



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

EFFECTO DE LA DOSIS DE SIEMBRA SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DE TRIGO CANDEAL (*Triticum turgidum* L. ssp. *Durum*) VARIEDAD LLARETA INIA, EN CONDICIONES DE SECANO MEDITERRÁNEO

Romina Elizabeth Vera Abrilot

Santiago, Chile
2011

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

EFFECTO DE LA DOSIS DE SIEMBRA SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DE TRIGO CANDEAL (*Triticum turgidum* L. ssp. *Durum*) VARIEDAD LLARETA INIA, EN CONDICIONES DE SECANO MEDITERRÁNEO

THE EFFECT OF THE SEEDING RATE ON THE YIELD AND QUALITY OF DURUM WHEAT (*Triticum turgidum* L. ssp. *Durum*), LLARETA INIA VARIETY, UNDER MEDITERRANEAN RAINFED CONDITIONS

Romina Elizabeth Vera Abrilot

Santiago, Chile
2011

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

Memoria de Título

EFEECTO DE LA DOSIS DE SIEMBRA SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DE TRIGO CANDEAL (*Triticum turgidum* L. spp *durum*) VARIEDAD LLARETA INIA, EN CONDICIONES DE SECANO MEDITERRÁNEO

Memoria para optar al título profesional de Ingeniero Agrónomo
Mención Fitotecnia

Romina Elizabeth Vera Abrilot

Profesora guía	Calificaciones
Sra. Paola Silva C. Ingeniero Agrónomo, M.S., Dra.	6.8
Profesores Evaluadores	
Sr. Jorge Pérez Q. Ingeniero Agrónomo, M.S., Ph.D.	7.0
Sr. Edmundo Acevedo H. Ingeniero Agrónomo, M.S., Ph.D.	6.8

Santiago, Chile
2011

A mis padres por una vida por nosotros...

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi madre y a mi padre por forjar con cariño y esfuerzo todo lo que he llegado a ser, además por su apoyo y confianza en todas ideas, a veces locuras, que emprendí en el camino. A mis hermanos Rolo y Rodi por darme su experiencia y cariño. Por supuesto a mi Luna por su fiel compañía.

También a la Universidad de Chile, entendiéndola como un ente vivo formado por una diversa comunidad de personas, porque gracias a ella forme mi pensamiento sobre lo que anhelo de la sociedad.

A mi profesora guía Paola Silva por compartir sus conocimientos, experiencias y por ayudarme a perseverar para lograr concluir mi trabajo. A los profesores Edmundo Acevedo y Jorge Pérez por sus necesarias colaboraciones y prontas evaluaciones.

A cada funcionario que me ayudó justo cuando más lo necesitaba, a René Cruz y la tía Irma por todo su cariño, a Coné por esas charlas matinales, a don Jorge por salvar mis trabajos, al tío Chicano por sus tallas, a las tías del aseo por sus sonrisas, al Mota por su jovialidad, y no olvido a Pedro Calandra, quien después de tantas discusiones sobre la vida terminó siendo un gran consejero.

No me olvido jamás de mis amigos, la Javi por ser mi hija, por todo lo compartido y estar conmigo incondicionalmente. A mis amigas Ale y Marce por mantenerse junto a mí a pesar de que a veces las distancias ya no estaban a favor. A Karinits por su cariño y consejos. A mis cabros, Tomy, Orlandito, Fabiao y Teylor por alegrar cada día juntos a pesar de las adversidades vividas. A la Pauli y la Cata, mis amigas perrunas. A EPA y sus voluntarios por existir y su diario esfuerzo. A mis compañeros del laboratorio de SAP por su oportuna ayuda y aliento. Finalmente al Mati y al Isma que me dieron su apoyo fundamental para, de una vez por todas, terminar este trabajo.

ÍNDICE

RESUMEN	1
Palabras claves	1
ABSTRACT	2
Key words	2
INTRODUCCIÓN	3
MATERIALES Y MÉTODOS	6
Ubicación del ensayo	6
Material vegetal.....	6
Metodología	6
Tratamientos y diseño experimental	6
Manejo del cultivo	7
Fertilización.....	7
Fungicida.....	7
Herbicida.....	8
Plaguicida.....	8
Mediciones del cultivo	8
Cobertura del suelo.....	8
Fenología.....	8
Establecimiento de plantas.....	8
Biomasa, Rendimiento y Componentes.....	8
Número de macollos fértiles por planta.....	9
Largo de la espiga.....	9
Altura de planta.....	9
Mediciones de calidad de los granos.....	10
Contenido de proteína del grano.....	10
Peso del hectolitro o peso específico.....	10
Mediciones climáticas	10
Mediciones del suelo.....	10
Contenido gravimétrico de agua en el suelo	10
Análisis estadístico.....	11
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	12
Precipitación y temperatura.....	12
Contenido de agua del suelo	12

Estados fenológicos.....	13
Cobertura.....	14
Establecimiento	15
Rendimiento	17
Calidad	20
Costos de producción	21
CONCLUSIONES.....	22
BIBLIOGRAFÍA.....	23
APENDICE I	26
APENDICE II.....	32

RESUMEN

En Chile el trigo candeal (*Triticum turgidum* L. spp. *durum*) se ha cultivado tradicionalmente bajo riego, pero desde hace algunas temporadas comenzó a ser desplazado hacia zonas de secano en el centro sur del país. Históricamente los agricultores han sembrado altas dosis de semillas, situación que puede ser contraproducente bajo condiciones de secano mediterráneo llegando a afectar de manera significativa el rendimiento y la calidad de granos. En consecuencia, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de cinco dosis de siembra sobre el rendimiento y la calidad de granos producidos bajo secano mediterráneo.

En el mes de mayo del año 2009 se sembró trigo candeal, variedad Llaretta INIA en cinco dosis de siembra; 30, 60, 90, 120 y 150 kg ha⁻¹, bajo condiciones de secano mediterráneo en la zona central de Chile, donde la precipitación alcanzó aproximadamente los 300 mm durante el período de crecimiento del cultivo.

Los resultados mostraron que los tratamientos produjeron diferencias significativas para el número de macollos fértiles por planta y el número de espiguillas por espiga. Sin embargo, los tratamientos no produjeron diferencias significativas sobre el rendimiento, obteniéndose en promedio 33 qq ha⁻¹. La calidad de los granos no tuvo diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo, dada la sequía terminal experimentada en el ensayo, en todos los tratamientos el peso del hectólitro fue bajo para los requerimientos de la industria, obteniéndose en promedio 77,6 kg hL⁻¹. El contenido de proteína promedio de los granos fue 13%, valor que se bonifica a nivel industrial.

Finalmente se puede concluir que es posible reducir los costos de producción reduciendo la dosis de semilla a 100 kg ha⁻¹, sin alterar el rendimiento ni la calidad de los granos de trigo candeal en condiciones de secano mediterráneo.

Palabras claves

Contenido de proteína, macollaje, peso del hectólitro, sequía terminal y trigo primaveral.

ABSTRACT

The effect of the seeding rate on the yield and quality of durum wheat (*Triticum turgidum* L. spp. *durum*), Llareta INIA variety, under mediterranean rainfed conditions

The cultivation of durum wheat (*Triticum turgidum* L. spp. *durum*) in Chile has moved towards to rainfed areas. The selected cultivars and the studied sowing doses in the country has been developed under irrigated cultivar condition, this can be contrary to a management under rainfed mediterranean conditions, where the sowing doses are considered high for rainfed conditions, wich can affect in a significant way the performance. Therefore, the objective of this study was to analyze the effect of sowing doses on mediterranean rainfed areas over the yield and grain quality of the durum wheat.

In the year 2009 durum wheat (variety Llareta INIA) was sown in five different sowing doses 30, 60, 90, 120 and 150 kg ha⁻¹, under mediterranean rainfed condition. During the study period rainfall reached at 300 mm. The results showed significant differences in number of tillers per plant and number of spikelets per spikes. However, there was no effect on yields, averaging 33 qq ha⁻¹. Likewise, no difference was observed in hectoliter weight and protein content in grain, reaching average of 77,6 kg hL⁻¹ and 13%, respectively.

Finally conclude that it is possible to reduce production cost by reducing the dose of seed to 100 kg ha⁻¹; without affecting the yield and quality of the grains of wheat under Mediterranean rainfed conditions.

Key words

Hectoliter weight, protein content, spring wheat, terminal drought stress and tillering.

INTRODUCCIÓN

La dosis de siembra utilizada para el cultivo de trigo candeal a nivel mundial varía ampliamente, según los rendimientos que se esperan obtener y las condiciones ambientales locales como, la disponibilidad de agua, ya sea para producción bajo riego o secano, las características del suelo y la radiación que recibirá el cultivo. Ensayos de dosis de siembra han demostrado que las variaciones entre la menor y la mayor dosis no producen diferencias significativas sobre el rendimiento. En Australia concluyeron que aumentos en la densidad de siembra de 50 a 100 kg ha⁻¹ no aumentaron significativamente el rendimiento, aunque sí se observa una tendencia al aumento (Duggan *et al.*, 2005). Lo mismo ocurrió a Turner *et al.*, (1994), los que experimentaron con densidades entre 30 y 90 kg ha⁻¹. En cambio, en España publicaciones locales especializadas recomiendan para el secano densidades de siembra entre 120 a 200 kg ha⁻¹, dependiendo de la calidad del terreno y la experiencia del agricultor (Reina, 2005). Ensayos realizados en Santiago de Chile para trigo candeal cultivado bajo riego confirman la estabilidad de los rendimientos al variar la dosis de semilla entre 50 y 200 kg ha⁻¹ (Acevedo y Silva, 2003), al igual que ensayos realizados en Valdivia con densidades de siembra de 44 y 350 plantas m⁻² (Bustos y Calderini, 2011). A nivel de productor, INIA recomienda bajo condiciones de riego dosis entre 220-240 kg ha⁻¹ para la variedad Llaleta INIA (INIA, 2010), con un rendimiento en torno a 5-6 ton ha⁻¹ (Acevedo *et al.*, 2008).

El rendimiento de granos resulta de un óptimo balance de tres componentes del rendimiento: el número de espigas por área, el número de granos por espiga y del peso individual de los granos (Evans *et al.*, 1975). Rendimientos similares pueden lograrse en un amplio rango de dosis de siembra debido a la capacidad compensatoria que tienen los cereales que macollan como trigo, avena, arroz, cebada, triticale y centeno. Esta plasticidad se expresa claramente cuando se usan menores dosis de siembra, por lo tanto la densidad de plantas es menor y dependiendo de la capacidad del genotipo, aumenta el número de macollos.

La competencia es el proceso de mayor importancia en la regulación de las respuestas del cultivo a la densidad. Ocurre cuando las plantas comparten recursos que están provistos en forma insuficiente para satisfacer su demanda combinada. Puede causar la reducción de la supervivencia, de la producción de materia seca y de rendimiento individual por planta, sin embargo un cultivo creciendo en condición de elevada competencia a partir de una correcta elección de la densidad de siembra, maximiza la utilización de los recursos por unidad de área y su rendimiento (Kruk y Satorre, 2003).

En este sentido, la densidad de siembra es una de las prácticas de manejo que determina la capacidad del cultivo de interceptar recursos, pudiendo llegar a afectar de manera importante la captura y utilización de radiación, agua y nutrientes. Su elección busca aumentar el rendimiento y la calidad de los granos. Esta debe garantizar coberturas vegetales uniformes y elevadas desde etapas tempranas y especialmente durante el período

crítico para la definición del rendimiento, 30 días antes y 10 días después de anthesis, por lo que se debe determinar la densidad del cultivo en función de las condiciones agroecológicas de cada lugar (Kruk y Satorre, 2003).

La elección de densidades supra-óptimas tiene un efecto negativo directo sobre el rendimiento en los cultivos de grano. A mayor número de plantas aumenta la altura y se reduce el diámetro de los tallos o entrenudos, por lo que habrá una mayor susceptibilidad a tendedura. También se favorece el desarrollo de plagas y enfermedades, pues se crea un microclima apto para su desarrollo y dispersión o disminuyendo la tolerancia del cultivo a ellas. También puede reducir la disponibilidad de recursos como el agua, principalmente durante las fases críticas, afectando directamente la generación de rendimiento del cultivo en ambientes con escasas precipitaciones y suelos con baja capacidad de ofertar al cultivo agua almacenada (Darkinwel, 1980). Por el contrario, dosis de semillas menores a 50 kg ha⁻¹ requieren de una siembra de precisión para asegurar un establecimiento de plantas y cobertura homogénea. Además, como el cultivo tomará más tiempo en cubrir el suelo, será menos competitivo con las malezas, por lo que su control oportuno es indispensable.

Por otra parte, en condiciones mediterráneas con limitada disponibilidad de agua, Destro *et al.*, (2001), plantearon que el resultado dependerá de la capacidad de macollaje que tengan los genotipos, así el uso de genotipos con alta capacidad de macollaje a baja densidad de siembra, ayudará a que el rendimiento de granos no sea reducido, porque las plantas pueden producir más macollos que un cultivo a altas densidades, compensando así las potenciales pérdidas en el rendimiento de granos. Sin embargo, si el genotipo usado no posee la suficiente capacidad de macollaje, una baja densidad de siembra no puede ser compensada, resultando en un reducido número de espigas por metro cuadrado y consecuentemente en un bajo rendimiento de granos. Al contrario, Donald (1968) propuso que plantas unculmas de trigo (plantas con un solo tallo, sin macollos o tallos secundarios) podrían ser más apropiadas para medio ambientes sin recursos limitantes.

En condiciones mediterráneas, con sequía terminal, la producción de biomasa en exceso, previo a la sequía puede reducir el agua en el suelo durante el período crítico del cultivo. Este efecto se ha observado con aplicaciones de fertilizante nitrogenado, el cual aumenta la biomasa temprano en la temporada y en sitios con mayor demanda hídrica puede hacer escasear las reservas de agua del suelo durante el período crítico. En condiciones de sequía terminal esto puede conducir a “Haying-off”, que es definido como un escaso rendimiento de grano, pese a la alta producción de biomasa (Van Herwaarden *et al.*, 1998).

El trigo candeal de calidad, es decir granos con alto porcentaje de proteína (sobre 10,5%), buen peso por hectolitro (sobre 79 kg hL⁻¹), vítreos (característica de los trigos candeales, dada por su acumulación de almidón vítreo, por sobre almidón harinoso), con fuerza de gluten y de color ámbar, entre otros, se produce en climas mediterráneos, ya que el estrés hídrico terminal (sequía y altas temperaturas durante el llenado de granos) induce la senescencia y redistribución del nitrógeno a los granos. En el mundo hay solo 5 ecosistemas mediterráneos, uno de los cuales se sitúa en Chile entre los 33° y 37° S, lo que le da un potencial de producir grano y pasta de calidad superior (Acevedo y Silva, 2007).

En Chile el trigo candeal es usado principalmente para la producción de pastas, con un consumo per cápita anual de 8-9 kg (Acevedo *et al.*, 2008). Ocupa entre 5 y 10% de la superficie de trigo sembrada en el país y su producción sólo abastece el 50 % de las necesidades de la industria de pastas, debido a los altos costos de producción y a la necesidad de importar trigo corrector de la calidad, principalmente desde Canadá (Acevedo y Silva, 2007). La superficie sembrada con trigo en la temporada 2010/11 fue de 271.415 kg ha⁻¹ (ODEPA, 2011).

Desde la temporada 2003/2004 el trigo candeal comenzó a ser sembrado de Linares hasta Los Ángeles bajo un régimen de secano (Matus *et al.*, 2008). Las condiciones climáticas en la zona centro y centro sur de Chile corresponden a un clima mediterráneo. Situación semejante a la presente en latitudes bajas (alrededor de los 30°), en donde evolucionó el trigo. La etapa vegetativa ocurre en días cortos (10-11 h) y fríos de invierno, luego al incrementarse el largo de los días, la radiación incidente y la temperatura se inicia la floración, para finalizar el desarrollo de los granos con días más largos (13-14 h), con temperaturas máximas superiores a los 30 °C y bajo estrés hídrico (Evans *et al.*, 1975).

Como tradicionalmente la producción de trigo candeal nacional se había realizado en la zona centro y bajo condiciones de riego, toda la agronomía y la selección de genotipos ha sido desarrollada para estas condiciones, por lo que se desconoce el manejo agronómico necesario para optimizar su producción en secano.

Así, nace la necesidad de estudiar diferentes dosis de siembra para la zona de secano en Chile, en busca de dosis que permitan obtener altos rendimientos para estas condiciones hídricas y granos que a la vez tengan buenas cualidades para la industria de pastas.

Se plantea como hipótesis que la variedad de trigo candeal, Llaretta INIA, bajo condiciones de secano mediterráneo, sembrada a densidades menores que las recomendadas actualmente, no disminuye su rendimiento de granos ni su calidad.

El objetivo general fue analizar el efecto de dosis de siembra de trigo candeal (*Triticum turgidum* L. spp. *durum*) bajo condiciones de secano mediterráneo sobre el rendimiento y la calidad del grano.

Los objetivos específicos fueron evaluar:

El contenido de agua del suelo en la menor y mayor dosis de siembra.

El rendimiento y sus componentes en trigo candeal en las distintas dosis de siembra.

El contenido de proteína y el peso del hectólitro de los granos de trigo candeal producido en las distintas dosis de siembra.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del ensayo

El trabajo experimental se realizó en la Estación Experimental Antumapu de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, Región Metropolitana, provincia de Santiago, entre mayo y noviembre del año 2009. La Estación Experimental Antumapu (33°34' S y 70°38' O, y 605 m.s.n.m.) se encuentra en una zona de clima templado mesotermal estenotérmico mediterráneo semiárido, que se caracteriza por un régimen térmico con una temperatura máxima media en Enero de 28,3°C y una mínima media en Julio de 2,8°C. El régimen hídrico tiene una precipitación media anual de 350 mm, un déficit hídrico de 1025,9 mm y un período seco de 8 meses (Santibáñez y Uribe, 1990). El suelo de la Estación Experimental Antumapu, está incluido en la serie Santiago y es de origen aluvial, de clase textural franco arenoso y una profundidad media de 80 cm (Comisión Nacional de Riego, 1981).

Material vegetal

Para el ensayo se utilizó trigo candeal variedad Llaretta INIA, ya que el 90% de la superficie sembrada a nivel nacional corresponde a esta variedad, que fue desarrollada por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), cuyo hábito de crecimiento es primaveral, es decir que no requiere vernalización para entrar en su fase reproductiva. En condiciones de riego las plantas logran una altura promedio de 95 cm y un peso de los 1.000 granos de 58 gramos (Ramírez *et al.*, 1997).

El ensayo con trigo candeal variedad Llaretta INIA fue sembrado el 27 de mayo del año 2009, en forma manual y con una distancia entre hileras de 20 cm.

Metodología

Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos correspondieron a cinco niveles de dosis de siembra, especificados en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos del ensayo.

Tratamiento	Dosis de semilla
	(kg ha ⁻¹)
1	30
2	60
3	90
4	120
5	150

El diseño experimental usado fue de bloques completos aleatorizados con 4 repeticiones, como se muestra en la Figura 1. La unidad experimental correspondió a una parcela de 2 m de ancho por 5 m de largo.

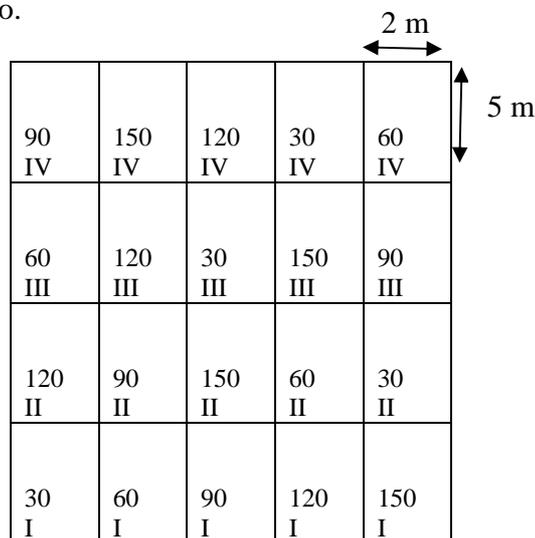


Figura 1. Diseño experimental. En la esquina inferior izquierda se indica la dosis de semilla (kg ha⁻¹) sobre la repetición en número romano.

Manejo del cultivo

Fertilización. Se aplicaron 160 kg N ha⁻¹ parcializados, un tercio a la siembra como urea y dos tercios en Zadoks 31 (primer nudo visible) como salitre sódico. La dosis de N se calculó en función de lograr un rendimiento objetivo de 50 qq ha⁻¹ y un 12% de proteína en los granos. Además se aplicó superfosfato triple, en una dosis de 120 Kg P₂O₅ ha⁻¹ a la siembra.

Fungicida. El cultivo se mantuvo libre de enfermedades aplicando el fungicida Anagran plus (etilen-bis-ditiocarbamato de magnesio con iones de zinc y metil benzimidazol-2-il carbamato) en dosis de 125 g cada 100 kg⁻¹ de semilla. Es un desinfectante preventivo de semillas, con acción de contacto y sistémica inicial, controla hongos que inician su

desarrollo desde el exterior de la semilla, como carbón hediondo, fusariosis, pythium y helminthosporiosis, entre otros.

Herbicida. Para el control de malezas se aplicó el herbicida sistémico, residual y selectivo Ajax 50 WP (metil 2-(4 metoxi-6 metil 1,3,5 triazin 2-ilcarbamoilsulfamoil) benzoato) en dosis de 10 g ha^{-1} , altamente activo en el control de malezas de hoja ancha. Es absorbido vía follaje y raíces y posee un adecuado efecto residual para el control de malezas. Se aplicó al inicio del desarrollo de macollos en el mes de julio.

Plaguicida. Las plagas se evitaron aplicando el insecticida sistémico Dimetoato 40 EC (0,0-dimetil-S-metilcarbamoimetil fosforoditioato), que posee un efecto residual de 10 a 15 días. Actúa sobre una amplia gama de insectos masticadores y chupadores. Se aplicó en dosis de $0,8 \text{ litros ha}^{-1}$, cuando el cultivo aún se encontraba en fase vegetativa en el mes de agosto.

Mediciones del cultivo

Cobertura del suelo. La cobertura se midió mediante observación visual utilizando una escala porcentual, donde 0% corresponde a suelo desnudo y 100% a suelo completamente cubierto por el cultivo. La primera medición se realizó cuando el cultivo se encontraba en etapa de macollaje y la segunda durante la etapa de encañado del cultivo.

Fenología. Se registró la fecha de emergencia, espigadura y madurez fisiológica, acorde a la escala de Zadoks *et al.*, (1974). Se consideró alcanzado un estado de desarrollo cuando el 50% de la parcela mostraba el estado.

Establecimiento de plantas. Se contó el número de plantas en 1 m lineal, en el estado de Zadoks 12 (plantas de 2 hojas antes de comenzar a macollar). Se obtuvo el valor promedio de 2 mediciones por unidad experimental. Se expresó en plantas m^{-2} .

Considerando que el peso promedio medido para 1.000 semillas fue de 43,9 g, se calculó que la densidad de semillas sembradas en cada tratamiento fue 68, 137, 205, 273 y 342 semillas m^{-2} respectivamente. Luego, se comparó este valor con el de las plantas establecidas y se obtuvo el porcentaje de pérdidas en el establecimiento.

Biomasa, Rendimiento y Componentes. Luego de que el cultivo llegó a madurez fisiológica, se cosecharon en cada unidad experimental 5 hileras paralelas de 1 metro lineal (1 m^2), a ras de suelo sin incluir los bordes. Del total cosechado en cada parcela, se obtuvo el peso en gramos de las siguientes muestras; se separaron 50 tallos con espiga, de los que se obtuvo, su peso en húmedo (**FS**) y después de ser colocados en una estufa a 70°C durante 48 hrs su peso en seco (**DS**). El resto de la muestra, fue pesada (**FB**) y trillada (**TG**). Luego de limpiar con aire los granos trillados de cada muestra, se separaron 250 granos enteros en cada una, los que se pesaron en húmedo (**WG**) y después de ser colocados a una estufa a

70°C durante 48 horas en seco (**DG**). Con esta información se calculó la biomasa (**1**), el rendimiento de granos (**2**), el índice de cosecha (**3**), y los componentes del rendimiento, peso seco de 1.000 granos (**4**), número de espigas m⁻² (**5**), número de granos m⁻² (**6**) y número de granos por espiga (**7**).

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

$$2) \text{ Rendimiento de granos (kg ha}^{-1}\text{)} = \frac{(DG / WG) TG [(FB + FS) / FB]}{(HA)} \times 10$$

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

$$4) \text{ Peso seco de 1.000 granos (g)} = DG \times 4$$

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

$$6) \text{ Granos por m}^2 = (2) / (4) \times 100$$

$$7) \text{ Granos por espiga} = (6) / (5)$$

Número de macollos fértiles por planta. Primero se obtuvo el número de ejes por planta (**8**), del cociente entre las espigas metro⁻² (**5**) y el establecimiento de plantas que fue descrito anteriormente.

$$8) \text{ Ejes planta}^{-1} = \text{Espigas m}^{-2} / \text{Plantas m}^{-2}$$

Al número de ejes por planta se le descuenta el eje principal para obtener el número de macollos fértiles (con espiga) en cada planta (**9**).

$$9) \text{ N}^{\circ} \text{ macollos fértiles planta}^{-1} = \text{Ejes planta}^{-1} - 1$$

Espiguillas por espiga. Se realizó después que el cultivo llegó a madurez de cosecha. Se contaron las espiguillas por espiga en 10 espigas por unidad experimental.

Largo de la espiga. Se realizó después que el cultivo llegó a madurez de cosecha. La medición se hizo con una huincha métrica, midiendo desde el collar hasta la punta de la espiga, sin considerar las aristas. Se realizaron 10 evaluaciones por unidad experimental.

Altura de planta. Se realizó después que el cultivo llegó a madurez de cosecha. La medición se hizo con una huincha métrica, midiendo desde el suelo hasta la punta de la espiga, sin considerar las aristas. Se realizaron 10 evaluaciones por unidad experimental.

Mediciones de calidad de los granos.

Contenido de proteína del grano. La determinación del porcentaje de proteína en los granos se realizó en el laboratorio INIA Chillán mediante espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIR) con el instrumento Inframatic 8620, Percon. Este método mide la reflectancia de la muestra de granos pulverizada a dos longitudes de onda y las relaciona al porcentaje de proteína, previa calibración.

Peso del hectolitro. La determinación del peso del hectólitro se realizó en el laboratorio INIA Chillán. Por ser el hectólitro un volumen muy grande, en el laboratorio se determina utilizando un recipiente de 1 L previamente tarado, el cual se llena hasta enrase y se pesa.

Mediciones climáticas

La información climática del período de crecimiento del cultivo se obtuvo de la estación meteorológica existente en el INIA La Platina, ubicada aproximadamente a 500 m del ensayo. Se midió la temperatura, precipitación, humedad, dirección del viento, velocidad del viento, radiación solar y presión atmosférica. Se consideró como período de crecimiento del cultivo desde la siembra el 27 de mayo, hasta la madurez fisiológica el 13 de noviembre. Los principales parámetros climáticos que influyen en la evapotranspiración son la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento. La evapotranspiración se calculó con el método de Penmann-Monteith (Allen, 2006).

Mediciones del suelo

Contenido gravimétrico de agua en el suelo (W). Se midió en 2 repeticiones de los tratamientos de mayor y menor dosis de siembra. Las muestras se obtuvieron con barreno a profundidades de 0 a 20 cm, de 20 a 40 cm y de 40 a 60 cm. Se colocaron rápidamente en cápsulas de aluminio previamente identificadas, se taparon y sellaron con cinta de papel para evitar pérdidas por evaporación. Se trasladaron en cooler tapado, con ice pack en su interior al laboratorio, donde se pesaron las cápsulas tapadas con el suelo en su interior y se obtuvo el peso húmedo bruto (**MTB**). Luego las cápsulas con la tapa debajo, se secaron en estufa a 105 °C hasta lograr peso constante. Se pesaron para obtener el peso seco (**MSG**), que incluye el peso de la cápsula, la tapa, el suelo y las gravas. Finalmente, las muestras se procesaron por separado en un mortero para separar el suelo de las gravas con un tamiz de 2 mm. El peso de la cápsula, más la tapa y las gravas, corresponde a **MG**.

$$10) \text{ Masa de agua (Mw)} = MTB - MSG$$

$$11) \text{ La masa de suelo seco (Ms)} = MSG - MG$$

El **W** (12) corresponde al cociente entre **M_w** y **M_s** y se expresa como gramos de agua sobre gramos de suelo seco en porcentaje.

$$12) W = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Para obtener el contenido de agua en el suelo expresado en altura de la lámina de agua (mm), en cada parcela se obtuvo el múltiplo de **W** por la densidad aparente del suelo (**Da**) 1,42 g cm⁻³ (Olivieri, 2009) y por la profundidad de medición (**P**) en milímetros.

$$13) \text{Contenido de agua en el suelo (mm)} = W \times Da \times P$$

Análisis estadístico

Los valores resultados de las mediciones se sometieron al test de Barlett para comprobar la homogeneidad de varianza y luego se comprobó que los datos tuvieran una distribución normal mediante la prueba de Shapiro-Wilks. Una vez comprobada la homogeneidad y normalidad de los datos, éstos se sometieron a un análisis de varianza, cuyos resultados se presentan en el Apéndice I, donde también se encuentran los coeficientes de variación (CV) para cada variable analizada.

Cuando se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, las medias se compararon a través del test de la diferencia mínima significativa de Fischer (DMS) con un $P \leq 0,05$.

Los valores resultados de la medición de contenido de agua del suelo se analizaron mediante una prueba t ($P \leq 0,05$) para muestras independientes con el fin de detectar diferencias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Precipitación y temperatura

A continuación se presentan los parámetros climáticos medidos entre ciertos estados fenológicos del cultivo.

Cuadro 2. Promedio de temperatura (T) y humedad relativa del aire (HR). Suma de precipitación y evapotranspiración de referencia (ET_o).

Período Fenológico	T mín (°C)	T máx	HR (%)	Precipitación (mm)	ET _o (mm)
Siembra - 1°nudo	3,1	16,5	78,2	240,2	95,9
1°nudo – Embuche	2,5	17,3	79,4	31,8	31,6
Embuche – Espigadura	1,2	19,0	72,3	5,4	39,5
Espigadura - Madurez fisiológica	4,7	23,3	65,6	22,4	113,6
Total				299,8	280,7

La suma de precipitación medida en el año 2009 fue de 326,8 mm (Apéndice II), valor un 7% más bajo que la precipitación media anual de los últimos 30 años, correspondiente a 350 mm en la zona de estudio (Santibáñez y Uribe, 1990). Las precipitaciones no tuvieron una distribución uniforme a lo largo del desarrollo del cultivo, se concentraron en ciertos meses de invierno, durante la fase vegetativa del cultivo y disminuyeron significativamente hacia la primavera, durante la fase reproductiva del cultivo. Al inverso, las temperaturas y la evapotranspiración tuvieron un incremento hacia la primavera.

En zonas de secano de clima mediterráneo la pluviometría es muy variable de un año a otro, las precipitaciones se concentran en los meses de invierno, produciéndose estrés hídrico terminal en primavera y verano, fenómeno que ocurre debido a una escasez hídrica durante el último período de desarrollo del cultivo de cereales (Turner, 1991). La escasez de humedad durante el período de crecimiento de la espiga y durante el llenado de granos del trigo puede manifestarse en severas pérdidas de rendimiento, dependiendo de la magnitud del estrés (Acevedo *et al.*, 2002).

Contenido de agua del suelo

El período crítico para la definición del rendimiento en el trigo ocurre 30 días antes y 10 días después de la floración, por lo que las mediciones de contenido de humedad en el suelo se realizaron previas a este período y hasta que la humedad del suelo permitió el ingreso

con barreno. En el Cuadro 3 se presentan los promedios de dos repeticiones para los tratamientos medidos en 3 oportunidades. Para analizar el contenido de agua que se obtuvo en cada medición, los valores obtenidos se compararon con la altura de agua a capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP), 176 mm y 95 mm, respectivamente, según análisis previos realizados en el terreno del ensayo (Olivieri, 2009).

Cuadro 3. Promedio de altura de la lámina de agua en la menor y la mayor dosis, en tres estados del cultivo.

Dosis semilla (kg ha ⁻¹)	Encañado	Embuche (mm)	Espigadura
30	186,4	154,0	70,4
150	171,7	159,3	67,6
Prueba t (p ≤ 0,05)	n.s.	n.s.	n.s.

n.s., no significativo.

En la última medición el contenido de humedad del suelo era inferior al punto de marchitez permanente, lo que confirma que en climas mediterráneos el cultivo de trigo candeal es afectado por una sequía terminal en el período de llenado de granos (Evans *et al.*, 1975; Turner, 1991).

Se ha observado que en condiciones de secano, una elevada densidad de plantas, que provoca el consumo de agua en exceso por el cultivo en una etapa relativamente temprana, puede reducir la disponibilidad de este recurso durante las etapas críticas, determinando la obtención de rendimientos semejantes a los logrados con los cultivos creciendo a menores densidades (Kruk y Satorre, 2003). En contraposición, en el presente ensayo no se observó efecto de la dosis de siembra sobre el contenido de agua.

Estados fenológicos

En el Cuadro 4 se muestra la fecha en que el cultivo alcanzó los principales estados fenológicos del cultivo y los días desde siembra que tardó en alcanzarlos.

Cuadro 4. Fecha y estados fenológicos del cultivo.

Estado	Fecha	Días desde siembra
Emergencia	12 junio	17
Macollaje ¹	07 agosto	73
Encañado ¹	10 septiembre	107
Espigadura	6 octubre	133
Madurez fisiológica	13 noviembre	171

¹ En estos estados se realizaron las mediciones de cobertura del cultivo.

No se observaron diferencias fenológicas producto de los tratamientos, lo que coincide con los resultados obtenidos por Arduini *et al*, (2006) en que la duración del ciclo completo no varió significativamente entre las dosis de siembra utilizadas. Sin embargo, es un hecho que la fenología es controlada fuertemente por las condiciones climáticas que se presenten durante el desarrollo de las plantas. Así, Wattal (1965) afirmó que el período de llenado de granos puede extenderse a bajas temperaturas (15°C), alcanzando un mayor peso final de los granos. Incrementos en la temperatura de 25 a 30 °C resultan en un descenso en la duración del período de llenado de granos de 36 a 22 días, con un mínimo aumento en la tasa de crecimiento de 1,49 a 1,51 mg grano⁻¹ día⁻¹ (Bazzaz, 1994).

Cobertura

Se midió el porcentaje de cobertura visual en 2 estados de desarrollo del cultivo, cuyos resultados se encuentran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Cobertura medida en 2 estados de desarrollo del cultivo.

Dosis semilla (kg ha ⁻¹)	Cobertura (%)	
	Macollaje	Encañado
30	40 A	86 A
60	56 B	96 B
90	68 C	99 B
120	70 CD	98 B
150	78 D	100 B
D.M.S. ($p \leq 0,05$)	8,8	7,7

D.M.S., prueba de la diferencia mínima significativa.

El análisis de varianza indicó en la primera medición que la diferencia de cobertura en los tratamientos era significativa para la mayoría de estos, sin embargo en la segunda medición solo la menor dosis de siembra presentaba un valor significativamente inferior a los valores de los demás tratamientos. En este sentido, la densidad de plantas puede afectar principalmente la radiación interceptada, a través de la posibilidad de lograr mayores coberturas tempranas en el ciclo del cultivo o mayores valores totales de interceptación (Kruk y Satorre, 2003). La plasticidad fenotípica del cultivar está íntimamente asociada a su capacidad de compensación; esto es, a la capacidad de las plantas sobrevivientes, de cubrir los claros y utilizar los recursos dejados por plantas faltantes (Kruk y Satorre, 2003).

El aumento de la densidad de siembra provoca un incremento del área foliar logrando una mayor cobertura temprano en el cultivo (Cuadro 5) y, consecuentemente, de la captación de recursos, hasta que el área foliar se maximiza. La densidad de plantas afecta directamente al

IAF por planta, observándose una relación inversa entre estos dos parámetros. Paralelamente, la producción de biomasa por planta va disminuyendo, siendo la producción por unidad de área compensada por el mayor número de individuos, es decir el peso medio de cada individuo en la población disminuye, compensando los aumentos en la densidad. A la inversa, a medida que se disminuye la densidad de siembra, el trigo tiene la capacidad de aumentar el área foliar por planta (Kruk y Satorre, 2003), logrando una cobertura total del suelo debido a la mayor producción de macollos.

Establecimiento

En el Cuadro 6 se observan los promedios por tratamiento para el establecimiento de plantas m^{-2} , el porcentaje de pérdidas entre siembra y establecimiento, el número de macollos fértiles por planta⁻¹, la altura de plantas y el largo de espigas.

Cuadro 6. Establecimiento, pérdidas en el establecimiento, número de macollos fértiles, altura de la planta y largo de la espiga en cada dosis de semilla.

Dosis semilla (kg ha ⁻¹)	Establecimiento (Plantas m ⁻²)	Pérdidas (%)	Macollos Fértiles planta ⁻¹	Altura planta (cm)	Largo espiga (cm)
30	56 A	17,2	4,8 C	72,8	7,5
60	113 B	17,9	2,7 B	86,7	8,5
90	195 C	6,9	1,4 A	89,1	8,0
120	248 D	9,9	0,8 A	89,1	8,0
150	283 D	17,3	0,7 A	90,3	8,4
D.M.S. ($p \leq 0,05$)	43,2	n.s.	1,3	n.s.	n.s.

D.M.S., prueba de la diferencia mínima significativa; n.s., no significativo.

Como se esperaba, el establecimiento de plantas mostró diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) asociadas a la dosis de semilla sembrada, mostrando una relación directa con la dosis de semilla. El porcentaje de pérdidas en el establecimiento no presenta diferencias estadísticamente significativas, pero tiende a ser mayor con las dosis extremas y menor con dosis intermedias. Esto se podría atribuir en las dosis bajas a problemas tecnológicos del manejo agronómico, como profundidad excesiva de siembra, mala preparación del terreno y/o a la dificultad para competir con malezas, en cambio en las dosis altas es atribuible a los efectos negativos de la competencia intraespecífica por recursos ambientales.

El número de macollos fértiles por planta disminuyó en forma estadísticamente significativa ($p \leq 0,05$) con la mayor dosis de semilla, teniendo la menor dosis de semilla 5 veces más macollos que la mayor dosis de semilla.

No hubo diferencias significativas en altura de planta, ni en largo de espiga, pero se observa una tendencia al aumento de la altura de las plantas al aumentar la dosis de semillas, lo que coincide con variadas experiencias que indican que la mayor competencia por luz induce a las plantas a crecer en altura, asociado a un adelgazamiento de los tallos y con ello, aumento de la probabilidad de que el cultivo se tienda durante el llenado de granos.

En la Figura 2 se observa una relación inversa, pues a medida que aumenta la dosis de siembra, disminuye el número de macollos fértiles por planta. Esta respuesta puede ser resultado de la competencia dada por el aumento en la dosis de siembra (Otteson, 2008). Los investigadores García del Moral (1995), obtuvieron resultados que indicaron que el macollaje en cebada parecía estar determinado fuertemente por el medioambiente, y en este caso el aumento de la dosis de siembra modifica el ambiente que rodea a cada individuo disminuyendo su capacidad para macollar. Inversamente el menor establecimiento fue compensado con un mayor número de macollos fértiles por planta.

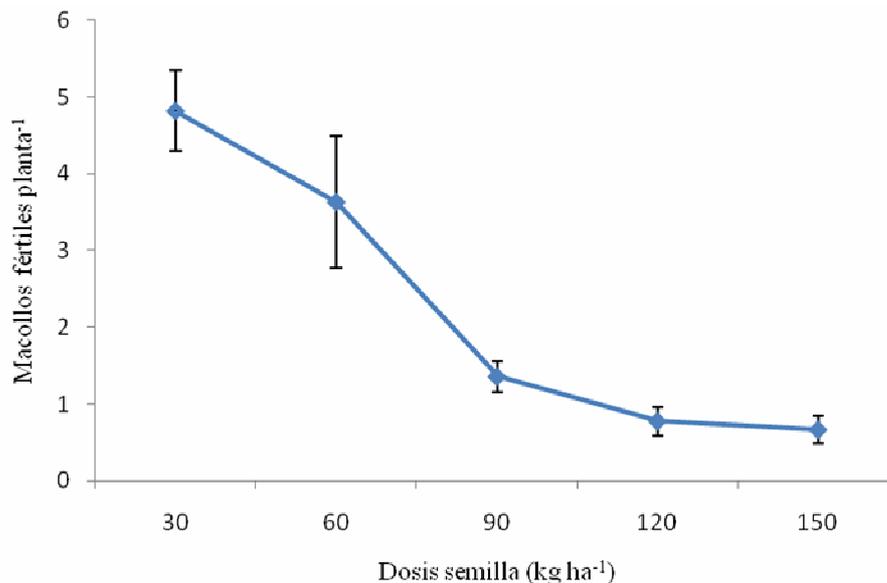


Figura 2. Relación inversa entre el número de macollos vivos y la dosis de semilla. Las barras representan el error estándar (\pm).

La ramificación basal, llamada macollaje en los cereales es controlada en parte por el sistema fitocromo, que censa la relación de luz rojo/rojo lejano. La formación de macollos es retardada en cultivos poco espaciados debido a que la luz transmitida hacia la base de los tallos es rica en longitudes de onda rojo lejano, haciendo que los valores totales sean bajos en esa zona. Al tener un cultivo más espaciado se aumenta el total de luz rica en longitudes de onda rojo lo que promueve el macollaje, tal como ocurre con la ramificación en las dicotiledóneas (Salisbury, 1992).

Rendimiento

En el Cuadro 7 se presentan los resultados obtenidos para cada tratamiento en: biomasa, índice de cosecha, rendimiento y los principales factores que lo determinan; el peso de los 1.000 granos y el número de granos por metro cuadrado, en las distintas dosis de semillas. No se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) en ninguna de estas variables.

Cuadro 7. Valores de biomasa, índice de cosecha, rendimiento, peso 1000 granos y granos por metro cuadrado.

Dosis semilla (kg ha ⁻¹)	Biomasa (kg ha ⁻¹)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	IC ¹ (%)	Peso 1000 granos (g)	Granos (m ⁻²)
30	12.956	2.864	23	31,4	9.253
60	15.934	3.375	22	32,7	10.328
90	15.123	3.628	24	35,5	10.234
120	14.108	3.332	24	32,9	10.192
150	13.737	3.308	24	31,1	10.881
D.M.S. ($p \leq 0,05$)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

¹ Índice de cosecha

D.M.S., prueba de la diferencia mínima significativa; n.s., no significativo.

La biomasa tiende a ser mayor a densidades intermedias y disminuye en las densidades extremas. La magnitud de los cambios en la biomasa total producida por los cultivos, depende de los mecanismos de compensación en bajas densidades y de la tolerancia al estrés por alta densidad. Los mecanismos de compensación más importantes en la intercepción de la radiación son el macollaje, la producción y senescencia de hojas y la geometría del canopeo (Kruk y Satorre, 2003).

El tratamiento con la menor dosis de siembra es el único que obtuvo un rendimiento menor a 3 ton ha⁻¹. En condiciones de riego, Arduini *et al.*, (2006) al comparar dosis de 200, 250 y 400 semillas m⁻², obtuvieron el mayor rendimiento de granos con la mayor dosis de siembra, principalmente por un mayor número de granos por m⁻² y un mayor número de espigas por m⁻². Además, otros autores encontraron que, si bien menores densidades de plantas (50 plantas m⁻²) produjeron una reducción de la biomasa total y el rendimiento de granos, la reducción en el rendimiento de granos no fue significativamente menor que en la mayor densidad de plantas (200 plantas m⁻²) (Turner *et al.*, 1994).

A un amplio rango de variaciones en la densidad, las respuestas en el cultivo del trigo son explicadas por modelos asintóticos, tanto para la biomasa aérea como para el rendimiento en grano por unidad de área (Kruk y Satorre, 2003). Coincidiendo con diversos estudios respecto al tema (Turner *et al.*, 1994; Acevedo y Silva, 2003; Duggan *et al.*, 2005; Bustos y Calderini, 2011), los rendimientos no mostraron diferencias estadísticamente significativas

y al graficar se obtiene una curva asintótica (Figura 3). Los rendimientos individuales caen marcadamente con el aumento de la densidad pero, debido a la plasticidad fenotípica y a la capacidad compensatoria de esta especie, los rendimientos por unidad de área suelen ser constantes en un amplio rango de densidades (Kruk y Satorre, 2003).

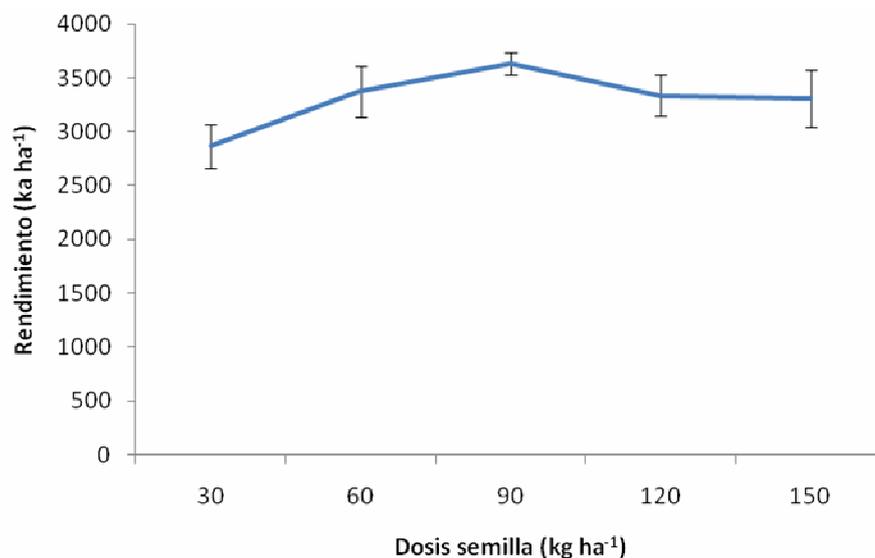


Figura 3. Relación asintótica entre el rendimiento y la dosis de semillas. Las barras representan el error estándar (\pm).

French y Schultz (1984) concluyeron que en condiciones de secano, la limitación hídrica es el principal factor que regula la expresión del rendimiento y postularon que del total de agua usada por un cultivo, 110 mm aproximadamente correspondían a evaporación directa de agua desde el suelo. Además, que había una relación entre el rendimiento potencial bajo sequía y el agua usada por el cultivo: así el cultivo produce 20 kg de grano por hectárea por cada milímetro de agua transpirada. Aplicando esta propuesta al presente ensayo, en el cual se evapotranspiraron un total de 280,7 mm y considerando que se evaporaron 110 mm, obtenemos un rendimiento potencial de 3.414 kg ha⁻¹, lo cual nos entrega una aproximación bastante cercana a los rendimientos obtenidos en esta investigación. Puckride y Donald (1967), realizaron estudios en Australia Occidental y determinaron que, para el cultivo de trigo en el régimen de secano local (250-450 mm precipitados por año), el rendimiento por unidad de área fue mayor a densidades intermedias. Además que algunos componentes del rendimiento, como el peso de los granos, no fueron afectados marcadamente por la densidad. Duggan *et al.*, (2005) estudiaron el efecto de variedades que poseían un gen inhibidor del macollaje, observaron que al aumentar la densidad de siembra de 50 a 100 kg no incrementó el rendimiento de las variedades comerciales locales, ni de las con el gen inhibidor, aunque ambas tendieron a rendir más con la alta densidad.

El índice de cosecha (IC) no mostró variaciones en los distintos tratamientos, pero fue bajo por efecto de la sequía terminal presente en climas de secano mediterráneo. El trigo candeal

en condiciones de riego puede lograr un índice IC de hasta 0,45 (Duggan *et al.*, 2005), pero en las condiciones locales del ensayo solo logró IC promedio de 0,24. Otros autores concluyeron que en secano mediterráneo el IC del trigo se establece entre 0,2 - 0,35 (Islam, 1980). Por otra parte, Passioura (2001) relacionó el rendimiento, la biomasa a cosecha y el índice de cosecha con la proporción de agua disponible para ser usada durante la floración. Concluyó que si el cultivo florece tarde producirá mucha biomasa, pero su rendimiento será bajo por falta de agua para el llenado de granos, en consecuencia el índice de cosecha será bajo también. Esta misma situación de escasez hídrica, desde floración en adelante dada por la distribución desigual de las precipitaciones (ver Apéndice II), puede haber afectado al cultivo de este ensayo, lo que explicaría su bajo rendimiento e índices de cosecha. Otra situación que plantea este autor, es que un cultivo que florece antes del tiempo óptimo, si no es afectado por heladas, puede alcanzar altos índices de cosecha, pero no producirá la biomasa suficiente para establecer un número de granos para alcanzar un alto rendimiento.

En el peso de los 1.000 granos se observa el efecto de la sequía terminal que provocó un bajo valor de este componente del rendimiento. Este valor debiera fluctuar alrededor de los 58 g en la producción bajo riego, pero por la falta de agua durante el llenado de los granos solo alcanzó un valor promedio de 32,7 g. Además se observa que los mayores valores de este parámetro coinciden con los mayores rendimientos.

En el Cuadro 8 se observa el número de espigas m^{-2} , el número de granos por espiga y el número de espiguillas por espiga.

Cuadro 8. Número de espigas, número de granos por espiga y número de espiguillas.

Dosis de semilla (kg ha ⁻¹)	Espigas (m ⁻²)	Granos por espiga	Espiguillas por espiga
30	321,7	29,2	22,8 B
60	401,6	26,1	22,1 B
90	454,9	22,6	21,9 B
120	438,7	23,4	20,6 A
150	459,7	23,9	19,8 A
D.M.S. (p ≤ 0,05)	n.s.	n.s.	1,1

D.M.S., prueba de la diferencia mínima significativa; n.s., no significativo.

El número de espiguillas $espiga^{-1}$ aumentó en forma estadísticamente significativa (p ≤ 0,05) en las dosis de siembra menores (30, 60 y 90 kg semilla ha⁻¹). Además se observó una tendencia de mayor número de granos por espiga con las menores dosis de siembra.

En trigo los mayores rendimientos se alcanzan con altas poblaciones de espigas. En ambientes de alta productividad, pueden obtenerse con bajas densidades de cultivares macolladores o con altas densidades de cultivares con poco potencial de macollaje (Kruk y Satorre, 2003).

Calidad

En el Cuadro 9 se presentan los resultados de los dos parámetros de calidad que fueron medidos en los granos cosechados; peso del hectólitro y porcentaje de proteína de los granos. Podemos observar que los tratamientos no produjeron diferencias significativas en los parámetros medidos.

Cuadro 9. Peso del hectólitro y porcentaje de proteína.

Dosis semilla (kg ha ⁻¹)	Peso hectólitro (Kg hL ⁻¹)	Proteína (%)
30	75,9	13,1
60	77,7	12,9
90	78,3	12,9
120	78,3	13,1
150	77,9	13,1
D.M.S. (p ≤ 0,05)	n.s.	n.s.

D.M.S., prueba de la diferencia mínima significativa; n.s., no significativo.

Las características industriales de una partida de trigo son consecuencia de varios factores que las modifican en mayor o menor medida; la genética, las condiciones agroclimáticas, las prácticas de manejo aplicadas al cultivo y el manejo de post-cosecha del grano. En términos generales la genética que posee una determina variedad es responsable del 50% de la calidad final que obtengamos en el trigo, el otro 50% está determinado por las condiciones ambientales y de manejo (Acevedo *et al.*, 2008).

El peso del hectolitro es un factor directamente correlacionado con el rendimiento de semolina, y depende de la uniformidad, forma, tamaño y densidad del grano, y del contenido de materias extrañas y granos quebrados de la muestra (Acevedo *et al.*, 2008). En promedio se obtuvo un bajo peso del hectolitro de 77,6 kg hL⁻¹, probablemente por el aumento de las temperaturas y estrés hídrico terminal que debieron enfrentar las plantas durante el llenado de granos. Con este valor la industria recibe la producción, pero con un castigo en el precio, por ser menor a 79 kg hL⁻¹.

El contenido promedio de proteína de los granos fue de 13%, lo que se considera bueno en la industria de las pastas, la que bonifica sobre el 12% de proteína en los granos. Existen distintas calidades de proteína de reserva, por lo tanto influye tanto la calidad como la cantidad de ésta. Las proteínas tienen la capacidad de entregar fuerza y resistencia en la elaboración de las pastas y mantener la forma, textura, consistencia y apariencia durante la cocción de las mismas (Acevedo *et al.*, 2008).

Costos de producción

Al no afectarse el rendimiento, ni la calidad, puede reducirse el insumo semillas que representa un 10% de los costos de producción para el agricultor. A nivel nacional el tipo de semilla utilizada en general es de buena calidad. Los productores adquieren volúmenes importantes de semillas certificadas, principalmente de las variedades Llaretta INIA y Corcolen INIA, las que vuelven a ser utilizadas como semilla en la temporada siguiente, previa selección realizada por ellos mismos. También se sigue utilizando la variedad Chagual INIA, la cual se vende como semilla corriente. Esta es una variedad antigua que, aunque ya está liberada, sigue siendo valorada, principalmente por los productores en la zona centro norte del país (Acevedo *et al.*, 2008).

Un factor relevante en la obtención de una producción homogénea es el uso de semillas certificadas en la producción de cultivos, debido principalmente a la seguridad que estas otorgan en cuanto a la pureza física y varietal, además de altos porcentajes de germinación. Sin embargo, las leyes que protegen a los obtentores de nuevas variedades, como la ley 19.342 y la actualización del tratado UPOV-91, que extiende el derecho de la propiedad intelectual de la semilla hacia los productos y la cosecha que éstas generen, podrían hacer que el gasto en semillas dentro de los costos de producción del trigo aumente.

Según Fundación Chile y ODEPA (2011), el gasto en semilla ocupa el tercer lugar dentro de los costos totales de la producción de trigo, abarcando alrededor de un 10% de éstos. La dosis de semilla que normalmente manejan los agricultores en Chile es de 200 Kg ha⁻¹. En el Cuadro 10 se propone una reducción a la mitad de dicha dosis y se consideró un valor de \$ 17.000 + IVA, por el saco de 50 kg de semilla de trigo (INIA, 2011).

Cuadro 10. Costos y ahorro en semillas para dosis media (100 kg ha⁻¹) y alta (200 kg ha⁻¹).

Superficie de siembra (ha)	Costo por dosis de siembra (\$)		Ahorro en semillas
	100 (kg ha ⁻¹)	200 (kg ha ⁻¹)	
50	2.023.000	4.046.000	2.023.000
100	4.046.000	8.092.000	4.046.000
150	6.069.000	12.138.000	6.069.000
200	8.092.000	16.184.000	8.092.000

La utilización de menores dosis de siembra puede generar una importante reducción en los gastos de producción dependiendo de la superficie productiva. Es importante destacar que el uso de menores dosis de siembra requiere el uso de genotipos con mayor capacidad de macollaje. Así mismo, Elhani *et al.*, (2007) concluyeron que el macollaje ofrece una oportunidad a los agricultores para bajar la dosis óptima económica.

CONCLUSIONES

En las condiciones de secano mediterráneo en que se llevó a cabo este ensayo, se puede concluir que:

El contenido de agua del suelo no presentó diferencias significativas entre la menor (30 kg ha^{-1}) y la mayor dosis de siembra (200 kg ha^{-1}).

El uso de dosis de siembra bajas no reduce los rendimientos, ni afecta a sus componentes principales; peso de los mil granos y granos por m^2 . La estabilidad en el rendimiento en las dosis de semillas bajas se debe a un macollaje hasta 5 veces mayor que en las altas dosis.

El uso de dosis de siembra bajas no afecta el porcentaje de proteína, ni el peso del hectólitro de los granos.

Es posible reducir los costos totales de producción, reduciendo la dosis de semilla de 200 a 100 kg ha^{-1} , sin alterar el rendimiento y la calidad de los granos de trigo candeal en condiciones de secano mediterráneo.

BIBLIOGRAFÍA

Opazo, M. 2002. Evaluación de la resistencia a estrés hídrico y estabilidad de rendimiento en genotipos de trigo (*Triticum aestivum* L.). Memoria Ingeniera Agrónoma, mención Fitotecnia. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 27 p.

Acevedo, E. y P. Silva. 2003. Agronomía de la cero labranza. Editorial Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile Serie Ciencias Agronómicas N° 10. Santiago, Chile. 132 p.

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. 182 p.

Acevedo, R., F. Araya, M. Cabello, G. Herrera, G. Leyton, M. Toro, R. Vásquez y M. Zerené. 2008. Estudio de competitividad de la cadena del trigo candeal. Fundación Chile. 119 p.

Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Servicio de Recursos, Fomento y Aprovechamiento de Aguas. FAO. 298 p.

Arduini, I., A. Masoni, L. Ercoli and M. Mariotti. 2006. Grain yield, and dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in durum wheat as affected by variety and seeding rate. *European Journal of Agronomy* 25 (4): 309-318.

Bazzaz, F. and W. Sombroek. 1996. Global climate change and agricultural production: direct and indirect effects of changing hydrological, pedological and plant physiological processes. FAO. 319 p.

Bustos, D. y D. Calderini. 2011. Respuesta del rendimiento a la baja densidad de siembra. Compensaciones entre los componentes del rendimiento. Taller "Sistemas de producción de trigo y cebada: Decisiones de manejo en base a conceptos ecofisiológicos para optimizar el rendimiento, la calidad y el uso de recursos", 14 y 15 de noviembre. Instituto de Producción y Sanidad Vegetal, Universidad Austral de Chile, Campus Isla Teja, Valdivia, Chile.

Comisión Nacional de Riego. 1981. Estudio de Suelos del Proyecto Maipú. Santiago, Chile. IV: 604 – 802.

Darkinwel, A. 1980. Ear development and formation of grain yield in winter wheat. *Netherland Journal of Agricultural Science* 28: 156-163.

Destro, D., E. Miglioranza, C. A. Arrabal Arias, J. M. Vendrame and J. C. Viera de Almeida. 2001. Main stem and tiller contribution to wheat cultivars yield under different irrigation regimes. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 44: 325-330.

Donald, C.M. 1968. The breeding of crop ideotype. *Euphytica* 17: 385-403.

Duggan, B., R. Richards, A. Van Herwaarden and N. Fettel. 2005. Agronomic evaluation of a tiller inhibition gene (*tin*) in wheat. I. Effect on yield, yield components, and grain protein. *Australian Journal of Agricultural Research* 56 (2): 169-178.

Elhani, S., V. Martos, Y. Rharrabti, C. Royo and L. F. García del Moral. 2007. Contribution of main stem and tillers to durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) grain yield and its components grown in Mediterranean environments. *Field Crops Research* 103: 25-35.

Evans, L., I. Wardlaw and R. Fischer. 1975. Chapter 5: Wheat. p. 101-149. In Evans, L. T. (Ed.) *Crop physiology*. Cambridge University Press, Cambridge. 374 p.

French, R. J. and J. E. Schultz. 1984. Water use efficiency of wheat in a Mediterranean-type environment. I. The relation between yield, water use and climate. *Australian Journal Agriculture Research* 35: 743-764.

Fundación Chile. 2005. Una nueva visión para el sector trigoero en Chile. 99 p.

García del Moral, M. B. and L.F. García del Moral. 1995. Tiller production and survival in relation to grain yield in winter and spring barley. *Field Crops Research* 44 (2): 385-93.

INIA. 2010. Recomendación nacional de variedades INIA: semillas de trigos; “transferencia tecnológica de la genética INIA”. Temporada 2010-2011. Ministerio de Agricultura. Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

Islam, T. and R. Sedgley. 1980. Evidence for a “uniculm effect” in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) in a Mediterranean environment. *Euphytica* 30: 277-282.

Kruk B. y E. Satorre. 2003. Capítulo 13: Densidad y arreglo espacial del cultivo. pp.279-316. In: E. Satorre, R. Benech, G. Slafer, E. de la Fuente, D. Millares, D. Otegui y R. Savín. 2003. Producción de granos: Bases funcionales para su manejo. Editorial Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires, Argentina. 783 p.

Matus, I., R. Madariaga y C. Alfaro. 2008. Pasado, presente y futuro del trigo candeal en Chile. INIA Seminario internacional. Disponible en: [http://www.sap.uchile.cl/descargas/seminario%20trigo%20duro/presentaciones/1_Trigo_candeal_en_Chile_\(Ivan%20Matus\).pdf](http://www.sap.uchile.cl/descargas/seminario%20trigo%20duro/presentaciones/1_Trigo_candeal_en_Chile_(Ivan%20Matus).pdf). Leído el 22 de diciembre del 2009.

ODEPA, 2011. Estadísticas Agropecuarias. Cultivos anuales, frutales y hortalizas. Departamento de Información Agraria, Ministerio de Agricultura. Disponible en: <http://www.odepa.cl/servlet/articulos.ServletMostrarDetalle;jsessionid=3548BAE2A4E3F3807632127B2C9A2001?idcla=12&idn=3893>. Leído el 22 de junio del 2011.

- Olivieri, V. 2009. Efecto de la distancia entre hileras en la eficiencia en el uso del agua en trigo candeal en secano mediterráneo. Tesis Magister en Ciencias Agropecuarias, Mención Producción de Cultivos. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 57 p.
- Otteson, B. N., M. Mergoum, J. K. Ransom, and B. Schatz. 2008. Tiller Contribution to Spring Wheat Yield under Varying Seeding and Nitrogen Management. *Agronomy Journal* 100, (2): 406-413.
- Passioura, J. 2002. Environmental biology and crop improvement. *Functional Plant Biology* 29: 537-546.
- Puckridge, D.W. and C.M. Donald. 1967. Competition among wheat plant sown at a wide range of densities. *Australian Journal of Agricultural Research* 18: 193-211.
- Ramírez, I., R. Cortazar, E. Hacke, D. Granger y M. Zerené. 1997. Llareta INIA, variedad de trigo candeal *Triticum turgidum* var. *Durum* para la zona central de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 57 (3): 212-214.
- Reina, J. 2005. El trigo, el cultivo de trigo en la zona sur del Termino Municipal de Morón de la Frontera (Sierra Sur de Sevilla). *Revista digital Investigación y educación*. N° 19, septiembre 2005. Disponible en: http://www.csi-csif.es/andalucia/modules/mod_sevilla/archivos/revistaense/n19/trigo.pdf. Leído el 29 de diciembre 2009.
- Salisbury, F. and C. Ross. 1992. Capítulo 20: Photomorphogenesis. In: *Plant physiology*. Salisbury, F. and C. Ross. 1992. Utah State University. Belmont, California, Wadsworth. 4th ed. 682 p.
- Santibáñez, F. y J. Uribe. 1990. Atlas Agroclimático de Chile. Regiones V y Metropolitana. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Santiago, Chile. 65 p.
- Turner, N.C. 1991. Crop production on duplex soils: an introduction. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 32 (7): 797-800.
- Turner, N.C., P. Prasertsak and T. L. Setter. 1994. Plant spacing, density, and yield of wheat subjected to postanthesis water deficits. *Crop Science* 34: 741-748.
- Van Herwarden, A.F., R. A. Richard, G. D. Farquhar and J. F. Angus. 1998. 'Haying off', the negative grain yield response of dryland wheat to nitrogen fertilizer. III. The influence of water deficit and heat shock. *Australian Journal of Agricultural Research* 49: 1095-1100.
- Wattal, P. N. 1965. Effect of temperature on the development of the wheat grain. *Indian Journal of Plant Physiology* 8: 145-159.
- Zadoks, J.C., T. Chang and C. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14: 415-421.

APÉNDICES

Apéndice 1

Análisis de varianza, CV y prueba de la diferencia mínima significativa para las mediciones realizadas. Se destacan con sombreado en amarillo los tratamientos que presentan diferencias estadísticamente significativas y por lo tanto se realizó la prueba de la diferencia mínima significativa (D.M.S).

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Biomasa	20	0,66	0,46	10,16

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	49214833,17	7	7030690,45	3,30	0,0338
Tratamiento	21928342,88	4	5482085,72	2,57	0,0920
Bloque	27286490,29	3	9095496,76	4,26	0,0288
Error	25601804,73	12	2133483,73		
Total	74816637,89	19			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rend. grano	20	0,41	0,07	13,09

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1582466,21	7	226066,60	1,21	0,3671
Tratamiento	1217625,70	4	304406,43	1,63	0,2300
Bloque	364840,51	3	121613,50	0,65	0,5970
Error	2239455,07	12	186621,26		
Total	3821921,28	19			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
IC	20	0,17	0,00	16,82

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3,8	7	5,4	0,35	0,9123
Tratamiento	2,0	4	5,1	0,33	0,8532
Bloque	1,8	3	5,9	0,39	0,7647
Error	0,02	12	1,5		
Total	0,02	19			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
PS 1000	20	0.49	0.19	8.69

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	92.49	7	13.21	1.64	0.2159
Tratamiento	49.20	4	12.30	1.53	0.2566
Bloque	43.29	3	14.43	1.79	0.2027
Error	96.78	12	8.07		
Total	189.27	19			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Espigas/m²	20	0.53	0.26	16.16

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	61003.54	7	8714.79	1.94	0.1504
Tratamiento	52120.13	4	13030.03	2.89	0.0687
Bloque	8883.42	3	2961.14	0.66	0.5937
Error	54043.26	12	4503.61		
Total	115046.81	19			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Granos/m²	20	0.30	0.00	17.22

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	15747382.60	7	2249626.09	0.73	0.6497
Tratamiento	5489608.47	4	1372402.12	0.45	0.7730
Bloque	10257774.13	3	3419258.04	1.11	0.3822
Error	36870828.30	12	3072569.03		
Total	52618210.90	19			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Granos/espiga	20	0.31	0.00	18.91

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	118.75	7	16.96	0.76	0.6320
Tratamiento	114.86	4	28.71	1.28	0.3308
Bloque	3.89	3	1.30	0.06	0.9809
Error	268.84	12	22.40		
Total	387.58	19			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Espiguillas/espiga	20	0.82	0.72	3.19	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	26.08	7	3.73	7.97	0.0010
Tratamiento	23.02	4	5.75	12.32	0.0003
Bloque	3.06	3	1.02	2.18	0.1428
Error	5.61	12	0.47		
Total	31.69	19			

Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.05303

Error: 0.4672 gl: 12

Tratamiento	Mediasn	E.E.	
5.00	19.80	4	0.34 A
4.00	20.58	4	0.34 A
3.00	21.85	4	0.34 B
2.00	22.10	4	0.34 B
1.00	22.75	4	0.34 B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Altura planta	20	0.45	0.12	13.65	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1321.16	7	188.74	1.38	0.2965
Tratamiento	851.79	4	212.95	1.56	0.2475
Bloque	469.37	3	156.46	1.15	0.3701
Error	1638.01	12	136.50		
Total	2959.18	19			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Largo espiga	20	0.24	0.00	16.29

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6.63	7	0.95	0.55	0.7851
Tratamiento	2.30	4	0.58	0.33	0.8514
Bloque	4.32	3	1.44	0.83	0.5023
Error	20.83	12	1.74		
Total	27.46	19			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Plantas/m²	20	0.94	0.90	15.66

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	142414.65	7	20344.95	25.92	<0.0001
Tratamiento	141221.70	4	35305.43	44.97	<0.0001
Bloque	1192.95	3	397.65	0.51	0.6851
Error	9420.30	12	785.03		
Total	151834.95	19			

Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=43.16648

Error: 785.0250 gl: 12

Tratamiento	Mediasn	E.E.			
1.00	56.25	4	14.01	A	
2.00	112.50	4	14.01		B
3.00	195.00	4	14.01		C
4.00	248.25	4	14.01		D
5.00	282.75	4	14.01		D

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% Pérdida	20	0.21	0.00	108,16

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	653,22	7	93,32	0,45	0,8508
Tratamiento	567,58	4	141,89	0,69	0,6145
Bloque	85,65	3	28,55	0,14	0,9352
Error	2477,99	12	206,50		
Total	3131,22	19			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Macollos/pl	20	0.86	0.78	39.31

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	49.50	7	7.07	10.73	0.0002
Tratamiento	48.65	4	12.16	18.46	<0.0001
Bloque	0.85	3	0.28	0.43	0.7368
Error	7.91	12	0.66		
Total	57.41	19			

Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.25060

Error: 0.6589 gl: 12

Tratamiento	Mediasn		E.E.	
5.00	0.65	4	0.41	A
4.00	0.78	4	0.41	A
3.00	1.38	4	0.41	A
2.00	2.70	4	0.41	B
1.00	4.83	4	0.41	C

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso hectolitro	20	0,41	0,07	1,88

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	18,08	7	2,58	1,21	0,3659
Tratamiento	15,89	4	3,97	1,87	0,1810
Repetición	2,19	3	0,73	0,34	0,7948
Error	25,52	12	2,13		
Total	43,60	19			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Proteína (%)	20	0,27	0,00	3,87

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,11	7	0,16	0,62	0,7273
Tratamiento	0,24	4	0,06	0,23	0,9141
Repetición	0,87	3	0,29	1,15	0,3701
Error	3,04	12	0,25		
Total	4,15	19			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Cobertura 1	20	0,87	0,83	9,45

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3405,00	4	851,25	24,61	<0,0001
Parcela	3405,00	4	851,25	24,61	<0,0001
Error	518,75	15	34,58		
Total	3923,75	19			

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=8,86326

Error: 34,5833 gl: 15

Parcela	Mediasn	n	E.E.			
30,00	40,00	4	2,94	A		
60,00	56,25	4	2,94		B	
90,00	67,50	4	2,94			C
120,00	70,00	4	2,94			C D
150,00	77,50	4	2,94			D

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Cobertura 2	20	0,56	0,44	5,34

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	491,50	4	122,88	4,70	0,0117
Parcela	491,50	4	122,88	4,70	0,0117
Error	392,25	15	26,15		
Total	883,75	19			

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=7,70719

Error: 26,1500 gl: 15

Parcela	Medias	n	E.E.		
30,00	86,25	4	2,56	A	
60,00	95,75	4	2,56		B
120,00	97,75	4	2,56		B
90,00	99,00	4	2,56		B
150,00	100,00	4	2,56		B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Apéndice II

Cuadro 11, datos climáticos mensuales desde marzo a diciembre del año 2009.

Cuadro 11. Valores mensuales de temperatura (T) y precipitación (Pp).

Mes	T mín	T máx	Pp
	(°C)		(mm)
Marzo	10,4	28,4	3,4
Abril	7,3	25,7	10,0
Mayo	5,3	19,3	15,2
Junio	3,1	16,6	103,2
Julio	1,8	16,1	20,0
Agosto	4,0	17,4	91,8
Septiembre	4,0	17,0	59,4
Octubre	7,3	23,3	22,0
Noviembre	8,0	23,8	0,8
Diciembre	9,8	28,6	1,0
TOTAL	6,1	21,6	326,8