puede inferir que el estrés hídrico presentado durante el periodo crítico del cultivo, afectó el número flores viables, disminuyendo de esta forma la cantidad de granos producidos. Sin embargo, el PS1000g refleja un valor alto (61) dado que posterior al período crítico la condición hídrica mejoró, lo que contribuyó a una mayor acumulación de materia seca en el grano.

En cuanto a los granos m^{-2} se puede señalar que tal como se mencionó no presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos, ni tampoco se observa una tendencia cualitativa con el aumento de dosis de N en siembra ni con la parcialización de N.

El valor promedio de IC obtenido fue de 0,33, siendo T5 y T6 los que presentaron los mayores valores (0,40 y 0,37, respectivamente). Estos valores se encuentran por debajo al valor 0,46 característico de la especie (Gomara, 2012; Mellado, 2007).

Las variedades fueron similares en la mayoría de las variables analizadas. Sólo se diferenciaron en el IC y PS1000 granos, donde Corcolén-INIA tuvo los mayores valores (0,36 y 63,2 respectivamente) en comparación a Llaretta-INIA (0,31 y 59,6 respectivamente).

Biomasa en primer nudo

En base al análisis combinado de varianza, no hubo interacción entre tratamiento y variedad, ni hubo diferencias significativas entre las variedades (Apéndice II). De esta forma, el análisis de comparación de medias para los tratamientos fue realizado utilizando ambas variedades en su conjunto. Además, los tratamientos presentaron diferencias estadística significativas ($p \leq 0,05$) (Cuadro 5).

En el cuadro 5 se muestra el análisis de comparación de medias para biomasa (kg ha^{-1}) obtenida en primer nudo en los primeros cuatro tratamientos.

Cuadro 5. Análisis de comparación de medias para biomasa en primer nudo.

Tratamiento	Dosis de nitrógeno	Biomasa
	(kg ha^{-1})	
T1	0 ¹ -0 ² -0 ³	282 a
T2	60-0-0	306 a
T3	120-0-0	379 b
T4	180-0-0	395 b
	C.V. (%)	11,3

Letras distintas en sentido vertical representan diferencias significativas de acuerdo al test de DGC ($p \leq 0,05$).

1-2-3: parcialización de nitrógeno siembra – primer nudo – embuche, respectivamente.

C.V: Coeficiente de variación.

Del Cuadro 5 se extrae que T1 y T2 presentaron los niveles más bajos de biomasa, mientras que T3 y T4 los valores más altos. Los tratamientos 1, 2, 3 y 4 fueron contruidos para generar diferentes tasas de cobertura vegetal, dado que toda la dosis de N fue aplicada en siembra. Cabrera-Bosquet et al. (2009) y Fois et al. (2009) explican que a mayor disponibilidad de nitrógeno en la planta, se incrementa la cantidad de clorofila, aumentando de esta forma la actividad fotosintética de las hojas e induciendo una mayor producción de biomasa.

Contenido de proteína en el grano

Para el contenido de proteína en el grano, el análisis combinado de varianza no mostró interacción significativa entre la variedad y el tratamiento. Tampoco se presentaron diferencias estadísticas entre las variedades, observándose solamente diferencias entre tratamientos (Apéndice II), por lo que el análisis de comparación de medias para los tratamientos fue realizado utilizando ambas variedades en su conjunto.

En el Cuadro 6 se observan las medias de comparación para el contenido de proteína en el grano.

Cuadro 6. Análisis de comparación de medias entre tratamientos para contenido de proteína en grano (%).

Tratamiento	Dosis de nitrógeno (kg ha ⁻¹)	Proteína (%)
T1	0 ¹ -0 ² -0 ³	10,0 a
T2	60-0-0	11,5 a
T3	120-0-0	11,7 a
T4	180-0-0	12,5 b
T5	0-180-0	13,7 b
T6	60-120-0	13,2 b
T7	120-60-0	13,0 b
T8	80-120-40	14,2 b
	C.V. (%)	11,3

Letras distintas en sentido vertical representan diferencias significativas de acuerdo al test de DGC ($p \leq 0,05$).

1-2-3: parcialización de nitrógeno en siembra – primer nudo – embuche, respectivamente.

C.V.: Coeficiente de variación.

Con respecto al Cuadro 6, los tratamientos con las dosis de N aplicada en la siembra (T1, T2 y T3) presentaron los valores más bajo en contenido de proteína en el grano, cuyo promedio fue de 11%, mientras que en T4 presentó un valor estadísticamente igual a los tratamientos con parcialización de N (T5, T6, T7 y T8). En ese aspecto, se obtiene que la dosis de 180 kg de N ha⁻¹, aplicada en siembra (T4) tuvo igual respuesta que los tratamientos con igual dosis de N pero parcializada en siembra y primer nudo (T5, T6 y T7), los cuales presentaron los contenidos más altos de proteína en grano, promediando un valor de 13,4%.

Por lo que la parcialización no tuvo un efecto en incrementar la proteína en grano en T4, T5, T6 y T7.

Sin perjuicio de que se observa una diferencia entre los tratamientos con y sin parcialización de N, cabe mencionar que es posible visualizar un incremento en el contenido de proteína en grano (%) a medida que aumenta la fertilización de N.

Por tanto, se puede especular que la parcialización del N tuvo un efecto positivo en la acumulación de proteína en grano en relación al tratamiento que recibió sólo la aplicación en siembra. Conclusiones similares se obtuvieron en Gomara (2012) y López-Bellido et al. (2004), quienes observaron que a mayor dosis de fertilizante nitrogenado, mayor fue el contenido de proteína en grano, incluso con dosis que no tuvieron un efecto positivo en el incremento del rendimiento.

Es importante considerar que el porcentaje de proteína en el grano es muy relevante para el agricultor, puesto que la agroindustria de pastas y fideos, requiere como mínimo un nivel de 10% de proteína en grano para alcanzar la fuerza y resistencia en la elaboración de las pastas, y de esta forma mantener la textura, consistencia y apariencia durante la cocción. Sin embargo, la bonificación comienza desde el 12% (Acevedo y Silva, 2007), por lo que muchos realizan aplicaciones de N después de elongación de tallo con el objeto de aumentar el contenido de proteína en el grano (Altman et al., 1983 y Fisher et al., 1993). En ese sentido, para este ensayo, T4, T5, T6, T7 y T8 lograron superar el nivel mínimo de proteína requerido para optar a la bonificación.

Cobertura vegetal (%)

El análisis combinado de varianza (Apéndice II) muestra que no existe interacción significativa entre los tratamientos y las variedades para el componente cobertura vegetal, tanto en primer nudo como en embuche. De esta forma, el análisis de comparación de medias para los tratamientos fue realizado utilizando ambas variedades en su conjunto.

En el Cuadro 7 se presentan las medias de comparación para cobertura vegetal (%) en los estados de primer nudo y embuche.

El análisis entre los tratamientos, tanto en primer nudo como en embuche, no mostró diferencias significativas, mientras que las variedades sólo en el estado de embuche tuvieron un comportamiento estadísticamente distinto ($p \leq 0,05$).

Cuadro 7. Comparación de medias entre tratamientos para los valores de cobertura vegetal (%) analizados en los estados de primer nudo y embuche.

	Dosis de nitrógeno (kg ha ⁻¹)	Cobertura vegetal (%)	
		primer nudo	embuche
Variedad			
Llaretá-INIA	–	95 a	98 b
Corcolén-INIA	–	94 a	95 a
Tratamiento			
T1	0 ¹ -0 ² -0 ³	95 a	97 a
T2	60-0-0	93 a	98 a
T3	120-0-0	94 a	95 a
T4	180-0-0	94 a	96 a
T5	0-180-0	95 a	95 a
T6	60-120-0	94 a	96 a
T7	120-60-0	95 a	98 a
T8	80-120-40	96 a	98 a
	C.V. (%)	4,07	3,08

Letras distintas en sentido vertical representan diferencias significativas de acuerdo al test de DGC ($p \leq 0,05$).

1-2-3: parcialización de nitrógeno en siembra – primer nudo – embuche, respectivamente.

C.V.: Coeficiente de variación.

Es posible evidenciar en el Cuadro 7 que la cobertura vegetal estimada a través de las imágenes procesadas con el programa *Canopy Cover*, no presentaron diferencias estadísticas en ninguno de los estados evaluados. De esta manera, no se observó el efecto esperado, tanto de la dosis como de la parcialización de N, sobre el aumento de la cobertura vegetal en los estados fenológicos analizados.

Además, del Cuadro 7 se desprende que las coberturas vegetales en el estado de embuche son mayores a las obtenidas en primer nudo, tal como era de esperar. Sin embargo, esta diferencia no es relevante, dado que en ambos estados se observan coberturas vegetales similares, no presentándose el desarrollo esperado de cobertura vegetal conforme al avance en el crecimiento del cultivo.

Por otra parte, al analizar el comportamiento de las variedades, sólo en el estado de embuche, Llaretá-INIA generó un mayor porcentaje de cobertura vegetal (98%) en comparación a Corcolén-INIA (95%).

Comparación de las cámaras fotográficas

Se realizó una comparación entre la CC estimada a partir del índice espectral $SAVI_{green}$, considerando en la regresión lineal tanto los datos obtenidos en el estado de primer nudo como de embuche.

La figura 5 muestra la relación existente entre las estimaciones de cobertura vegetal (%) realizadas a partir de las imágenes digitales capturadas con la cámara 1 (Panasonic Lumix FxS) y la cámara 2 (Fujifilm finepix s2000HD).

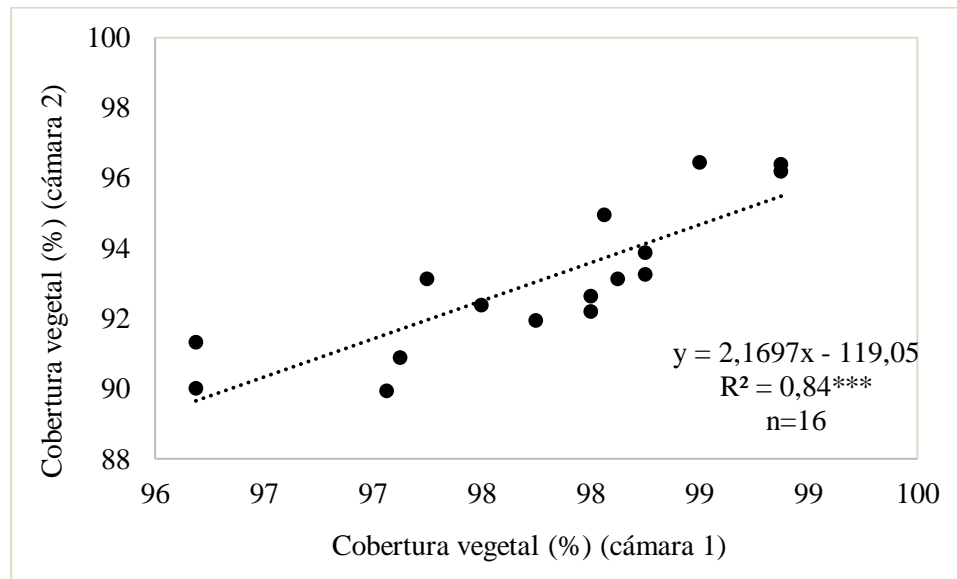


Figura 5. Regresión lineal entre los valores de cobertura vegetal estimados a través de los dispositivos Panasonic Lumix FxS (cámara 1) y Fujifilm finepix s2000HD (cámara 2). *** $p \leq 0,05$; n: número de muestras.

En la Figura 5 se observa que la correlación existente entre ambas cámaras es estadísticamente significativa, presentado un error estándar (RMSE) de 4×10^{-5} para un $p \leq 0,05$, cuyo ajuste lineal generó un coeficiente de determinación de un 84%. Li, et al. (2010) por su lado, al realizar un ajuste lineal entre las cámaras analizadas, encontró un valor para el coeficiente de determinación correspondiente a un 98%.

Relación entre cobertura vegetal (%) y rendimiento (kg ha⁻¹)

En la Figura 6 se observa la regresión existente entre la cobertura vegetal (%) y rendimiento del cultivo (kg ha⁻¹), medida tanto en primer nudo como en embuche.

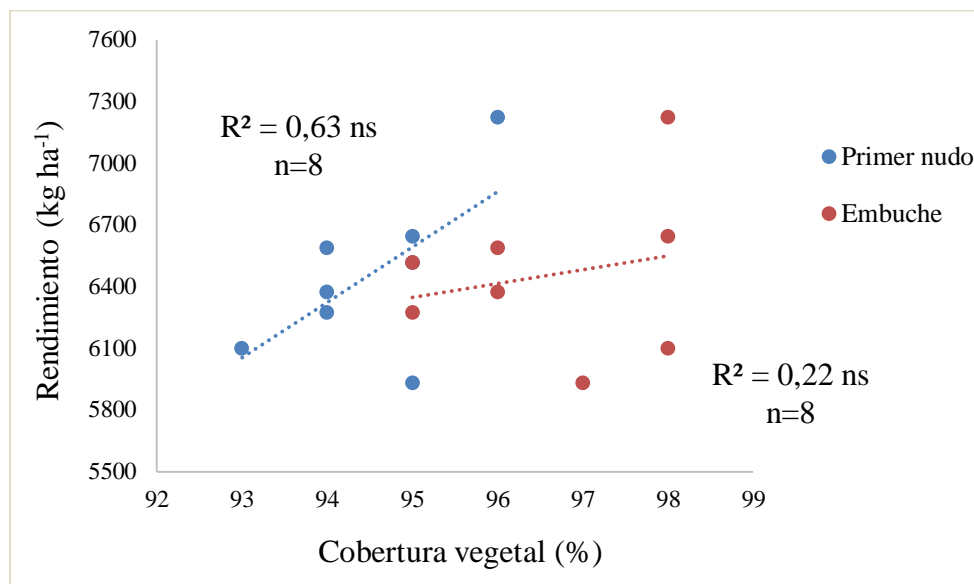


Figura 6. Regresión entre la cobertura vegetal (%) versus rendimiento (kg ha⁻¹).
ns: no significativo; n: número de muestras.

De la Figura 6 se observa que la correlación existente entre la cobertura vegetal (%) y el rendimiento no es estadísticamente significativa para el estado de primer nudo y embuche, ya que el error estándar para ambos casos fue de 0,09 y 0,6 respectivamente, para un $p \leq 0,05$, en donde el ajuste lineal en cada caso generó un coeficiente de determinación de 63% y 22% para cada una. Por consiguiente, se observó que la cobertura vegetal (%) en ambos estados presentó valores similares, debido por un lado al efecto del alto contenido de N en el suelo, que indujo un mayor desarrollo vegetativo en los estados iniciales del cultivo, y por otro, a la alta luminosidad presente al momento de capturar las imágenes digitales lo que influyó en la obtención de valores sobrestimados de cobertura vegetal. De esta manera, pese a que hubo un aumento en la cobertura generada desde primer nudo a embuche, este no fue importante puesto que el cultivo en estado temprano ya había alcanzado coberturas mayores al 93%.

Por lo tanto, considerando que tanto en rendimiento como en CC no se obtuvieron diferencias significativas para los tratamientos, la relación entre ambas variables no fue importante en ninguno de los estados fenológicos analizados.

Valores SPAD

En el análisis combinado de varianza (Apéndice II) se observó que para el estado de primer nudo y embuche, la interacción tratamiento x variedad no fue significativa. Por tanto, el análisis de comparación de medias de los tratamientos fue efectuado considerando ambas variedades en su conjunto. Además, tanto los tratamientos como las variedades en el estado de primer nudo no presentaron diferencias estadísticas, mientras que en embuche sí se observaron diferencias significativas en los tratamientos ($p < 0,05$) y las variedades ($p \leq 0,05$).

En el Cuadro 8, se describen las medias obtenidas de la comparación múltiple para los valores de SPAD en los estados de primer nudo y embuche, según variedad y tratamiento.

Cuadro 8. Valores medios obtenidos de las mediciones SPAD en los estados de primer nudo y embuche, según tratamiento y variedad.

	Nitrógeno (kg ha⁻¹)	SPAD primer nudo	SPAD embuche
Variedad			
Llaretá	–	42,9 a	49,7 a
Corcolén	–	42,9 a	51,2 b
Tratamiento			
T1	0 ¹ -0 ² -0 ³	41,9 a	47,3 a
T2	60-0-0	42,2 a	48,3 a
T3	120-0-0	42,6 a	49,0 a
T4	180-0-0	42,9 a	49,4 a
T5	0-180-0	43,0 a	50,6 b
T6	60-120-0	43,3 a	52,1 b
T7	120-60-0	43,3 a	52,2 b
T8	80-120-40	43,7 a	54,5 c
	C.V.	3,45	3,21

Letras distintas en sentido vertical representan diferencias significativas de acuerdo al test de DGC ($p \leq 0,05$).

1-2-3: parcialización de nitrógeno en siembra – primer nudo – embuche, respectivamente.

CV: Coeficiente de variación.

En base al Cuadro 8 se observa que en el estado de primer nudo los valores SPAD no presentaron diferencias significativas entre tratamientos. Es decir, que tanto la dosis como la parcialización de N no tuvieron influencia en los valores obtenidos para SPAD. Sin embargo, se observa un aumento de los valores SPAD al aumentar la dosis y parcialización de N.

En el estado de embuche, los tratamientos presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Del Cuadro 8 se desprende que la dosis de N aplicada en siembra (T1, T2, T3 y T4) no presentó diferencias estadísticas significativas, sin embargo se observa un aumento del valor SPAD a mayores aplicaciones de N en siembra. Lo mismo ocurrió entre variedad Además, el efecto de la parcialización de N (T4, T5, T6, T7 y T8) mostró diferencias significativas presentando mayores valores SPAD en comparación al tratamiento que sólo recibió la fertilización en siembra.

En relación a la dosis total de N aplicada en el cultivo, cabe señalar las diferencias encontradas entre T4, T5, T6 y T7, puesto que estos tratamientos recibieron la misma dosis total de N (180 kg N ha^{-1}). Al respecto, se observa un aumento del valor SPAD al existir aplicación de N en primer nudo (T5, T6 y T7), en comparación a T4 en el cual la dosis de N fue aplicada completamente en siembra. Además, se observa que la parcialización de N posee un efecto positivo sobre el valor SPAD obtenido en los tratamientos fertilizados tanto en siembra como en primer nudo (T6 y T7), sin embargo, estos tratamientos no presentaron diferencias significativas respecto de T5, el cual recibió la dosis de N únicamente en primer nudo.

Además, es posible visualizar de manera general que en la medida que se incrementó la dosis de N aplicada, mayor fue el valor SPAD. En concordancia con lo señalado, el T8 presenta el mayor valor SPAD respecto de los demás tratamientos ya que recibió la mayor dosis total de N (200 kg N ha^{-1}) considerado la parcialización de N realizada hasta primer nudo.

Comparando ambos estados, los valores SPAD medidos en embuche fueron más altos que los encontrados en primer nudo. Además, en primer nudo se observa la tendencia que a medida que aumenta la dosis de N mayor es el valor SPAD. En embuche, se observa esta misma tendencia presentando además, diferencias significativas.

Las variedades presentaron diferencias significativas sólo en el estado de embuche, siendo Corcolén-INIA la que obtuvo los valores más altos de SPAD en comparación a Llaretá-INIA.

Relación entre valores SPAD y rendimiento

Considerando que los valores SPAD son una estimación del contenido de clorofila en la hoja y que mientras más alto sea el dato obtenido mayor será la capacidad fotosintética de la hoja (Uddling et al., 2007; Chen et al., 2010; Cartelat et al., 2005), se realizó un análisis de correlación entre el rendimiento y los valores SPAD obtenidos tanto en primer nudo como en embuche (Figura 7).

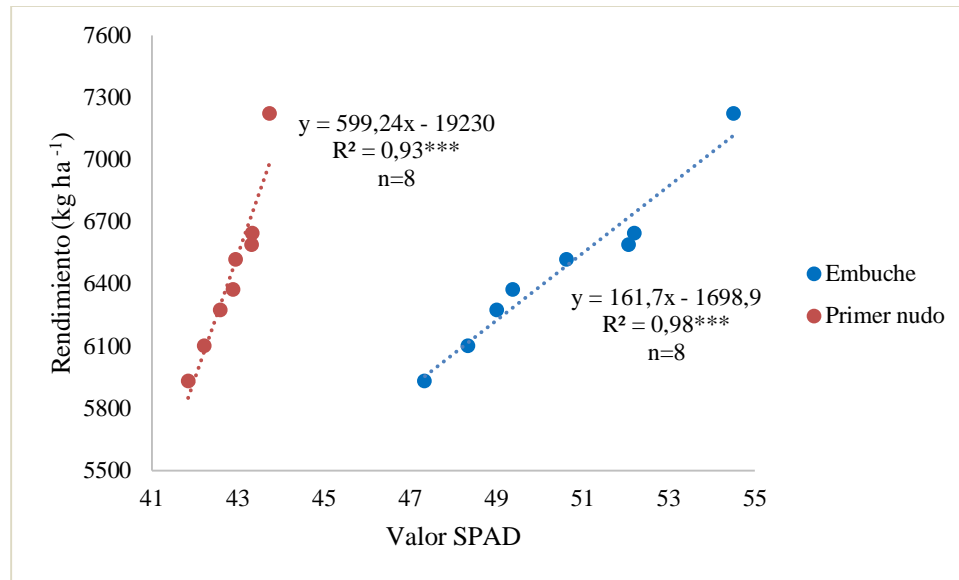


Figura 7. Regresión entre valores SPAD versus rendimiento (kg ha⁻¹)

*** $p \leq 0,05$; n: número de muestras.

Tal como era de esperar se obtuvo una relación estadísticamente significativa entre rendimiento y SPAD medido en primer nudo y embuche, presentado un error estándar de $7,5 \times 10^{-4}$ y $1,4 \times 10^{-5}$, respectivamente, para un $p \leq 0,05$ en ambos casos. Sin embargo, se presentó un mejor ajuste en la regresión realizada en embuche con un valor $R^2=0,98$, en comparación a primer nudo ($R^2=0,93$).

Relación entre valores SPAD y cobertura vegetal (%)

Se realizó una relación entre los valores SPAD y la cobertura vegetal (%), ambas variables medidas tanto en primer nudo como en embuche (Figura 8). De este análisis se obtuvo una relación no significativa ($p \leq 0,05$) entre las variables relacionadas para ambos estados fenológicos, presentando un error estándar de 0,11 en primer nudo y 0,61 en embuche, obteniéndose valores R^2 de 0,6 y 0,21 para primer nudo y embuche respectivamente.

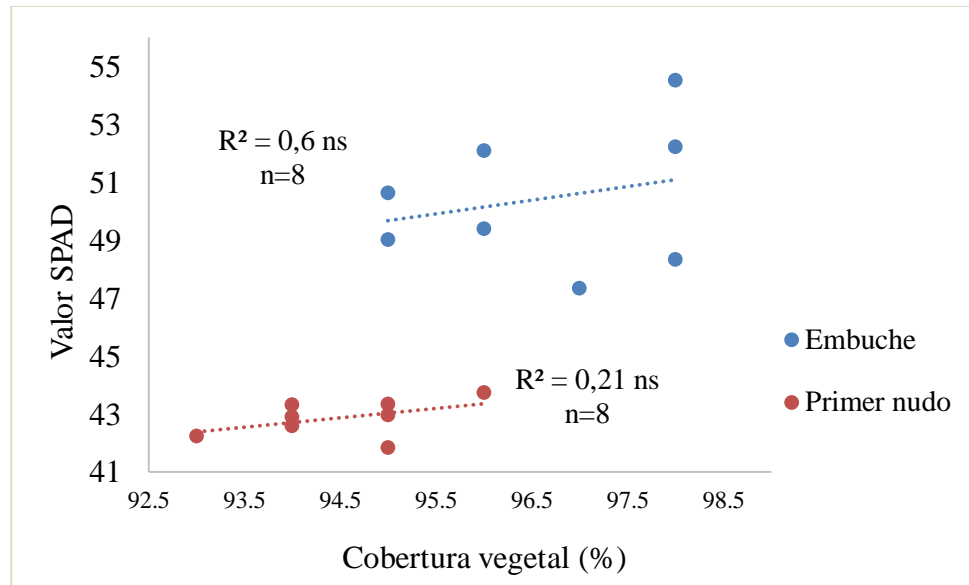


Figura 8. Regresión entre la cobertura vegetal (%) versus los valores SPAD.
ns: no significativo; n: número de muestras

De la Figura 8, pese a que la correlación no es estadísticamente significativa, se puede apreciar las coberturas vegetales en primer nudo se relacionan a menores valores SPAD, en cambio en el estado de embuche se aprecian mayores valores tanto de cobertura vegetal como de SPAD.

DISCUSIÓN

Se aplicaron distintas dosis y parcialización de N para evaluar su efecto en la cobertura vegetal, rendimiento, biomasa y contenido de proteína en grano. Sin embargo, el comportamiento generalizado de los resultados obtenidos no mostró diferencias en biomasa, rendimiento y cobertura vegetal. Es posible atribuir esta circunstancia a ciertas condiciones preponderantes del ensayo que habrían diluido el efecto esperado de los tratamientos.

Respecto de la dosis y parcialización de N aplicada, se esperaba que para ambas variedades, T1 presentara diferencias contrastantes en términos de biomasa y rendimiento respecto de T8, lo cual no se observó (Cuadro 4). El resultado esperado en este ensayo sí se vio reflejado en la experiencia de Gomara (2012), quien, empleando los mismo tratamientos, obtuvo el valor más bajo de biomasa y rendimiento en T1, mientras que los mayores valores se lograron en T3, T4, T5, T6, T7 y T8, aunque sin presentar diferencias estadísticas entre estos, por lo tanto, este autor observó, al igual que para este ensayo, que una mayor dosis de N total no necesariamente provoca un aumento significativo en los rendimientos.

En cuanto al rendimiento no se obtuvieron diferencias significativas, lo cual puede ser atribuido al alto contenido de N disponible en el suelo en pre-siembra (Cuadro 3). Al respecto, el cultivo pudo absorber suficiente N en los estados iniciales de crecimiento, permitiendo así la obtención de un rendimiento promedio en el tratamiento sin aplicación de N de 6.457 kg ha^{-1} (Cuadro 4). Esta influencia del alto contenido de N en el suelo también se observó en Pinilla y Herrera (2008), quienes al trabajar con dosis de fertilización tardía y evaluar el aspecto de la calidad panadera del trigo, no registraron diferencias en el rendimiento con dosis totales de 200 y 230 kg N ha^{-1} , considerando que en su análisis de suelo el suministro indicó un valor de 120 kg N ha^{-1} , valor considerado suficiente para satisfacer la demanda estimada del cultivo. En este sentido, cabe destacar lo que mencionan Arregui et al. (2006) en relación a la recomendación general en el cálculo de dosis de N del cultivo, donde es importante como estrategia de fertilización, contar con el análisis de suelo antes de siembra por un lado, y por otro, parcializar la dosis total de N en el cultivo, como una manera de incrementar la EUN.

Cabe mencionar que para este ensayo, la condición hídrica fue un factor limitante, debido a que el riego no suministró la cantidad de agua suficiente para suplir las necesidades hídricas del cultivo. De esta manera, se produjo un estrés hídrico durante el periodo crítico del cultivo (Figura 4), provocando un bajo número de granos promedio por espiga (24), no expresándose el aumento de rendimiento ante mayores dosis o parcializaciones de N. La disminución en el número de granos se debe según Ercoli et al. (2008) a que una menor disponibilidad de agua afecta tanto la fecundación de flores como la tasa de llenado del grano, disminuyendo por tanto el rendimiento en grano.

Por otro lado, Ercoli et al. (2008) señalan que el estatus de N en la planta puede modificar la tolerancia al estrés hídrico, por lo que plantas con altas aplicaciones de N

son más sensibles que aquellas que reciben una menor cantidad de este elemento. En relación con esto, la investigación realizada por estos autores señala que plantas no fertilizadas disminuyen la demanda de agua, bajando la tasa de transpiración superficial de la hoja, aumentando la capacidad de absorción de N en el cultivo puesto que existe un incremento en la masa radicular. De esta manera se puede especular, que los tratamientos con menores dosis de N total fueron influenciados en menor medida por el estrés hídrico, mientras que en los tratamientos con mayores dosis de N, el rendimiento del grano se vio mayormente afectado, lo cual podría explicar para este ensayo que no se generaran diferencias significativas en el rendimiento para los distintos tratamientos.

Para el contenido de proteína en el grano, se observan diferencias entre las dosis y parcializaciones de N (Cuadro 6). En relación a esto, T1, T2 y T3 no presentaron diferencias estadísticas pero si es posible observar un aumento paulatino en el contenido de proteína de grano a medida que aumenta la dosis de N. Por su parte, en T4, T5, T6 y T7 la acumulación de proteína en el grano fue estadísticamente mayor que en los primeros tres tratamientos, debido al aumento de dosis de N aplicado en siembra (T4), a la aplicación de N en primer nudo (T5) y al efecto de la parcialización de N en siembra y primer nudo (T6 y T7), tal como se observó en Gomara (2012). De esta forma, tanto la dosis como el momento de aplicación tienen un efecto sobre la proteína en el grano.

En relación a lo anterior, en T8 se presentó el valor más alto de contenido de proteína en el grano, con un 14,2%, considerando que correspondió al único tratamiento con una aplicación en el estado de embuche (40 kg N ha^{-1}), en concordancia a lo señalado por Acevedo et al. (2002) y, Quemada y Diez (2007) los cuales indican que aplicaciones de N después de la elongación del tallo van a producir un aumento en el contenido de proteína en grano. Según Silva et al. (2007), en la medida que aumenta la disponibilidad de nitrógeno del suelo, la respuesta del rendimiento y proteína en grano cambian, teniendo relevancia sobre el incremento del rendimiento, pero un mayor impacto sobre la acumulación de proteína en grano.

Muchos autores han encontrado que la contribución relativa al rendimiento del grano, viene dada por la relación entre la asimilación y removilización del N durante el llenado de grano (Kobata et al., 1992; Palta et al., 1994; Yang et al., 2000; Xu et al., 2006). En ese sentido, en el trigo panadero, se ha evidenciado que la removilización de las reservas de N y C en la planta, compensan parcialmente la disminución en la asimilación de N debida al estrés hídrico (Kobata et al., 1992; Palta et al., 1994; Yang et al., 2000; Xu et al., 2006). De esta manera se puede inferir en relación a la proteína en el grano, que las diferencias estadísticas observadas se deben presumiblemente debido a que el N absorbido en pre-antesis contribuyó al llenado de grano debido a la removilización del N en post-antesis (Van Herwaarden et al., 1998 a, b). Además, Ercoli et al. (2008) indican que el aumento en la concentración de N en el grano, bajo condiciones de estrés hídrico durante el llenado de grano, se ha atribuido a una mayor sensibilidad en la depositación del almidón bajo estrés hídrico comparada con la depositación de proteína, reflejo de un aumento en el contenido de N en desmedro de los carbohidratos en el grano.

En relación a la cobertura vegetal (%), no existen diferencias significativas entre tratamientos, tanto en el estado de primer nudo como en embuche (Cuadro 7). Una posible razón de este efecto, se debe a que presumiblemente las plantas no tuvieron una limitación de crecimiento en fases iniciales, debido a la alta disponibilidad de N en el suelo (Cuadro 3) y a la no existencia de estrés hídrico antes de primer nudo. Estas condiciones hicieron que los tratamientos, en ambas variedades, presentaran una CC mayor al 90% ya en el estado de primer nudo.

Por otra parte, en relación a la estimación de CC, Jia et al. (2004) encontraron que en la utilización de imágenes digitales la intensidad del verdor detectado por cámaras digitales pueden ser afectadas por varios factores externos como: la reflectancia del suelo, la nubosidad y el ángulo de captura desde el cual ha sido tomada la imagen; tres potenciales errores que pueden afectar la comparabilidad en las mediciones de reflectancia. Posiblemente estos ruidos pueden ser minimizados considerando el control de la intensidad de la luz y la consistencia en el ángulo de vista entre imágenes capturadas, factores que dependen de las condiciones del entorno y de la rigurosidad en el orden de la operación.

En concordancia a lo anterior, se debe considerar que la CC pudo haber sido sobreestimada, debido al efecto de la alta luminosidad en días soleados, que generó una reflexión especular en la hoja denominada como efecto hot-spot (Comar et al., 2012). Por tanto, es posible inferir que se hubieran obtenidos resultados de CC más representativos, considerando una mayor preponderancia para el fenómeno de reflectancia de suelo (L), empleando en la estimación de cobertura un mayor valor de L, en lugar del 0,5 recomendado por Huete (1988). Li et al. (2010) por su lado, también obtuvieron sobreestimación de CC cuando las imágenes capturadas presentaron condiciones de rocío o musgo en hojas o en la superficie del suelo, las que alteraron los resultados obtenidos.

En este ensayo se pudo determinar que la sensibilidad en ambas cámaras empleadas en la captura de imágenes digitales fue distinta, presentando un coeficiente de regresión lineal igual a 0,84, no obteniéndose los mismos valores de porcentaje de cobertura, pese a que las imágenes fueron tomadas captando igual superficie en el cultivo, y bajo las mismas condiciones de exposición a la luz, altura e inclinación de la cámara. Además, cabe señalar que a diferencia de Li et al. (2010) quienes utilizaron un instrumento portátil (*Delta-T Devices Ltd.*) para medir el índice de área foliar y de esta forma validar los valores de CC obtenidos, en este ensayo no se empleó otro método de medición de cobertura vegetal que permitiera realizar esta comparación.

Para Castellarín y Pedrol, (2005) la concentración del nitrógeno de las hojas se relaciona con su contenido de clorofila y esta a su vez con la intensidad de color verde de las hojas (índice de verdor) que puede ser determinado con instrumentos como el Minolta SPAD 502. Cartelat et al. (2005) y Chen et al. (2010), por su parte, indican que al estar correlacionado positivamente los valores SPAD con la concentración de nitrógeno foliar ($R^2=0,7$), este instrumento puede ser utilizado como una herramienta de diagnóstico rápido del estado de N en el cultivo.

En cuanto a los valores SPAD, en embuche estos fueron más altos que los encontrados en primer nudo, lo cual se explica porque la tasa de absorción de N aumenta de forma exponencial a partir del estado de primer nudo (Silva et al., 2011), por tanto el cultivo en estado de embuche ha absorbido una mayor cantidad de N, lo que se refleja en una mayor transmisibilidad de luz en la hoja capturada por el sensor.

En relación a la dosis total de N aplicada en este ensayo, se destacan las diferencias en los valores SPAD generados en T4, T5, T6 y T7, puesto que estos tratamientos recibieron la misma dosis total de N (180 kg N ha^{-1}) pero entregada de forma distinta. Al respecto, se aprecia un aumento del valor SPAD al existir aplicación de N en primer nudo (T5, T6 y T7), en comparación a T4 en el cual la dosis de N fue aplicada completamente en siembra. Así, se observó que tanto la aplicación de N en primer nudo como la parcialización de N poseen un efecto positivo sobre el incremento del valor SPAD. De esta forma, en la medida que se incrementó la dosis de N aplicada, mayor fue el valor SPAD encontrado en la hoja. Por lo tanto, el empleo del instrumento Minolta SPAD permitió capturar la sensibilidad de los tratamientos frente a la acumulación de N en las hojas hasta el estado de embuche, permitiendo tener una idea sobre el contenido de N en el cultivo, pese a la existencia de un alto contenido de N en pre siembra y al estrés hídrico ocurrido en el periodo crítico, que habrían influido que en muchos parámetros, como en el rendimiento, no se observara la tendencia esperada.

En cuanto a las correlaciones presentadas en este ensayo realizadas tanto para el estado de primer nudo como de embuche (rendimiento y cobertura vegetal; rendimiento y valores SPAD; y, valores SPAD y cobertura vegetal), la relación entre rendimiento y valores SPAD en ambos estados, fueron las únicas con significancia estadística. Esta significancia entre rendimiento y valores SPAD también fue observada por Gomara (2012) y Arregui et al. (2006). En relación con estos resultados, cabe señalar lo que menciona Arregui et al. (2006), quienes encontraron que los valores SPAD corresponden a una herramienta útil de estimación del contenido de N en la hoja, y por lo tanto este tipo de instrumentos portátiles podrían utilizarse para la identificación de los tratamientos o de los sitios que respondan a la aplicación de fertilizantes nitrogenados, sin embargo, no serían útiles para cuantificar la dosis de N a aplicar. De esta forma, los valores SPAD podrían permitir incrementar la EUN (Bullock y Anderson, 1998; Arregui et al., 2006), al poder evitar aplicaciones innecesarias del fertilizante.

CONCLUSIONES

La cobertura vegetal (%) estimada a partir del índice espectral $SAVI_{Green}$ mediante el uso de imágenes digitales en el rango óptico, no permitió estimar el rendimiento dado que no se obtuvo una relación cuantitativa significativa entre cobertura vegetal (%) y rendimiento, tanto en el estado de primer nudo como en embuche.

No se obtuvo una relación cuantitativa significativa entre cobertura vegetal (%) y los valores SPAD, en los estados de primer nudo y embuche.

Se obtuvo una relación cuantitativa significativa entre los valores SPAD y el rendimiento, tanto en el estado de primer nudo como en embuche, mostrando ser una herramienta útil de estimación indirecta del contenido de N en el cultivo.

La metodología utilizada para la estimación de cobertura vegetal, junto con las condiciones del ensayo como el alto contenido de N del suelo en pre-siembra y el estrés hídrico durante el periodo crítico del cultivo, diluyeron el efecto de los tratamientos.

Se sugiere investigar variables como luminosidad, reflectancia de la luz, hora de captura y sombra, para mejorar la precisión de la estimación de la cobertura vegetal (%) a partir del índice espectral $SAVI_{green}$ usando imágenes digitales ópticas, ya que puede ser un método de determinación de rendimiento no destructivo, rápido y oportuno.

BIBLIOGRAFÍA

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

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. 39-70 pp.

Altman, D., W. McCuiston and W. Kronstad. 1983. Grain Protein Percentage, Kernel Hardness, and Grain Yield of Winter Wheat with Foliar Applied Urea. *Agronomy Journal* (75):77-91.

Álvarez, R. 2006. Balance de nitrógeno en cultivos de trigo. Información técnica de trigo. Publicación miscelánea N°105 INTA. 35p.

Arregui, L., B. Lasa, A. Lafarga, I. Irañeta, E. Baroja and M. Quemada. 2006. Evaluation of chlorophyll meters as a tools for N fertilization in winter wheat under humid mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy* (24):140-148.

Angus, J., V. Herwaarden and A. Fischer. 1989. Predicting the yield response of wheat to topdressed nitrogen. Proceedings 5th Australian Agronomy Conference. 550p.

Bouman, B. 1992. Linking physical remote sensing models with crop growth simulation models, applied for sugar beet. *International Journal of Remote Sensing* (13): 2565-2581.

Bullock, D.G. and D.S., Anderson. 1998. Evaluation of the minolta SPAD-502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. *Journal of Plant Nutrition* (21):741-755.

Cabrera, M. Junio. 2007. Mineralización y Nitrificación: Procesos claves en el ciclo del nitrógeno. Informaciones Agronómicas del Cono Sur (Bol. Tec. 34). Instituto Internacional de Nutrición de Plantas. Argentina: IPNI. 9p.

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.

Cartelat, A., A. Cerovic, Y. Goulas, S. Meyer, C. Lelarge, J. Prioul, A. Barbotin, M. Jeuffroy, P. Gate, G. Agati and I. Moya. 2005. Optically assessed contents of leaf

polyphenolics and chlorophyll as indicators of nitrogen deficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crops Research* (91): 35-49.

Castellarín, J. y H. Pedrol. 2005. Métodos de diagnóstico para decidir la fertilización en el cultivo de trigo. Disponible en línea:

<<http://www.inta.gob.ar/oliveros/info/documentos/trigo/nutrici%C3%B3n1.pdf>>. Leído el 12 de Junio de 2010.

Cerda, J. 2015. Propiedades físicas de suelo bajo y fuera de la huella del tractor en dos sistemas de labranza. Memoria para obtener el Título de Ingeniero Agrónomo (en desarrollo).

Ciganda, V., A. Gitelson and J. Schepers. 2009. Non-destructive determination of maize leaf and canopy chlorophyll content. *Journal of Plant Physiology* (166): 157-167.

CIREN, CHILE. 1996. Estudios Agrológico VI Región. Santiago, Chile. Centro de Información de Recursos Naturales. 3t., 464 p.

Chen, P., D. Haboudane, N. Tremblay, J. Wang, P. Vigneault and B. Li. 2010. New spectral indicator assessing the efficiency of crop nitrogen treatment in corn and wheat. *Remote Sensing of Environment* (114):1987-1997.

Comar, A., F. Baret, F. Viénot, L. Yan and B. de Solan. 2012. Wheat leaf bidirectional reflectance measurements: Description and quantification of the volume, specular and hot-spot scattering features. *Remote Sensing of Environment* (121): 26-35.

Ercoli, L., L. Lulli, M. Mariotti, A. Masoni and I. Arduini. 2008. Post-anthesis dry matter and nitrogen dynamics in durum wheat as affected by nitrogen supply and soil water availability. *European Journal of Agronomy* (28):138-147p.

Faiguenbaum, H. 2003. Labranza, siembra y producción de los principales cultivos de Chile. Ediciones Ograma. Santiago, Chile. 760p.

Fisher, R.A. 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *The Journal of Agricultural Science*. Cambridge (105): 255-267

Fisher, R. A., Howe, G. N., 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.

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.

Frink, C., R. Waggoner and P. Ausubel. 1999. Nitrogen fertilizer: retrospect and prospect. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (96): 1175-1180

- Gates, D., M. Keegan, H. Schleter and V. Weidner. 1965. Spectral properties of plants. *Applied Optics* (41):11-20.
- Gitelson, A., Y. Kaufman, R. Stark and D. Rundquist. 2002a. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment* (80): 76-87.
- Gitelson, A., R. Stark, U. Grits, D. Rundquist, Y. Kaufman and D. Derry. 2002b. Vegetation and soil lines in visible spectral space: a concept and technique for remote estimation of vegetation fraction. *International Journal of Remote Sensing* (23): 2537-2562.
- Gomara, N. 2012. Asociación del endimientamiento y contenido de proteína con mediciones SPAD en los estados de primer nudo y embuche en trigo candeal. Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 63h.
- 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.
- Hucklesby, D., P. Brown, C. Howell and S. Hageman. 1971. Late spring applications of nitrogen for efficient utilization and enhanced production of grain and grain protein in wheat. *Agronomy Journal* (63): 274-276.
- Huete, A. 1988. A soil adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment* (25): 295-309.
- Hoel, B. 1998. Use of a hand-held chlorophyll meter in winter wheat: evaluation of different measuring positions on the leaves. *Soil and Plant Science* (48): 222-228.
- Iglesias, R. y E. Taha. 2010, marzo. Monografías de especies anuales, arbustivas y acuícolas con potencial energético en Chile. Oficinas de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Chile: ODEPA. 42p.
- Jia, L., C. Xinping, F. Zhang, A. Buerkert and V. Römheld. 2004. Use of digital camera to assess nitrogen status of winter wheat in the Northern China. *Plain Journal of Plant Nutrition* (27): 441-450.
- Kobata, T., J.A. Palta and N.C. Turner. 1992. Rate of development of post-anthesis water deficits and grain filling of spring wheat. *Crop Science* (32):1238-1242.
- Li, Y., D. Chen, C. Walker and J. Angus. 2010. Estimating the nitrogen status of crops using a digital camera. *Field Crops Research* (118): 221-227.

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.

Martínez, E., J.P. Fuentes, P. Silva, S. Valle and E. Acevedo. 2008. Soil physical properties and wheat root growth as affected by no-tillage and conventional tillage systems in a Mediterranean environment of Chile. *Soil and Tillage Research* (99): 232-244.

Mellado, M. 2007. El Trigo en Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Quilamapu. Chillán. Chile. Colección libros INIA N° 21. Chillán. 684 p.

ODEPA, 2010. Fichas_costos Trigo_2009-2010. Oficina de estudios y políticas agrarias (ODEPA). Disponible en: http://www.odepa.gov.cl/odepaweb/agrodatos/Fichas_Trigo_2009-2010.pdf. Leído 13 mayo 2010

Palta, J.A., T. Kobalta, N.C. Turner and I.L. Fillery. 1994. Remobilization of carbon and nitrogen in wheat as influenced by post-anthesis water deficit. *Crop Science* (34):118-124.

Pacheco, J. and R. Pat. 2002. Cabrera. Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. *Ingeniería* (6-3):73-81.

Peng, Y., A. Gitelson, G. Keydan, D. Rundquist and W. Moses. 2011. Remote estimation of gross primary production in maize and support for a new paradigm based on total crop chlorophyll content. *Remote Sensing of Environment* (115): 978-989.

Pinilla, H. y L. Herrera. 2008. Efecto de la fertilización nitrogenada tardía en aspectos de calidad panadera en trigo (*triticum aestivum* l.). *IDESIA* (Chile). v36, 77-81.

Quemada M. and J.A. Diez. 2007. Available nitrogen for corn and winter cereal in Spanish soils by EUF, CaCl₂ and incubation methods. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* (38): 2061-2075.

Raun, W., J. Solie, R. Taylor, D. Arnall, C. Mack, and D. Edmonds. 2008. Ramp calibration strip technology for determining midseason nitrogen rates in corn and wheat. *Agronomy Journal* (100): 1088-1093.

Rodríguez, M., G. Alcántar, A. Aguilar, J. Etchevers y J. Santizó. 1998. Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. México. *Terra* (2): 135-141.

Rodríguez, J., D. Pinochet y F. Matus. 2001. La fertilización de los cultivos. Impreso en LOM Ediciones, Santiago, Chile. 177p.

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

Silva, P., I. Matus, R. Madariaga y E. Acevedo. 2011. Criterios técnicos para el manejo de Trigo candeal. Facultad de Ciencias Agrapecuarias, Universidad de Chile, Santiago, Chile. 56 p.

Silva, P., E. Acevedo y H. Silva. 2000. Manual de Estudios y Ejercicios Relacionados con el Agua en el Suelo, la Planta y la Atmósfera. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 56 p.

Silva, P., J. Kolopp y E. Acevedo. 2007. Trigo Candeal. ¿Dónde 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 p

Scheromm, P., G. Martin, A. Bergoin, J.C. Autran. 1992. Influence of nitrogen fertilizer on the potential bread-baking quality of two wheat cultivars differing in their responses to increasing nitrogen supplies. *Cereal Chemistry* (69): 664-670.

Talandriz, L. y H. Quezada. 2001. Fertilización de cultivos anuales zona sur de Chile. P.341-365. In: SOQUIMICH (Ed). Agenda del Salitre. Undécima Edición. Sociedad Química y Minera de Chile S.A. Santiago, Chile. 1515p.

Tremblay, N., W. Zhijie, M. Bao-Luo, C. Belec and P. Vigneault. 2009. A comparison of crop data measured by two commercial sensors for variable-rate nitrogen application. *Precision Agriculture* (10):145–161.

Uddling, J., J. Gelang-Alfredsson, K. Piikki and H. Pleijel. 2007. Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. *Photosynthesis Research* (91):37-46.

Villar, D. y R. Ortega. 2003. Medidor de clorofila. Bases teóricas y su aplicación para la fertilización nitrogenada en cultivos. *Revista Agronomía y Forestal UC* (18): 4-8.

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

- Van Herwaarden, A., J. Angus, R. Richards and G. Farquhar. 1998b. 'Haying-off', the negative grain yield response of dryland wheat to nitrogen fertiliser. II. Carbohydrate and protein dynamics. *Australian Journal of Agricultural Research* (49):1083-1093.
- Wood, C., W. Reeves, D. Duffield and K. Edmisten. 1992. Field chlorophyll measurements for evaluation of corn nitrogen status. *Journal of Plant Nutrition* (15): 487-500.
- Woodard, H. and A. Bly. 1998. Relationship of nitrogen management to winter wheat yield and grain protein in South Dakota. *Journal of Plant Nutrition* (21): 217-233.
- Xu, Z.Z., Z.W. Yu and D. Wang. 2006. Nitrogen translocation in wheat plants under soil water deficit. *Plant Soil* (280):291-303.
- Yang, J., J. Zhang, O. Zhu and L.Wang. 2000. Remobilization of carbon reserves is improved by controlled soil-drying during grain filling of wheat. *Crop Science* (40):1645-1655.
- Zadoks, J., T. Chang y C. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stage of cereals. *Weed Research* (14): 415-421.

APÉNDICES

Apéndice I.

Protocolo de cosecha y cálculos de parámetros de rendimiento

- a) Cosechar 5 hileras paralelas de 1 metro lineal (HA) a ras 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 horas). 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 horas). 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 fisiológica	DMP	días
Días a emergencia	DE	días

Cálculos de rendimiento y sus componentes.

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

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

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

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

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

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

Apéndice II

Análisis combinado de varianza

a) Biomasa (Kg ha⁻¹)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Biomasa (Kg ha-1)	64	0,53	0,29	14,84

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	402966520	21	19188881,9	2,22	0,0138
Variedad	34796726,3	1	34796726,3	1,72	0,238
Variedad>Repetición	121617715	6	20269619,1	2,34	0,0483
Tratamiento	192395244	7	27485034,8	3,18	0,0086
Tratamiento*Variedad	54156834,9	7	7736690,69	0,89	0,5195
Error	363199298	42	8647602,33		
Total	766165817	63			

b) Rendimiento (kg ha⁻¹)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento (kg ha-1)	64	0,41	0,11	17,6

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	37133117,1	21	1768243,67	1,37	0,1894
Variedad	3204547,52	1	3204547,52	1,43	0,277
Variedad>Repetición	13452855,3	6	2242142,56	1,74	0,1362
Tratamiento	8689192,11	7	1241313,16	0,96	0,4714
Tratamiento*Variedad	11786522,1	7	1683788,87	1,3	0,2722
Error	54229670,4	42	1291182,63		
Total	91362787,5	63			

c) IC (índice de cosecha)

Variable	N	R²	R² Aj	CV
IC	64	0,51	0,26	18,36

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,16	21	0,01	2,05	0,024
Variedad	0,05	1	0,05	8,12	0,0292
Variedad>Repetición	0,03	6	0,01	1,54	0,1888
Tratamiento	0,05	7	0,01	2,04	0,072
Tratamiento*Variedad	0,03	7	3,70E-03	0,99	0,4544
Error	0,16	42	3,80E-03		
Total	0,32	63			

d) Peso Seco de los 1000 (g)

Variable	N	R²	R² Aj	CV
NSC_PS 1000 (g)	64	0,68	0,52	345962,7

Transformación escores Normales

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	38,6	21	1,84	4,21	<0,0001
Variedad	17,2	1	17,2	30,95	0,0014
Variedad>Repetición	3,34	6	0,56	1,27	0,2903
Tratamiento	3,21	7	0,46	1,05	0,412
Tratamiento*Variedad	14,86	7	2,12	4,86	0,0004
Error	18,34	42	0,44		
Total	56,94	63			

Variable	N	R²	R² Aj	CV
PS 1000 (g)	64	0,65	0,48	4,19

e) Espigas m⁻²

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Esp m-2	64	0,52	0,28	12,62

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	148375,09	21	7065,48	2,19	0,0152
Variedad	4205,52	1	4205,52	0,69	0,4373
Variedad>Repetición	36460,65	6	6076,77	1,88	0,1065
Tratamiento	43525,38	7	6217,91	1,93	0,0893
Tratamiento*Variedad	64183,53	7	9169,08	2,84	0,0162
Error	135585,46	42	3228,23		
Total	283960,55	63			

f) Granos m⁻²

Prueba no Paramétrica de Friedman

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T ²	p
4,38	5,25	6,13	3,5	4,75	4,5	3,75	3,75	1,03	0,4198

g) Granos espigas⁻¹

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Granos esp-1	64	0,44	0,16	15,24

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	432,32	21	20,59	1,56	0,1097
Variedad	5,52	1	5,52	0,26	0,6293
Variedad>Repetición	128,14	6	21,36	1,62	0,1669
Tratamiento	70,73	7	10,1	0,76	0,6202
Tratamiento*Variedad	227,93	7	32,56	2,46	0,0328
Error	555,39	42	13,22		
Total	987,71	63			

h) SPAD Primer Nudo

Variable	N	R²	R² Aj	CV
SPAD Primer Nudo	64	0,61	0,42	3,45

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	144,98	21	6,9	3,15	0,0008
Variedad	1,40E-03	1	1,40E-03	8,20E-05	0,9931
Variedad>Repetición	103,38	6	17,23	7,87	<0,0001
Tratamiento	21,78	7	3,11	1,42	0,2223
Tratamiento*Variedad	19,81	7	2,83	1,29	0,2774
Error	91,93	42	2,19		
Total	236,91	63			

i) SPAD Embuche

Variable	N	R²	R² Aj	CV
SPAD Embuche	64	0,79	0,68	3,21

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	406,71	21	19,37	7,4	<0,0001
Variedad	37,06	1	37,06	7,16	0,0367
Variedad>Repetición	31,05	6	5,18	1,98	0,0904
Tratamiento	317,05	7	45,29	17,32	<0,0001
Tratamiento*Variedad	21,56	7	3,08	1,18	0,3363
Error	109,86	42	2,62		
Total	516,57	63			

j) Porcentaje de proteína en grano

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ASEN_Proteína	64	0,69	0,53	5,88

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,04	21	2,00E-03	4,41	<0,0001
Variedad	3,40E-03	1	3,40E-03	3,04	0,1317
Variedad>Repetición	0,01	6	1,10E-03	2,48	0,0384
Tratamiento	0,03	7	4,20E-03	9,4	<0,0001
Tratamiento*Variedad	1,90E-03	7	2,80E-04	0,62	0,7346
Error	0,02	42	4,40E-04		
Total	0,06	63			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Proteína	64	0,68	0,52	11,3

k) Cobertura vegetal primer nudo

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ASEN_Canopy Cover (pn)	128	0,25	0,1	4,07

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,26	21	1,00E-02	1,67	0,048
Variedad	0,04	1	4,00E-02	1,41	0,2803
Variedad>Repetición	0,16	6	0,03	3,62	0,0027
Tratamiento	0,04	7	1,00E-02	0,79	0,5982
Tratamiento*Variedad	0,02	7	2,80E-03	0,38	0,9100
Error	0,79	106	0,01		
Total	1,05	127			

l) Cobertura vegetal embuche

Variable	N	R²	R² Aj	CV
ASEN_Canopy Cover (em)	128	0,38	0,25	3,08

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.		gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,33	21	2,00E-02	3,04	0,0001
Variedad	0,14	1	0,14	8,74	0,0254
Variedad>Repetición	0,1	6	0,02	3,17	0,0067
Tratamiento	0,08	7	1,00E-02	2,09	0,0506
Tratamiento*Variedad	0,01	7	1,80E-03	0,35	0,9292
Error	0,54	106	0,01		
Total	0,87	127			

m) SAVI-green primer nudo

Variable	N	R²	R² Aj	CV
ASEN_SAVI green (pn)	128	0,25	0,1	16,03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,13	21	0,01	1,7	0,0413
Variedad	0,01	1	0,01	1,11	0,332
Variedad>Repetición	0,06	6	1,00E-02	2,69	0,0182
Tratamiento	0,03	7	4,00E-03	1,12	0,3558
Tratamiento*Variedad	0,03	7	4,40E-03	1,26	0,2775
Error	0,37	106	3,50E-03		
Total	0,5	127			

n) SAVI-green embuche

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ASEN_SAVI green (em)	128	0,3	0,17	13,45

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1,20E-01	21	1,00E-02	2,21	0,0044
Variedad	0,01	1	1,00E-02	3,02	0,1328
Variedad>Repetición	0,02	6	2,60E-03	1	0,4315
Tratamiento	0,07	7	1,00E-02	3,57	0,0017
Tratamiento*Variedad	0,03	7	4,70E-03	1,79	0,0976
Error	0,28	106	2,60E-03		
Total	0,4	127			

o) Biomasa primer nudo, en los 4 primeros tratamientos

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Biomasa	32	0,67	0,43	18,81

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	150463,78	13	11574,14	2,82	0,0215
Variedad	847,69	1	847,69	0,07	0,794
Variedad>Repetición	68270,29	6	11378,38	2,78	0,0432
Tratamiento	72361,75	3	24120,58	5,89	0,0055
Tratamiento*Variedad	8984,06	3	2994,69	0,73	0,547
Error	73769,86	18	4098,33		
Total	224233,65	31			