

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título.

**EFECTO DEL PRECULTIVO SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DE
TRIGO CANDEAL (*Triticum turgidum* L. ssp. durum) EN MEDIO AMBIENTES
MEDITERRANEOS EN CONDICIONES DE CERO LABRANZA.**

Álvaro Gabriel Aillapan Aravena.

Santiago, Chile.

2012.

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título.

EFFECTO DEL PRECULTIVO SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DE TRIGO CANDEAL (*Triticum turgidum* L. ssp. durum) EN MEDIO AMBIENTES MEDITERRANEOS EN CONDICIONES DE CERO LABRANZA.

PREVIOUS CROPS EFFECTS ON THE YIELD AND QUALITY OF DURUM WHEAT (*Triticum turgidum* L. ssp. durum) CROPPED IN A MEDITERRANEAN ENVIRONMENTS UNDER NO TILL.

Álvaro Gabriel Aillapan Aravena.

**Santiago, Chile.
2012.**

UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE PREGRADO

EFFECTO DEL PRECULTIVO SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DE TRIGO CANDEAL (*Triticum turgidum* L. ssp. durum) EN MEDIO AMBIENTES MEDITERRANEOS EN CONDICIONES DE CERO LABRANZA.

Memoria para optar al título Profesional de:
Ingeniero Agrónomo.

Álvaro Gabriel Aillapan Aravena.

PROFESORES GUIAS

Calificaciones

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

6,0

Sr. Edmundo Acevedo H.
Ingeniero Agrónomo, M.S.PhD.

6,0

PROFESORES EVALUADORES

Sra. Cecilia Baginsky G.
Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Dra.

5,5

Sr. Thomas Fichet L.
Ingeniero Agrónomo, Dr.

5,8

**Santiago, Chile
2012**

*A mis padres, familia,
Polola y especialmente
a Tañi futa
Juan Segundo Aillapan Cayuleo,
el hombre que me
inspiro con su
ejemplo a querer
trabajar y
respetar la tierra.
Marrichiweu.*

AGRADECIMIENTOS.

A mis profesores guías Don Edmundo Acevedo y Paola Silva que me apoyaron, me brindaron de su valioso tiempo para resolver mis preguntas, apoyo, paciencia, consejos y sugerencias que me permitieron la consecución de esta memoria de título.

A mi abuelo Juan Segundo Aillapan Cayuleo, el cual con su ejemplo, su esfuerzo y su dedicación inalcanzable me enseñó a querer y trabajar en el campo y mi querida tierra araucana.

A mis ancestros, desde el primer Aillapan que piso esta tierra, a todas esas generaciones pasadas que me permitieron habitar hoy esta tierra. Gracias a todos ustedes viejitos que siempre han estado conmigo desde el Wenu Mapu.

A mis padres Gabriel Aillapan y Gabriela Aravena que siempre han estado conmigo, apoyándome incondicionalmente y han sido un pilar fundamental en mi vida.

A mi polola Erica Malo Painemilla, mi hermosa mujer mapuche que Chaw Ngechen me dio la suerte de conocer. Gracias amor mío, gracias por todos los momentos que me has dado, todo el cariño que me has brindado y sobre todo el apoyo y amor. Esto te lo dedico a ti.

A mis compadres y hermanos Juan Abarzua y Antonio Huaiquinao que me apoyaron constantemente a pesar de la distancia y me brindaron su cariño, estima, compañerismo, ayuda y muchas otras cosas más que no puedo expresar en palabras.

A mis tíos Naldo Abarzua y Nérida Aillapan, que me acogieron en su casa para poder llevar acabo mi práctica profesional en INDAP Área Temuco y por su constante apoyo en ayudarme a salir adelante brindándome la oportunidad de tener mis primeros animales, entre otras cosas

A todas aquellas personas que de una u otra forma me ayudaron y colaboraron conmigo para la realización de esta memoria de título.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
Hipótesis	5
Objetivo General	5
Objetivos específicos	5
MATERIALES Y METODOS	6
LUGAR DE ESTUDIO	6
MATERIALES	6
METODOLOGIA	6
Tratamientos y Diseño de Experimentos	6
Procedimiento	7
Mediciones en el cultivo	8
Mediciones del suelo	9
Mediciones climáticas	9
Análisis estadístico	9
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	10
Información climática	10
Contenido de agua en el suelo	11
Contenido de nitrógeno disponible en el suelo	12
Medición SPAD	13
Resistencia a la penetración	14
Establecimiento de plantas	16
Información fenológica	17
Rendimiento y sus componentes	17
Espigas fértiles / planta	20
Calidad	21
Contenido de proteína	21
Peso hectolitro	22
CONCLUSIONES	23
BIBLIOGRAFIA CITADA	24

RESUMEN.

En Chile, el trigo candeal (*Triticum turgidum* L. ssp durum) ha sido desplazado desde el área de riego de la zona central a áreas de secano de la zona centro sur, por frutales y cultivos de mayor rentabilidad. Históricamente, la producción y las investigaciones de este cereal se han llevado a cabo bajo condiciones de riego, labranza tradicional y con sistemas de rotaciones que han sido limitados incurriendo constantemente en monocultivos, situación que afecta negativamente el rendimiento y además la degradación del suelo debido al laboreo, reduciendo el contenido de carbono orgánico. En base a lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de los precultivos de arveja, haba, raps y trigo en el rendimiento y en la calidad del trigo candeal en condiciones de cero labranza. Para ello, se dispuso de 4 precultivos: trigo, arveja, haba y raps; 2 niveles de nitrógeno: 0 kg N ha⁻¹ y 160 kg N ha⁻¹ y 4 repeticiones. Se llevaron a cabo mediciones de información climática, contenido de agua y nitrógeno en el suelo, resistencia a la penetración y a nivel del cultivo se midió fenología, establecimiento, biomasa, rendimiento y sus componentes, contenido de proteína y peso hectolitro.

Los rendimientos fueron bajos fundamentalmente en aquellos tratamientos que recibieron fertilización nitrogenada debido al efecto de “Haying off”. No hubo interacción entre nivel de nitrógeno y precultivos para el índice de cosecha, espiga por metro cuadrado, granos por espiga y granos por metro cuadrado. En términos de la calidad del grano, el contenido de proteína fue mayor en los tratamientos en que se aplicó fertilización nitrogenada variando en un rango entre 14-15%. El peso hectolitro tuvo una tendencia opuesta al contenido de proteína, debido a que los tratamientos sin fertilización nitrogenada tuvieron un mayor peso hectolitro debido también al efecto del “Haying off” que generó granos chupados y de bajo peso. La principal variable que influyó en este estudio fue el bajo monto de precipitación (230 mm) durante el periodo de crecimiento del cultivo que generó un estrés hídrico terminal.

Palabras claves

Contenido de proteína del grano, peso hectolitro del grano, estrés hídrico terminal.

ABSTRACT

In Chile, wheat, wheat (*Triticum turgidum* L. ssp durum) has been moved from the irrigation area of the central zone to upland areas in the central south, fruit and more profitable crops. Historically, production and research of this cereal has been carried out under conditions of irrigation, tillage systems and rotations that have been constantly incurring limited monocultures, which affects performance negatively and further land degradation due to tillage, reducing the content of organic carbon. Based on this, the purpose of this study was to determine the effect of previous crops of pea, bean, rapeseed and wheat yield and quality of durum wheat under zero tillage. To do this, he set of 4 previous crops wheat, pea, bean and rapeseed, 2 nitrogen levels: 0 kg N ha⁻¹ and 160 kg N ha⁻¹ and 4 repetitions. Measurements were carried out climate information, water content and nitrogen in the soil penetration resistance as measured at the crop phenology, establishment, biomass, yield and yield components, protein content and hectolitre weight. Yields were low primarily in those treatments which nitrogen fertilization received by the effect of "Haying off". There was no interaction between nitrogen level and previous crops for harvest index, spike per square meter, grains per spike and grains per square meter. In terms of grain quality, protein content was higher in treatments where N fertilizer was applied in a range varying between 14-15%. The hectolitre weight had a tendency opposite to the protein, because the treatments without N fertilization had higher hectolitre weight also due to the effect of "Haying off" genre sucked grains and low weight. The main variable that influenced this study was the low amount of precipitation (230 mm) during crop growth generated a terminal drought stress

Key words

Protein content of grain, hectolitre weight of grains, terminal drought stress.

INTRODUCCIÓN

El trigo candeal (*Triticum turgidum* L. ssp. durum) se cultiva en una superficie de aproximadamente 20 millones de hectáreas en el mundo, de las cuales más de la mitad se ubica en la zona mediterránea que es la condición climática óptima para la producción de grano de alta calidad. El trigo candeal se destina principalmente a la producción de pastas, couscous y burguhl. La producción mundial de trigo candeal es de 27.000.000 toneladas (Acevedo y Silva, 2007).

En Chile, la producción del trigo candeal durante la temporada 2009/10 fue de 957.754 qqm, lo cual constituye el 7% de la producción de trigo nacional. El rendimiento medio fue de 6670 kg ha⁻¹ y la superficie de 14.355 ha (INE, 2010). En la actualidad, el trigo candeal está siendo desplazado desde la zona central de riego a la zona centro sur donde dominan condiciones de secano, debido a la mayor rentabilidad de otros cultivos de regadío (Acevedo y Silva, 2007). La zona centro sur, desde la región Metropolitana a la región del Bio-Bio, posee un clima mediterráneo, que es ideal para obtener un trigo de calidad.

El trigo candeal tiene la ventaja de tener un mercado potencial interesante, ya que en América Latina sólo Argentina es exportador de este tipo de trigo, cuyo producto no es de buena calidad, debido a que en la zona productora de trigo las precipitaciones de verano generan problemas sanitarios como punta negra y micotoxinas entre otros. Chile tiene la oportunidad de satisfacer la demanda de Perú, Colombia, Venezuela y Brasil, países con los cuales ha suscrito tratados de libre comercio (TLC). Sin embargo, se debe tener en cuenta que el trigo candeal de exportación requiere de altos estándares de calidad, sobresaliendo la proteína la que debe alcanzar un mínimo de un 13% de la materia seca del grano y que en Chile fluctúa entre 10 y 11%.

Diferentes estudios han informado que la calidad del trigo, específicamente el contenido de proteína, está determinado por la interacción de una serie de factores, como genotipo, suelo, clima, prácticas de cultivo y condiciones de almacenamiento de grano (Randall y Moss, 1990; Blumenthal *et al.*, 1991; Borghi *et al.*, 1997). El método de labranza y la rotación de cultivos influyen particularmente en este parámetro y en el rendimiento del trigo candeal, al igual que la dosis y el momento de aplicación de fertilizante nitrogenado (Zentner *et al.*, 1990; Cox y Shelton, 1992; Borghi *et al.*, 1995).

La cero labranza consiste en no realizar labranza del suelo y además en sembrar, dejando la cobertura de residuos del cultivo anterior sobre este. La cobertura de rastrojos que queda sobre el suelo reduce la evaporación directa del agua desde la superficie del suelo y aumenta la infiltración, estabilizando la producción en zonas semiaridas (Lal, 1975; Fisher, 1987; Unger *et al.*, 1991; Rinaldi *et al.*, 2000). En condiciones de secano, la cero labranza puede aumentar tanto la eficiencia del uso del agua como el rendimiento de grano de trigo, al aumentar el almacenamiento del agua en el suelo (Bonfil *et al.*, 1999). Sin embargo, el efecto de la cero labranza es a veces contradictorio, y depende del tipo de suelo, el clima y el historial de manejo (Prasad y Power, 1991), debido a que en algunos casos este tipo de siembra puede ocasionar compactación, afectando negativamente el crecimiento de los cultivos (Ferrerías *et al.*, 2000; Martínez *et al.*, 2008).

En un estudio llevado a cabo en las localidades de Foggia y Vasto, al sur de Italia, se evaluó el efecto de la cero labranza y de la labranza convencional en el monocultivo de trigo candeal en condiciones mediterráneas durante 3 años. En la localidad de Foggia,

en los dos primeros años hubo mayor rendimiento en cero labranza que en labranza convencional, siendo en los primeros 3 años mayor el peso de los 1000 granos y el peso del hectolitro en cero labranza. En Vasto, el rendimiento de los dos sistemas fue similar en los dos primeros años y mayor en labranza convencional en el tercer año, debido al desarrollo de enfermedades fúngicas como el oidio (*Blumeria graminis* sp tritici) y la roya de la hoja (*Puccinia recondita* sp tritici). En Foggia, los autores señalan que se logra un mayor rendimiento en cero labranza cuando las precipitaciones son menores a 300 mm. Estos mejores resultados se deben a que la cero labranza genera una menor evaporación del agua contenida en el suelo y mayor humedad en el suelo en comparación con la labranza convencional (De Vita *et al.*, 2007). Estos resultados avalan que bajo condiciones mediterráneas, la cero labranza sea una alternativa viable en términos de producción y calidad (López- Bellido *et al.*, 1998).

La rotación de cultivos ha evolucionado como una estrategia para obtener buen rendimiento en ambientes estresados debido a una mayor eficiencia del uso del agua, a la fijación de nitrógeno cuando se incluyen leguminosas en la rotación, y a que se rompen los ciclos de enfermedades, plagas y malezas (Ryan *et al.*, 2008). Por lo tanto, un uso adecuado de rotaciones de cultivo contribuye a mejorar la eficiencia en la utilización del nitrógeno y de otros nutrientes del suelo (Rouanet *et al.*, 2005).

Si bien el cultivo de leguminosas ha demostrado que aumenta el rendimiento de cereales en ambientes semiáridos, se ha dado poco énfasis a la calidad de los cereales en los ensayos de rotación (Ryan *et al.*, 2008). Las rotaciones donde se incluyen leguminosas son más eficientes fundamentalmente en la fijación de nitrógeno en el suelo, particularmente la rotación trigo sobre haba, debido a su efecto positivo tanto en el rendimiento como en el contenido de proteína del grano de trigo (López- Bellido *et al.*, 1998). Un trabajo de larga duración basado en la información climática de 53 años realizado en una rotación haba-trigo hecho en el sur de Italia, mostró que el haba tiene efecto positivo en la fijación de nitrógeno y en el rendimiento del grano de trigo. El aumento de rendimiento del trigo seguido del cultivo de haba fue de un 12% comparado con un monocultivo de trigo candeal. Además el estudio confirmó que al introducir haba en rotación con trigo candeal se redujo la necesidad de aplicación de nitrógeno (Garofalo *et al.*, 2009). En otro trabajo realizado en condiciones de secano en Marruecos con un rendimiento promedio de 1500 kg ha⁻¹ para 23 genotipos de trigo candeal, se observó un porcentaje de proteína de 12,2% en monocultivo de trigo candeal, 14,4% en una rotación trigo candeal – barbecho y 16,2% en una rotación trigo candeal-lenteja. Tanto el contenido de proteína como el índice de sedimentación y el rendimiento fueron mejores en las rotaciones que en el monocultivo. La diferencia en la calidad y rendimiento de trigo candeal proveniente de barbecho y rotación con lenteja fue menor (Amri *et al.*, 2000).

Otros cultivos que se incluyen en las rotaciones con trigo son las brassicas, específicamente canola, que se cree produce dos efectos: Una mayor supresión de los patógenos del suelo que se atribuye a una acción biocida de los compuestos liberados por los residuos de brassicas; y el mejoramiento de la macroporosidad del subsuelo por el efecto de su raíz pivotante. No obstante, los efectos biocidas de los residuos de brassicas aún no se han demostrado en su acción sobre los patógenos de cereales (Kirkegaard *et al.*, 1997). Kirkegaard *et al.* (1999) especulan que la liberación de compuestos biocidas, por las raíces de canola ,mejoran la mineralización de N a través de "biofumigación" de una parte de la comunidad biológica del suelo. Los tejidos de las

plantas de brassicas contienen compuestos secundarios como glucosinolatos, los cuales al hidrolizarse forman compuestos tóxicos como los isotiocianatos. La hipótesis de Kirkegaard *et al.* (1999) se apoya en estudios que indican que los isotiocianatos, en concentraciones bajas, son tóxicos a una serie de organismos del suelo (Angus *et al.*, 1994; Smith y Kirkegaard, 2002) y que libres en el suelo estos compuestos pueden generar cambios en la población bacteriana en la rizosfera de cultivos de canola (Rumberger y Marschner, 2004). En este contexto, otros estudios también postulan que la canola posee efectos positivos dentro de una rotación con trigo debido a que rompe el ciclo de enfermedades, como la pudrición de la corona causada por el hongo *Fusarium pseudograminearum*. Por lo tanto, los cultivos de brassicas permiten quebrar el ciclo de enfermedades al reducir el inóculo en el suelo debido al efecto de los biocidas (isotiocianatos: TIC) generados a través del proceso de “biofumigación”. Esto ha dado como resultado un reducido desarrollo de la enfermedad y un mayor rendimiento en el cultivo de trigo posterior, ya que *Fusarium pseudograminearum* es también sensible a los isocianatos (Kirkegaard *et al.*, 2003). Sin embargo, se han planteado dudas en la extensión y longevidad de los efectos de los isotiocianatos como biofumigantes en sistemas de producción en que los residuos de canola no se incorporan (Kirkegaard *et al.*, 2004; Smith *et al.*, 2004).

Hipótesis

En mediantes ambientes mediterráneos manejados en condiciones de cero labranza el rendimiento y contenido de proteína del grano de trigo candeal aumentan con precultivos de arveja, haba y raps comparado con un monocultivo de trigo candeal.

Objetivo general.

Determinar el efecto de los precultivos de arveja, haba y raps en el rendimiento y en la calidad del trigo candeal en medio ambientes mediterráneos, en condiciones de cero labranza.

Objetivos específicos.

- Evaluar el rendimiento de trigo candeal proveniente de los distintos precultivos.
- Evaluar la calidad del grano de trigo, específicamente contenido de proteína proveniente de distintos precultivos.
- Evaluar el aporte de nitrógeno al suelo de los precultivos.
- Evaluar el contenido de humedad del suelo proveniente de los precultivos.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Lugar de estudio

El trabajo experimental se realizó en la Estación Experimental Antumapu de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile (33°34' S; 70°38' O, y 608 m.s.n.m.). La Estación Experimental Antumapu 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 28,2°C y una mínima media en julio de 4,4°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 pertenece a la serie Santiago. Es de origen aluvial, con textura franco arcillo arenosa y una profundidad media de 80 cm (Comisión Nacional de Riego, 1981).

Metodología

Tratamientos y Diseño del Experimento.

La investigación se realizó en condiciones de secano y los tratamientos estuvieron compuestos por los factores precultivos y fertilización nitrogenada (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamientos correspondientes a precultivos y fertilización nitrogenada.

Precultivos	Nitrógeno (kg N. ha ⁻¹)
Trigo	0
Arveja	0
Haba	0
Raps	0
Trigo	160
Arveja	160
Haba	160
Raps	160

El diseño experimental fue de parcelas divididas con cuatro repeticiones, donde la parcela principal correspondió a los niveles de nitrógeno y la subparcela a los precultivos. La unidad experimental correspondió a la subparcela, cuyas dimensiones fueron 5,5 m de ancho y 10 m de largo. En la Figura 1 se muestra el diseño del experimento.

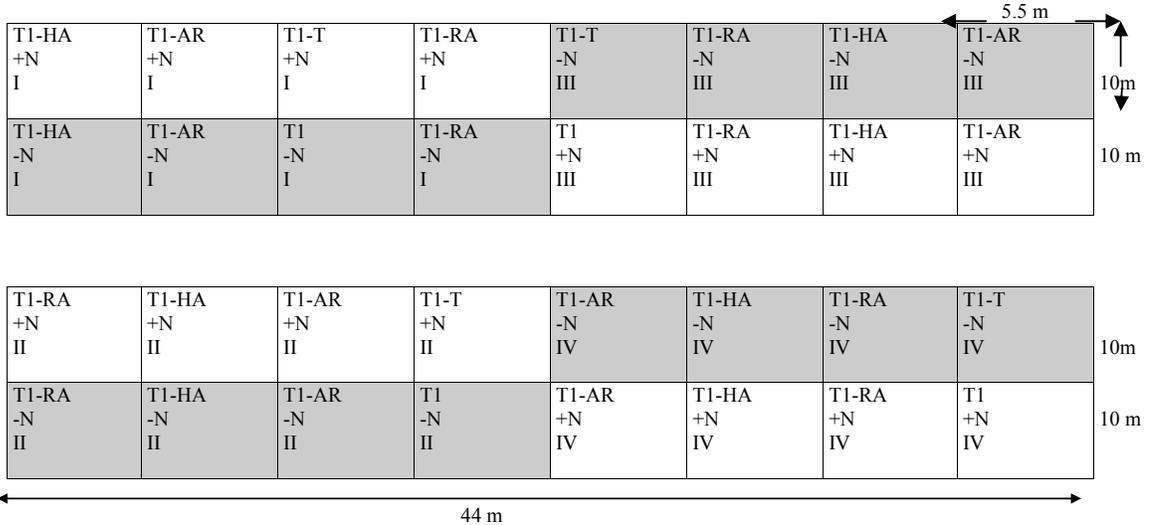


Figura 1. Esquema del diseño experimental. T1: Precultivo trigo. AR: Precultivo Arveja, HA: Precultivo Haba, RA: Precultivo Raps, +N: 160 kg. N ha⁻¹ y -N: 0 kg N ha⁻¹. Repeticiones: I, II, III y IV.

Procedimiento

Los tratamientos sin nitrógeno tuvieron como fin cuantificar las diferencias generadas por el aporte de N del precultivo. Los tratamientos con nitrógeno cuantificaron otros efectos generados por el precultivo no asociados a su aporte de N. La dosis de fertilización nitrogenada, en estos tratamientos, fue de 160 kg N ha⁻¹ y se calculó en base a un rendimiento esperado de 50 qq ha⁻¹ y 12% de proteína en el grano como se muestra a continuación:

$$\text{Dosis de N} = (\text{rend} \cdot \text{prot} \cdot 1,75) - (\text{aporte del suelo}) / \text{efc absorción. (Kelly et al, 2003)}$$

La cantidad de nitrógeno antes mencionada fue aplicada de manera parcializada: 1/3 a la siembra en forma de urea y 2/3 en primer nudo en forma de salitre sódico. El resto del manejo agronómico del ensayo no contempló diferencias entre los tratamientos.

El ensayo se sembró el 20 de mayo del año 2010, utilizándose trigo candeal variedad Llaretta INIA. La siembra fue en forma mecanizada mediante una sembradora cero labranza marca SEMEATO SHM 11/13 (Brasil), utilizándose una dosis de semilla de 150 kg ha⁻¹.

La cantidad de fósforo aplicada fue de 120 kg P₂O₅ ha⁻¹, cuya cantidad dependió del análisis químico de suelos y se aplicó a la siembra como superfosfato triple. Se controló malezas, plagas y enfermedades. Las semillas se trataron contra carbones mediante el fungicida Anagran Plus (Mancozeb – Carbendazin) en una dosis de 125 g 100 kg de semillas. Para el control de plagas se llevó a cabo un control principalmente de pulgones que se hizo con el insecticida sistémico Dimetoato 40 EC, en dosis de 0,8 L. ha⁻¹. Para el control de malezas se aplicó el herbicida sistémico, residual y selectivo Ajax (Metsulfuron-metil) en dosis de 10 g ha⁻¹.

Mediciones en el cultivo

- Fenología. Se registró la fecha de emergencia, inicio de macolla, primer nudo, espigadura y madurez fisiológica. Esto se llevó a cabo mediante observaciones al cultivo dos veces a la semana, identificando cada estado fenológico cuando el 50% de las plantas presentó el estado.
- Establecimiento de plantas. Se evaluó realizando 4 conteos de plantas a estado de segunda hoja expandida por metro lineal en cada unidad experimental. Se expresó en plantas m²
- Espigas fértiles por planta. Se evaluó mediante un cociente entre espigas por metro cuadrado y número de plantas por metro cuadrado. Solo fue una relación matemática y no un parámetro medido experimentalmente.
- Mediciones de clorofila. Con la finalidad de determinar el contenido relativo de clorofila en la hoja, se utilizó el instrumento medidor de clorofila SPAD, marca Minolta modelo 502. El valor promedio de clorofila en la hoja por tratamiento se obtuvo muestreando 20 hojas recientemente expandidas provenientes de diferentes plantas, libres de enfermedades y escogidas al azar. Las lecturas se realizaron en la parte central de la última hoja completamente expandida (Hoel,1998) con la precaución de evitar lecturas sobre la nervadura central. Las mediciones se hicieron en los estados de primer nudo y embuche durante las 10:00 y 14:00 horas. La medición a primer nudo se hizo un día antes de realizar la aplicación de N y la segunda medición se hizo en la hoja bandera durante el estado de embuche. Las lecturas fueron expresadas en unidades SPAD.
- Biomasa, rendimiento y componentes de rendimiento. El rendimiento se determinó cosechando a ras de suelo 5 hileras de 1m de largo al centro de cada subparcela, luego se separaron 50 tallos con espigas que fueron pesados antes y después de ser secados en una estufa de aire forzado durante 48 horas a 70°C. El resto del material se pesó y trilló en una máquina trilladora estacionaria. Los granos se pesaron y se separaron 250 granos que fueron pesados antes y después de ser secados en una estufa de aire forzado durante 48 horas a 70°C. A partir de estos datos se calculó el rendimiento, la biomasa aérea, el peso seco de 1000 granos, espigas por m², granos por m² y granos por espiga. La información se expresó con 0% de humedad.
- Porcentaje de proteína en el grano. Se determinó mediante el método de Espectrometría de infrarrojo cercano (NIRs). La espectrometría de infrarrojo cercano (NIRs) es utilizada como un método rápido, no destructivo, ni contaminante y exacto para evaluar la composición química de los cereales y forrajes (Givens y Deaville, 1999). Este método utiliza la región del infrarrojo cercano de longitudes de onda entre los 700 y 2500 nanómetros del espectro electromagnético (Deaville y Flinn, 2001). Este método se basa en que, cuando la luz (energía) incide sobre la muestra, una parte de los fotones se trasmite a través de la misma, siendo el resto absorbida. La absorción de energía por la muestra produce que los enlaces entre carbono e hidrogeno, oxigeno e hidrogeno y nitrógeno e hidrogeno; principales constituyentes de la estructura básica de las sustancias orgánicas que vibran en distintas formas (Givens y Deaville, 1999).
- Peso hectolitro. Se determinó pesando 250 granos de trigo libre de impurezas, con un equipo ELE International 2174 y una balanza de sensibilidad 0,01 g. El peso hectolitro

se define como el peso de los granos que ocupa un volumen de 100 litros.

Tanto las mediciones del contenido de proteína y peso hectolitro se realizaron en el laboratorio de cereales de INIA Quilamapu, Chillan, Región del Bio-bío.

Mediciones en el suelo

- Contenido de agua del suelo. Se realizaron evaluaciones cada dos semanas del contenido de agua en el suelo con una sonda FDR (*Frequency Domain Reflectometry*) (sonda Diviner 2000), para lo cual se introdujo tubos de acceso de 60 cm de profundidad. A partir del 15 de agosto las mediciones fueron una vez a la semana.

- Contenido de nitrógeno disponible en el suelo. Se tomó una muestra compuesta por tres submuestras en cada repetición de 0-2; 2-5 y 5-15 cm de profundidad de suelo antes de la siembra y en el estado fenológico de primer nudo, antes de la segunda parcaalización de nitrógeno. Estas muestras fueron enviadas al laboratorio de suelos de INIA Quilamapu para su análisis.

- Resistencia a la penetración horizontal y vertical (VPR y HPR, respectivamente) del suelo. Las lecturas fueron tomadas a intervalos de profundidad de 0-5,5-10,10-15 y15-20 cm de profundidad de suelo cuando el trigo se encontró en el estado de primer nudo. Para ello se utilizó un penetrometro de bolsillo (pies de diámetro = 6,35 mm; model CI-700, SOILTEST Inc. Chicago, IL). Esta medición se llevo a cabo realizando un pequeño hoyo de 30 x 30 x 30 cm en cada subparcela. La VPR se determinó en la parte superior de cada intervalo de profundidad realizando cinco lecturas por cada intervalo de profundidad. La resistencia a la penetración horizontal fue tomada perpendicularmente al perfil vertical de la fosa y también con cinco lecturas por cada intervalo de profundidad (Martínez *et al.*, 2008).

Mediciones climáticas.

Se obtuvo información acerca de la precipitación y las temperaturas medias de la Estación Meteorológica del Instituto de Investigaciones Agropecuarias La Platina, ubicada a 700 m, aproximadamente, del lugar del ensayo.

Análisis estadístico

Los resultados se sometieron a un análisis de varianza y cuando se detectó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, las medias se compararon con el test de Tukey para un nivel de significancia del 5% ($P \leq 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSION.

Información climática

En el Cuadro 2 se muestra la precipitación y la temperatura media del periodo de crecimiento del cultivo.

Cuadro 2. Precipitaciones y temperaturas medias del periodo de crecimiento del cultivo de trigo.

Meses	Precipitación (mm)	Temperatura media (°C)
Mayo	24	10,4
Junio	75	8,8
Julio	26	6,7
Agosto	8	9,5
Septiembre	23	12,0
Octubre	10 + 30*	14,2
Noviembre	34	17,1
Total acumulado	230	

*Precipitación aportada por riego

Dentro de la información climática obtenida, el monto total de precipitaciones que recibió el cultivo fue de 230 mm. Al primero de octubre, el cultivo había recibido un monto de precipitaciones de 151 mm, por lo que se decidió regar por aspersión de 30 mm. El monto de precipitación caída en el año 2010 fue inferior al régimen de precipitación promedio anual de 350 mm.

Contenido de agua en el suelo.

Según García del Moral *et al* (2003) el agua es considerada el factor más limitante para la producción de un cereal especialmente en un clima mediterráneo seco. En este contexto es importante considerar que la distribución desfavorable de las precipitaciones durante la estación de crecimiento del cultivo y las fluctuaciones año a año, son factores que constituyen un importante impedimento para el crecimiento y el rendimiento de trigo.

Bajo estas condiciones, las plantas de trigo generalmente sufren una sequía al no ser cubierta sus necesidades hídricas por el bajo contenido de agua en el suelo proveniente de las precipitaciones.

En la Figura 2 se muestra el contenido de agua durante toda la temporada del cultivo para aquellos tratamientos con y sin fertilización nitrogenada.

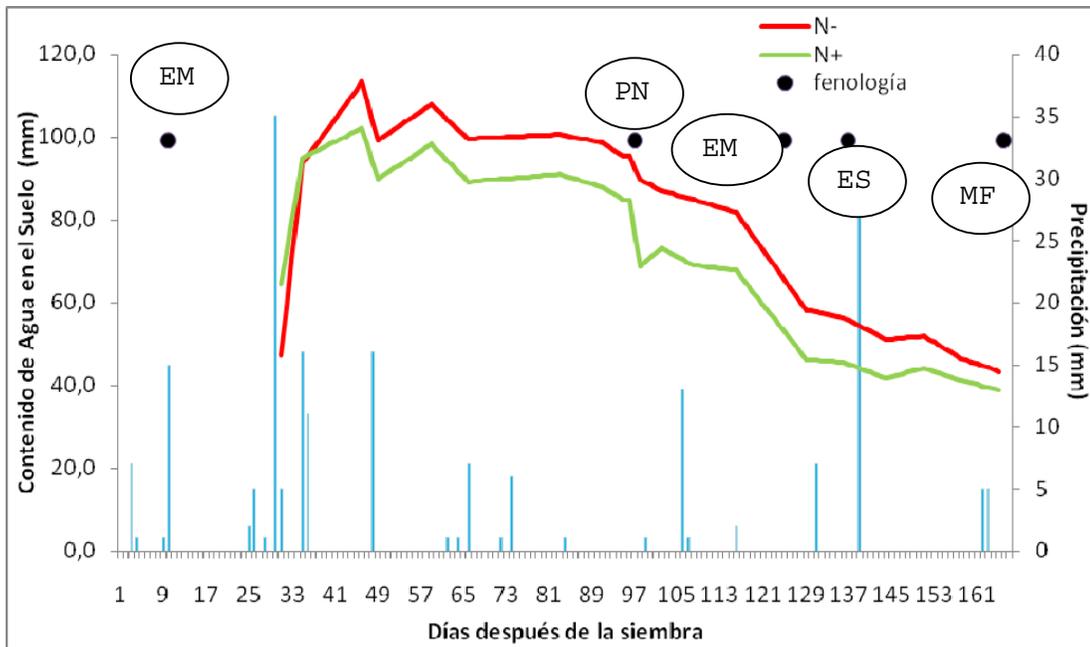


Figura 2. Contenido de agua en el suelo durante toda la temporada del cultivo para aquellos tratamientos con y sin fertilización nitrogenada. N -: 0 Kg N. ha⁻¹ y N +: 160 Kg N. ha⁻¹ EM: Emergencia. PN: Primer nudo. EM: Embucho. ES: Espigadura. MF: Madurez fisiológica. Las barras corresponden a las precipitaciones durante el desarrollo del cultivo.

El contenido de agua registrada en los tratamientos sin fertilización nitrogenada fue mayor, llegando a una altura de agua de 120 mm, mientras que aquellos tratamientos con fertilización nitrogenada, el contenido de agua fue menor llegando a una altura de agua de 100 mm. En relación al mínimo nivel de contenido de agua registrada en los tratamientos con y sin fertilización nitrogenada, fue similar, llegando a los 40 mm. Lo anterior se puede deber a la mayor demanda hídrica realizada por aquellos tratamientos a los cuales se les aplicó fertilización nitrogenada debido a su mayor crecimiento aéreo y radical en comparación con aquellos tratamientos sin fertilización nitrogenada.

En experimentos de campo con trigo y otros cereales, se ha probado que crecientes suministros de nitrógeno han aumentado el crecimiento de la parte aérea y de la raíz, siendo en general mayor el crecimiento de la raíz en términos de peso seco (Robinson *et*

al.

1994, Lucas *et al.* 2000). Por lo tanto, el crecimiento de las raíces y otras características como la tasa de crecimiento de la raíz, la densidad de la raíz (longitud de la raíz por volumen de suelo) y la profundidad máxima de enraizamiento dependen del suministro de nitrógeno disponible y del suministro de agua en el suelo (Kuhlman *et al.* 1989, King *et al.* 2003).

En general, parámetros como la altura de la planta, biomasa, índice de área foliar, profundidad de enraizamiento, el uso del agua, las demandas hídricas y el rendimiento de grano se incrementan con el aumento de los valores de nitrógeno (Raimbault y Vyn, 1991).

El contenido de agua en el suelo en los trigos que provienen de distintos precultivos no muestra diferencias, destacándose sólo la diferencia debida a la fertilización nitrogenada.

Contenido de nitrógeno disponible en el suelo.

Previo a la siembra el nitrógeno disponible cambio con el precultivo. Mientras que existió interacción precultivo por niveles de nitrógeno para el contenido de nitrógeno en el estado de primer nudo.

En el Cuadro 3 se muestra el nitrógeno disponible en los primeros 15 cm de profundidad del suelo antes de la siembra y en el primer nudo.

Cuadro 3. Nitrógeno disponible en los primeros 15 cm de suelo previos a la siembra y en el primer nudo de un cultivo de trigo proveniente de distintos precultivos manejados con y sin nitrógeno.

Precultivos	Nitrógeno (kg N ha ⁻¹)	Nitrógeno disponible (ppm)	
		Previo a la siembra	Primer nudo
Trigo	0	19,2 b	9,7 bc
Arveja	0	28,6 d	10,5 bc
Haba	0	18,6 a	7,8 ab
Raps	0	21,3 c	6,0 a
Trigo	160	-	14,2 d
Arveja	160	-	9,5 bc
Haba	160	-	9,7 bc
Raps	160	-	11,2 cd

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

Cabe destacar que en el muestreo previo a la siembra sólo existían diferencias derivadas del precultivo, debido a que en ese momento todos los tratamientos se encontraban en similares condiciones, es decir, aún no se había realizado la fertilización nitrogenada.

En general, previo a la siembra, los niveles de nitrógeno disponibles en los suelos provenientes de los precultivos de trigo, haba y raps fueron bajos en comparación con el mayor nivel de nitrógeno disponible en el suelo que presentó el precultivo de arveja. Si bien la literatura señala que los rangos de fijación simbiótica de las especies leguminosas son amplios y se mencionan rangos de 100-300 kg N/ha/año para haba y 70-80 kg N/ha/año para arveja (Jiménez-Zacarías y Peña-Cabriales, 2000). En este ensayo se muestra que fue el precultivo de arveja, la cual presenta mayores niveles de nitrógeno en el suelo en desmedro del haba. Lo anterior se debe a que las especies vegetales difieren en su requerimiento de nutrientes, en cantidad y en dinámica de absorción. Durante el ciclo de crecimiento y desarrollo, la planta extrae nutrientes provenientes del fertilizante y al término del ciclo de crecimiento, parte de estos nutrientes, los denominados nutrientes residuales (Baksh *et al*, 2001), permanecen en el perfil del suelo, pudiendo quedar disponibles para el próximo cultivo de la rotación.

Por lo tanto, la diferencia en nutrientes residuales en el suelo para cada especie depende de la fertilización, la morfología del sistema radicular, la tasa de absorción de nutrientes, la tasa de desarrollo de la planta y el período de máxima demanda, factores que no coinciden entre especies. En general, los cereales dejan una menor cantidad de nitrógeno residual que las leguminosas (Rouanet, 2005).

La asociación con bacterias, principalmente de los géneros *Rhizobium* o *Bradyrhizobium*, le confiere a las leguminosas la capacidad para fijar nitrógeno atmosférico. Estas bacterias se establecen en las raíces, formando nódulos característicos en las diferentes especies de leguminosas (Rouanet, 2005).

Con respecto a los niveles de nitrógeno disponibles en el suelo, en el estado de primer nudo, se registraron mayores niveles en los tratamientos a los cuales se llevo a cabo fertilización nitrogenada.

Medición SPAD.

En vista de la importancia de la aplicación de fertilización nitrogenada que el trigo requiere para lograr el rendimiento de grano de alta calidad, surge la necesidad de una herramienta para evaluar con precisión el nivel de nitrógeno en el cultivo (Ortúzar-Iragorri *et al.*, 2005). A partir de lo anterior, surge la medición SPAD, el cual es un medidor de clorofila instantáneo y no destructivo que representa una alternativa para el análisis de tejido vegetal y para el diagnóstico del estado de nitrógeno en el cultivo, utilizándose esta herramienta en la cebada (*Hordeum vulgare* L.) (Wienhold y Krupinsky, 1999), maíz (*Zea mays* L.) (Schepers *et al.* 1992), arroz (*Oryza sativa* L.) (Peng *et al.*, 1993), la papa (*Solanum tuberosum* L.) (Ziadi *et al*, 2011), y el trigo (Follett *et al*, 1992.; Ziadi *et al.*, 2010). Lo anterior se explica en que el nitrógeno es uno de los principales constituyentes de la clorofila.

De esta forma, esta medición se llevó a cabo en este ensayo determinándose que no existió interacción entre los precultivos y los niveles de nitrógeno para los valores SPAD y sólo existió diferencias debido al efecto de la fertilización nitrogenada, siendo el nivel de nitrógeno en la planta tanto en el estado de primer nudo como en el estado de embuche mayor en aquellos tratamientos a los cuales se les aplicó fertilización (Cuadro 3a). Esta medición se llevo a cabo en primer nudo y embuche debido a que según Gomara *et al* (2011) los valores SPAD en primer nudo se relacionan lineal y positivamente con el rendimiento. Mientras que existe una relación significativa entre la medición SPAD en embuche y el porcentaje de proteína en el grano.

Cuadro 3a. Valores SPAD medidos en primer nudo y embuche según nivel de nitrógeno.

Nitrógeno (Kg N ha ⁻¹)	SPAD Primer nudo	SPAD Embuche
0	47,4 a	46,4 a
160	51,3 b	48,3 b

Letras distintas, para una misma columna, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Cuadro 3b. Valores SPAD medidos en primer nudo y embuche de los distintos precultivos.

Precultivo	SPAD Primer nudo	SPAD Embuche
Trigo	47,8 a	46,0 a
Arveja	48,9 a	47,5 a
Haba	49,7 a	47,9 a
Raps	51,0 a	48,0 a

Letras distintas, para una misma columna, no indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

A nivel de precultivo, no se observaron diferencias estadísticamente significativas con respecto al valor SPAD en los estados de primer nudo y de embuche.

Resistencia a la penetración.

No existió interacción entre los precultivos y los niveles de nitrógeno. Existieron diferencias debido al efecto de la fertilización nitrogenada y al precultivo.

Cuadro 4a. Coeficiente de descanso (relación resistencia a la penetración horizontal/ resistencia a la penetración vertical) en los primeros 20 cm de profundidad de los niveles de nitrógeno.

Nitrógeno (kg N ha ⁻¹)	Profundidad (cm)			
	0 a 5	5 a 10	10 a 15	15 a 20
0	1,04 a	0,94 a	0,97 a	0,94 a
160	1,76 b	1,11 a	1,05 a	1,00 a

Letras distintas para una misma columna, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Cuadro 4b. Coeficiente de descanso (relación resistencia a la penetración horizontal/resistencia a la penetración vertical) en los primeros 20 cm de profundidad de los precultivos.

Precultivo	Profundidad (cm)			
	0 a 5	5 a 10	10 a 15	15 a 20
Trigo	0,92 a	0,84 a	0,91 a	0,87 a
Arveja	1,32 ab	1,09 ab	0,99 ab	0,94 ab
Haba	1,25 a	0,92 a	1,02 ab	1,0 ab
Raps	2,12 b	1,24 b	1,13 b	1,08 b

Letras distintas para una misma columna, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

El nivel de nitrógeno provocó diferencias en el coeficiente de descanso solo en los primeros 5 cm de profundidad, observándose un mayor coeficiente de descanso, cuando se aplicó fertilización nitrogenada y por lo tanto mayor compactación en comparación a aquel suelo en el cual no se aplicó fertilización nitrogenada. Lo anterior se debe a que el mayor enraizamiento generado por la aplicación de nitrógeno genera una disminución de la porosidad y compactación adyacente al canal de la raíz por el engrosamiento de la raíz propio del desarrollo del cultivo. Además, las raíces pueden ejercer presión en ambas direcciones, es decir, en dirección radial y axial produciéndose una tensión a nivel horizontal en los primeros centímetros del suelo (Kay., 1990).

La pérdida de porosidad en el suelo adyacente a la raíz, en combinación con los materiales orgánicos que se generan en la rizosfera, se traducirá en que el suelo adyacente a la raíz tiene una resistencia mayor. Un análisis de los macroporos a diferentes profundidades en un suelo franco limoso en Ohio, en el cual se ha realizado el cultivo de Maíz en un continuo de 20 años en condiciones de cero labranza durante 20 años, mostró que los poros mayores a 0,4 mm de diámetro representaron aproximadamente el 1,4% de la superficie total, mientras que el 80% de los poros eran menores a 1 mm de diámetro, asumiéndose que son los canales radiculares (Edwards *et al.*, 1988) Las raíces de las plantas se han observado que pueden causar una disminución en el tamaño de agregado o un aumento en el tamaño total, dependiendo de si el suelo era originalmente compacto o suelto, respectivamente (Bui Huu Tri, 1968).

Mientras que en los demás estratos, es decir, 5 a 10, 10 a 15 y 15 a 20 cm no existieron diferencias significativas de acuerdo al nivel de nitrógeno (Cuadro 4a).

El precultivo de trigo tuvo menor coeficiente de descanso que el raps, en todos los estratos (0 a 20 cm) y por lo tanto menor compactación, posiblemente a su sistema radical fasciculado y el raps fue el precultivo que presentó el mayor coeficiente de descanso y por ende mayor compactación en todos los estratos (Cuadro 4b), dado a que el raps tiene una raíz pivotante sensible a los suelos compactados, por lo tanto deben evitarse aquellos suelos con pie de arado o con cero labranza, sin movimiento de suelo por un periodo prolongado de tiempo, debido a que la raíz pivotante del raps sufre un cambio de dirección pasando de un arraigamiento vertical a un arraigamiento horizontal, que no ayuda en la descompactación del suelo (Tay y Vidal, 2008)

La compactación es un problema de la cero labranza que genera efectos adversos en la porosidad, densidad aparente y conductividad eléctrica. (Radford *et al.*, 2000; Hamza y Anderson, 2005). Todos estos factores pueden potencialmente reducir la penetración de las raíces, la extracción de agua y crecimiento de las plantas (Passioura, 2002), y la evidencia de reducciones en el rendimiento del cultivo como resultado de la

compactación del suelo se han reportado, tanto para condiciones de secano (Sadras *et al.*, 2005) como para condiciones de regadío (Braunack *et al.*, 1995) a través de una amplia gama de tipos de suelo y ambientes.

Establecimiento de plantas.

No existió interacción entre los precultivos y los niveles de nitrógeno, sólo existieron diferencias debido al precultivo, observándose el menor establecimiento cuando el precultivo fue trigo (Cuadro 5).

Cuadro 5. Establecimiento de plantas de trigo después de distintos precultivos. Los valores son la media de los tratamientos con y sin nitrógeno.

Precultivos	Establecimiento (Plantas / m ²)
Trigo	153 a
Arveja	195 b
Haba	200 b
Raps	207 b

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

El establecimiento de plantas de trigo, sobre los residuos de los otros precultivos raps, haba, arveja no tuvo diferencias estadísticamente significativas, lo cual podría deberse a la menor relación carbono/nitrógeno de estos residuos cercana al 50-60%. Mientras que el menor establecimiento de plantas de trigo, después del precultivo de trigo, se debió probablemente a la mayor relación carbono/nitrógeno del rastrojo de trigo cercano al 80 - 90%. Lo anterior se debe, a que los cultivos que tienen una relación C/N alta como los cereales de invierno tienen una menor velocidad de descomposición comparados con cultivos de menor relación C/N como las leguminosas, debido a que los rastrojos de cereales de invierno y en especial el trigo están compuestos en un 75% por caña y capotillo, estructuras que poseen un alto contenido de carbono estructural y lignina, por lo que su descomposición es más lenta (Collins *et al.*, 1990), afectando probablemente tanto el proceso de germinación como el proceso de emergencia de las plántulas.

A lo anterior se debe agregar el posible efecto negativo de la alelopatía generada por el rastrojo de trigo, debido a que asociada a la descomposición de los residuos se produce la generación y/o liberación de sustancias químicas (aleloquímicos), que pueden influir sobre el establecimiento de cultivos que sigan en la rotación, siendo especialmente alelopáticos los rastrojos que provienen de cereales (Acevedo y Silva, 2005).

En el rastrojo se destacan una serie de metabolitos secundarios derivados de la ruta del acetato-mevalonato como los terpenos y de la ruta del ácido shikímico como fenoles, alcaloides, glicósidos (Sampietro, 2002). Cada especie posee distinto tipo y cantidad de aleloquímicos en su rastrojo, siendo los compuestos más comunes los ácidos fenólicos, los alcaloides y los ácidos hidroxámicos. Guenzi y Mc Calla (1966) señalaron a los ácidos fenólicos como los principales componentes de la alelopatía de los rastrojos de trigo sobre trigo, destacando el efecto negativo del ácido ferúlico sobre la elongación de la radícula de las plántulas de trigo. Además, Bruce y Christen (2001) señalaron que

los síntomas relacionados con estos compuestos en el campo son reducción de la germinación, menor vigor de la plántula, radículas con escaso desarrollo, muerte de plántulas y amarillamiento de hojas.

Información Fenológica.

En el cuadro 6 se muestra la información fenológica del cultivo de trigo. En general, no se registraron diferencias fenológicas en el trigo después de distintos precultivos con y sin nitrógeno, en relación a su desarrollo fenológico.

Cuadro 6. Información fenológica del cultivo de trigo después de distintos precultivos con y sin nitrógeno.

Estados de desarrollo	Fecha	DDS
Emergencia de plantas	30 de mayo	10 días
Inicio de Macolla	Principios de Junio	40 días
Primer nudo	27 de agosto	97 días
Embuche	25 de septiembre	125 días
Espigadura	07 de octubre	137 días
Madurez fisiológica	20 de noviembre	180 días

DDS: Días después de la siembra.

Rendimiento y componentes del rendimiento.

No existió interacción entre los precultivos y los niveles de nitrógeno, sólo existió diferencias debido al nivel de nitrógeno y al precultivo.

Cuadro 7a. Biomasa, rendimiento, índice de cosecha y componentes del rendimiento de los niveles de nitrógeno.

Nitrógeno (kg N. ha ⁻¹)	Biomasa (kg. ha ⁻¹)	Rendimiento (kg. ha ⁻¹)	IC	PS1000 (g)	Esp m ⁻²	Gram ⁻²	Gra Esp ⁻¹
0	7033 a	2132 b	0,31 b	49,2 b	266 a	4358 b	17,5 b
160	7142 a	1282 a	0,18 a	37,6 a	308 b	3489 a	11,8 a

IC: Índice de cosecha. PS 1000: Peso de los 1000 granos. Esp m⁻²: Espigas por metro cuadrado. Gram⁻²: Granos por metro cuadrado. Gra Esp⁻¹: Granos por espiga.

Letras distintas para una misma columna, indican diferencias significativas (p≤ 0,05)

Cuadro 7b. Biomasa, rendimiento, índice de cosecha y componentes del rendimiento de los precultivos.

Precultivo	Biomasa (kg. ha ⁻¹)	Rendimiento (kg. ha ⁻¹)	IC	PS1000 (g)	Esp m ⁻²	Gram ⁻²	Gra Esp ⁻¹
Trigo	7074 a	1876 b	0,28 b	46,4 a	250 a	4015 a	17,2 b
Arveja	7308 a	1432 a	0,20 a	42,4 a	318 a	3334 a	11,0 a
Haba	6905 a	1754 ab	0,25 ab	43,7 a	295 a	3949 a	14,5 ab
Raps	7063 a	1768 ab	0,26 b	41,1 a	286 a	4396 a	15,9 b

Letras distintas para una misma columna, indican diferencias significativas (p≤ 0,05)

La biomasa del trigo candeal no fue afectada por los tratamientos de nitrógeno obteniéndose una media de 7088 kg ha⁻¹.

En relación al rendimiento de grano, éste fue muy bajo en todos los tratamientos, pero particularmente bajo cuando se aplicó 160 kg de N ha⁻¹. El índice de cosecha se redujo de 0,31 a 0,18. Mientras hubo agua disponible en el suelo, los 160 kg de N ha⁻¹ estimularon un crecimiento excesivo del cultivo de trigo generando una mayor cantidad de espigas m². Sin embargo, durante el crecimiento de la espiga, esta agua disponible se volvió escasa por lo que el número de granos/ espiga⁻¹ y el número de granos/ m² disminuyó significativamente (cuadro 7a). Con posterioridad, el cultivo no tuvo suficiente agua en el periodo de llenado de granos, lo que se expresó como un menor peso de granos y bajo índice de cosecha. A partir de lo anterior Johnston y Fowler (1991) señalan que se generan pérdidas tanto en el rendimiento de materia seca como en la utilización de nitrógeno en condiciones de alta demanda evaporativa y escasas precipitaciones. Mientras que cuando las precipitaciones son favorables y se realiza una abundante fertilización nitrogenada, se incrementa el rendimiento de materia seca y se optimiza la utilización de nitrógeno por parte del cultivo durante la estación de crecimiento del cultivo.

En general, los rendimientos fueron muy bajos en relación con el rendimiento esperado de 5000 kg ha⁻¹, debido a la baja precipitación de la temporada. Además en los tratamientos en los cuales se llevó a cabo la aplicación de nitrógeno, se generó un efecto denominado “Haying off”, que consiste una sequía prematura (Colwell, 1963) ocurrida en condiciones de secano. Las altas temperaturas (choque térmico) y fuertes vientos son factores que se asocian a veces con cultivos que presentan “Haying off” (Fischer, 1980), debido a la vinculación de estas condiciones con la sequía. Sin embargo, Van Herwaarden *et al.* (1998a), señalan que el “Haying off” puede producirse en ausencia de factores de riesgo como pueden ser las altas temperaturas, vientos fuertes, aunque estos factores si pueden aumentar la gravedad del daño.

Varios estudios confirman que el efecto del “Haying off” se debe a que en el momento previo a la floración, aquellos cultivos a los cuales se ha aplicado altos niveles de nitrógeno, generan un crecimiento vegetativo vigoroso que provoca un exceso de biomasa para el bajo contenido de agua en el suelo, dando como consecuencia una baja producción de granos, además de una mayor competencia por luz y fotoasimilados (Van Herwaarden *et al.*, 1998b). Por consiguiente, se genera una translocación inadecuada de carbohidratos de reserva pre-antesis, ya que en vez de ser utilizados en la etapa de formación y llenado de grano, estos carbohidratos son utilizados en el crecimiento vegetativo, la síntesis de proteína y los procesos respiratorios. Esto trae consecuencias económicas como una disminución en el rendimiento, una cosecha de mala calidad debido a la presencia de granos chupados y de pequeño tamaño (FAO, 2003). Lo anterior puede generar castigo sobre todo en el caso de trigo candeal; y pérdidas de fertilizante, al no cumplir el objetivo de la aplicación, incurriendo en un alto costo de insumos.

En el Cuadro 8 se muestran los valores promedio de las propiedades físicas del suelo en cero labranza.

Cuadro 8. Valores promedio de las propiedades físicas del suelo en cero labranza

Profundidad (cm)	CC (mm)	PMP(mm)	HA (mm)
0 a 2	20,1	9,6	10,3
2 a 5	17,5	8,3	10,5
5 a 15	15,8	7,5	8,3

Según, el estudio realizado por Reyes *et al.* (2002), el contenido de agua a capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y humedad aprovechable (HA), obtenidos según el método gravimétrico, fueron mayores en superficie y disminuyeron en profundidad en condiciones de cero labranza.

En el Cuadro 9 se muestra la eficiencia en el uso del agua del trigo después de distintos precultivos con y sin nitrógeno.

Cuadro 9. Eficiencia en el uso del agua del trigo después de distintos precultivos con y sin nitrógeno.

Precultivo	Nitrógeno (kg N ha ⁻¹)	Precipitación (mm)	Rend (kg ha ⁻¹)	EUA (kg mm ⁻¹ ha ⁻¹)
Trigo	0	230	2400	10,43c
Arveja	0	230	1980	8,60bc
Haba	0	230	2162	9,40c
Raps	0	230	2242	9,74c
Trigo	160	230	1607	6,98bc
Arveja	160	230	883	3,83 a
Haba	160	230	1345	5,84ab
Raps	160	230	1294	5,62b

EUA: Eficiencia del uso del agua.

La eficiencia en el uso del agua fue mayor en aquellos tratamientos sin fertilización nitrogenada con aquellos tratamientos con fertilización nitrogenada, debido al efecto de "Haying off" que en aquellos cultivos con fertilización nitrogenada generó un macollaje mayor que provocó una fuerte evapotranspiración por parte del cultivo, dando como consecuencia una baja utilización de agua para la generación de rendimiento en grano. Por ende, al aumentar la dosis de nitrógeno aumenta el estrés hídrico debido a la mayor demanda transpiratoria causada por el excesivo macollaje siendo perjudicial el aumento en los niveles de nitrógeno en condiciones hídricas restrictivas (Raimbault y Vyn, 1991).

A lo anterior se debe destacar que en estudios realizados en el sur de Australia, se ha demostrado que alrededor del 65% de la variación del rendimiento del trigo se ha asociado con la variabilidad de las lluvias desde abril a octubre, similares condiciones de precipitación a las que se producen en el clima mediterráneo de la zona central de Chile (Van Herwaarden *et al.*, 1998c).

Según French y Schultz (1984), más del 70% del consumo total de agua se produce en el estado de anthesis, debido a que esta etapa constituye un periodo que determina el

rendimiento del cultivo y que es una etapa que en general, el cultivo debe estar libre de estreses de cualquier tipo. En general, el agua se puede perder tanto por transpiración desde el cultivo y por evaporación directa desde el suelo, siendo estimada la pérdida de agua por evaporación directa en 100 mm.

Además existe una relación lineal entre el rendimiento y agua transpirada, cuya relación da una producción potencial por mm de agua de 55 kg ha⁻¹ de materia seca y 20 kg ha⁻¹ de grano (French y Schultz, 1984). Por lo tanto, al ser aplicado a este estudio, se obtiene que de una precipitación total de 230 mm durante el desarrollo del cultivo de trigo, 100 mm de esta precipitación total se pierda por evaporación directa desde el suelo quedando 130 mm disponibles para ser aprovechados por el cultivo, estimándose a partir de esto 7150 kg. ha⁻¹ materia seca, lo cual se ajusta a la producción de biomasa obtenida en la mayoría de los tratamientos que componen este estudio. Mientras que al ser aplicado al rendimiento se obtiene 2600 kg ha⁻¹ grano.

Espigas fértiles / planta⁻¹.

En el Cuadro 10 se muestra el número de espigas fértiles por planta de trigo candeal después de distintos precultivos con y sin nitrógeno.

Cuadro 10. Espigas fértiles por planta de trigo candeal después de distintos precultivos con y sin nitrógeno.

Nitrógeno (Kg N ha ⁻¹)	Espigas fértiles/ planta
0	1,36 a
160	1,61 b

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

Se observa que aquellos tratamientos a los cuales no se les aplicó fertilización nitrogenada obtuvieron menos espigas fértiles por planta en comparación con aquellos tratamientos a los cuales se les aplicó fertilización nitrogenada, lo cual indica que debido a esta fertilización nitrogenada se generó un mayor número de espigas por planta. Sin embargo debido a la escasa precipitación y a la sequía terminal, esto no provocó un mayor rendimiento, posiblemente debido al efecto "Haying off".

Calidad

Porcentaje de proteína en el grano.

En el Cuadro 11 se muestra el contenido de proteína y el peso hectolitro de los tratamientos.

Cuadro 11. Contenido de proteína y peso hectolitro de trigo candeal después de distintos precultivos con y sin nitrógeno.

Precultivos	Nitrógeno (kg N ha ⁻¹)	Contenido de proteína (%)	de Peso hectolitro (kg hl ⁻¹)
Trigo	0	11,2 a	83,5 c
Arveja	0	12,8 b	79,9 c
Haba	0	11,8 ab	82,1 c
Raps	0	11,9 ab	82,2 c
Trigo	160	14,1 c	71,3 ab
Arveja	160	14,2 c	71,5 ab
Haba	160	14,8 c	71,9 b
Raps	160	15,0 c	68,1 a

Letras distintas en una misma columna, indican diferencias significativas (p≤ 0,05)

Se observa que no hubo diferencias entre los tratamientos a los cuales se aplicó nitrógeno. En este mismo sentido, los contenidos de proteína de aquellos trigos a los cuales se les aplicó fertilización nitrogenada, son mayores que los trigos en que no se aplicó fertilización nitrogenada. Comúnmente la calidad de trigo duro generalmente depende del contenido de proteína del grano y, a su vez, el contenido de proteína depende en gran medida del genotipo, pero también es claramente influenciada por el medio ambiente, especialmente la disponibilidad de Nitrógeno en el suelo y el tiempo de aplicación de Nitrógeno (Gooding y Davies, 1997). Por lo tanto, el manejo agronómico de la fertilización nitrogenada ofrece la oportunidad de aumentar el contenido de proteína de trigo y con ello la calidad.

Por otro lado, en los tratamientos en que no se aplicó fertilización nitrogenada el mayor contenido de proteína se observó cuando el precultivo fue arveja y el menor en el monocultivo de trigo.

Otro aspecto a destacar, es que según los parámetros de calidad de la empresa LUCHETTI, ninguno de los tratamientos estaría sometido a castigo debido a que todos los tratamientos poseen un contenido de proteína superior al 10%, valor considerado mínimo por la industria y la normativa chilena. Mientras que a nivel internacional, se requiere un contenido de proteína de 14% para aquellos trigos cuyo destino será la exportación.

En definitiva, las condiciones de secado de este estudio potenciaron la calidad del trigo candeal, en términos del contenido de proteína.

Peso hectolitro.

El análisis de varianza señaló que existió interacción entre los precultivos y los niveles de nitrógeno. El mayor peso hectolitro se logro cuando no se aplicó nitrógeno. Sin embargo, en términos generales, se observó que el peso hectolitro de los tratamientos en que no se aplicó fertilización nitrogenada fue mayor que en los que se aplicó fertilización nitrogenada existiendo diferencias estadísticamente significativa, debido a que el peso hectolitro es un parámetro de calidad que depende del estado hídrico del cultivo. En este contexto, aquellos tratamientos que recibieron fertilización nitrogenada fueron afectados por “haying off” produciendo una gran cantidad de granos chupados y de menor peso, lo cual genero un bajo peso hectolitro en estos tratamientos. Además, cabe destacar que el trigo proveniente del precultivo de raps fue el que presentó el menor valor de peso hectolitro.

Otro aspecto a destacar, es que según los parámetros de calidad de la empresa LUCHETTI, todos aquellos tratamientos a los cuales no se llevó a cabo fertilización nitrogenada se encuentran sobre el límite mínimo de peso de hectolitro, el cual fue 78 kg hl⁻¹. Sin embargo, aquellos tratamientos a los cuales se aplicó fertilización nitrogenada no cumplen con el límite mínimo de peso hectolitro establecido por la industria, lo cual implicaría castigos para el productor, que en definitiva afectaría negativamente en el precio del producto final o bien en el rechazo de la cosecha (Acevedo y Silva, 2007).

CONCLUSIONES

En las condiciones de fuerte sequía terminal (230 mm) y bajo condiciones de cero labranza, que se registraron en este ensayo se puede concluir:

En términos del contenido de agua en el suelo, el precultivo no provocó cambios, sólo la fertilización nitrogenada provocó cambios, mostrando mayores contenidos de agua aquellos tratamientos sin fertilización nitrogenada con respecto a los tratamientos con fertilización nitrogenada.

En términos del aporte de nitrógeno, el precultivo de arveja es el que más aporta al cultivo siguiente, en condiciones restrictivas de precipitación esta rotación se presenta como una buena alternativa para reducir costos en fertilización y evitar efectos adversos en el rendimiento, por un “haying off”.

El rendimiento no es afectado por el precultivo. Sin embargo, la fertilización nitrogenada provocó un efecto adverso en el rendimiento debido al “Haying off” evidenciado por un bajo índice de cosecha y peso de los granos.

El efecto del precultivo en el contenido de proteína se evidencia solo cuando se aplicó nitrógeno, destacando el precultivo de arveja, el cual presenta el mayor contenido de proteína. En cuanto al peso hectolitro, los mayores niveles se lograron sin aplicación de nitrógeno, sin destacar en esta situación el efecto del precultivo.

BIBLIOGRAFIA CITADA.

Acevedo, E y P. Silva. 2007. Trigo Candeal: calidad, mercado y zonas de cultivo. Editorial Facultad de Ciencias Agronômicas. Laboratorio de Suelo-Agua-Planta. Santiago, Chile. 9p.

Angus J. F., P. A. Gardner, J.A. Kirkegaard and J.M. Desmarchelier. 1994. Biofumigation: isothiocyanates released from Brassica roots anhibit growth of the take – all fungus. *Plant and Soil* 162: 107-112.

Amri, A., M. Borynah , N. Nsarellah, M. Targnuti, and M. M. Nachit. 2000. Genetic and agronomic approaches to improve durum wheat quality in Morocco. *CIHEAM/ICARDA/CIMMYT Options Mediterraneennes*: 543-547.

Baksh, A., R.S. Kanwar, D.L.. Karlen, C.A. Cambardella, T.B. Bailey, T.B. Moorman and T.S. Colvin. 2001. N-management and crop rotation effects on yield and residual soil nitrate levels. *Soil Sci* 166: 530-538.

Blumenthal, C. S., I. L. Batey, F. Bekes, C. W. Wrigley and E. W. R. Barlow. 1991. Seasonal changes in wheat grain quality associated with high temperatures during grain filling. *Australian Journal of Agriculture Research* 42 (1): 21-30.

Bonfil, D. J., L. Mufradi, S. Klitman and S. Asido. 1999. Wheat grain yield and soil profile water distribution in a no-till arid environment. *Agronomy Journal* 91: 368–373.

Borghi, B., G. Giordani, M. Coberllini, P. Vaccinio, M. Guermandi and G.Toderi. 1995. Influence of crop rotation, manure and fertilizers on bread making quality of wheat (*Triticum aestivum* L.). *European Journal Agronomy* 4: 37- 45.

Borghi, B., M. Corbellini, C. Minoia, M. Palombo, N. Di Fonzo and M. Perenzin. 1997. Effects of Mediterranean climate o wheat bread-making quality. *European Journal Agronomy* 6: 145–154.

Braunack, M.V., J.E. McPhee and D.J. Reid. 1995. Controlled traffic to increase productivity of irrigated row crops in the semi-arid tropics. *Aust. J. Expl. Agric.* 35: 503–513.

Bruce, S. and O. Christen. 2001. Phytotoxicity of wheat leachates and ferulic acid to germination and radicle elongation of canola. *Proceedings of the 10th Australian Agronomy Conference, Hobart, 2001*

Bui Huu Tri. 1968. Dynamique de la granulation du sol sous prairie. *Ann Agron* 19:415-439.

Collins, H.P., L. F., Elliot, R.W., Rickman, D.F., Bezdicek and R.I. Papendik, 1990. Decomposition and interactions among wheat residue components. *Soil Science Society of America Journal*. 54:780-785.

Colwell, J. D. 1963. The effect of fertilizers and season on the yield and composition of wheat in southern New South Wales. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* **3**, 51-61.

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

Cox, D. J. and D. R. Shelton. 1992. Genotype by tillage interactions in hard red winter wheat quality evaluation. *Agronomy Journal* **84**: 627-630.

Deville, E.R. and P.C. Flinn. 2000. Near infrared (NIR) spectroscopy: an alternative approach for the estimation of forage quality and voluntary intake. *In: Forage evaluation in Ruminant Nutrition* (Eds. D.I.Givens, E. Owen; R.F.E. Axford y H.M. Omedi) 301-320 pp CABI Publishing, UK.

De Vita, P., E. Di Paolo, G. Fecondo, N. Di Fonzo and M. Pisante. 2007. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. *Soil and Tillage Research* **92**: 69-78.

Edwards, W. M., L.D. Norton and C.E. Redmond. 1988. Characterizing macropores that affect infiltration into no tilled soil. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* **52**: 483-487.

FAO Corporate Document Repository, 2003. Optimizing Nitrogen use on the farm. 94 p. Disponible en: www.fao.org/docrep/006/y5146e/y5146e09.htm. Leído el 20 de marzo 2011.

Ferreras, L. A., J. L. Costa, F. O. García and C. Pecorari. 2000. Effect of no tillage on some soil physical properties of a structural degraded petrocalcic paleudoll of the southern “Pampa” Argentina. *Soil Tillage Research* **54**: 31-39.

Fisher, R. A. 1987. Responses of soil and crop water relations to tillage. *In: Tillage. New directions in Agriculture.* (Eds. P.E. Cornish y J.E. Pratley):194-221.

Fischer, R. A. 1980. Influence of water stress on crop yield in semiarid regions. *In Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress.* (Eds N. C. Turner and P. J. Kramer.) pp. 323- 339.

Follett, R.H., R.F. Follett, and A.D. Halvorson. 1992. Use of chlorophyll meter to evaluate the nitrogen status of dryland winter wheat. *Commun. Soil Sci. Plant* **23**:687–697.

French R.J. and J.E. Schultz. 1984. Water Use Efficiency of Wheat in a Mediterranean-type Environment. I. The Relation between Yield, Water Use and Climate. *Australian Journal of Agricultural Research* **35** (6): 743-764.

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

Garofalo , P., E . Di Paolo and M. Rinaldi. 2009. Durum wheat (*Triticum durum* Desf.)

in rotation with faba bean (*Vicia faba* var. *minor* L.): long-term simulation case study. *Crop and Pasture Science* 60(3): 240–250.

Givens, D.I. and E.R. Deaville.1999. The current and future role of near infrared reflectance spectroscopy in animal nutrition: a review. *Aust. J. Agric. Res.*50: 1131-1145.

Gooding, M.J. and W.P. Davies.1997. *Wheat Production and Utilization*. CAB International, Wallingford.

Gomara, N. P, Silva y E. Acevedo.2011. Asociacion del rendimiento y contenido de proteína con mediciones SPAD y color de hoja en trigo candeal. Poster de presentación a Congreso Agronómico.

Guenzi, W.D., T. M. Mc Calla and F.A. Norstadt. 1967. Presence and persistence of phytotoxic substances in wheat, oat, corn, and sorghum residues. *Agronomy Journal* 59:163-165.

Hamza, M.A and W.K. Anderson. 2005. Responses of soil properties and grain yields to deep ripping and gypsum application in a compacted loamy sand soil contrasted with a sandy clay loam soil in Western Australia. *Aust. J. Agric. Res.* 54: 273–282.

INE, 2010.Estadísticas Agropecuarias. Informe Anual.

Jiménez-Zacarías, J.J. y J.J. Peña-Cabriales. 2000 Fijación biológica de N₂ (FBN) en leguminosas de América Latina. In: La fijación biológica de nitrógeno en América Latina: El aporte de las técnicas isotópicas

Johnston, A. and D.B. Fowler. 1991. No-Till Winter Wheat Dry Matter and Tissue Nitrogen Response to Nitrogen Fertilizer Form and Placement. *Soil and Tillage Research* 83 (6):1035-1043.

Kay, B.D.1990. Rates of change of soil structure under different systems. *Advances in Soil Science* 12:1-52.Special Issue.Stewart,B.A (Ed). Springer –Verlag New York,USA.

Kelly, R., W. Strong, T. Jensen, D. Butle, B. Town and M. Adams. 2003. Recurrence of yield and protein variation in the northern grains region. Australian Society of Agronomy. "Solutions for a better environment". Proceedings of the 11th Australian Agronomy Conference, 2-6 Feb. 2003, Geelong, Victoria. Disponible en: www.regional.org.au/au/asa. Leído el 05 de Julio de 2012.

King J., Gay A., Sylvester-Bradley R., Bingham I., Foulkes J., Gregory P., Robinson D. 2003: Modelling cereal root systems for water and nitrogen capture: Towards an economic optimum. *Ann. Bot.*, 91:383–390

Kirkegaard, J. A, P. J. Hocking, J. F. Angus, G. N. Howe and P. A. Gardner. 1997. Comparison of canola, Indian mustard and Linola in two contrasting environments. II. Break-crop and nitrogen effects on subsequent wheat crops. *Field Crops Research* 52: 179-191.

Kirkegaard J. A., G. N. Howe and P. M. Mele. 1999. Enhanced accumulation of mineral-N following canola. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 39: 587–593.

Kirkegaard J. A., J. Holland, K. Moore, S. Simpfendorfer, R. Bambach, S. Marcroft, G. Hollaway. 2003. Effect of previous crops on crown rot infection and yield of wheat. *Australian Agronomy Conference* 51:445-456.

Kirkegaard J. A., S. Simpfendorfer, J. Holland, R. Bambach, K. J. Moore and G.J. Rebetzke. 2004. Effect of previous crops on crown rot and yield of durum and bread wheat in northern NSW. *Australian Journal of Agricultural Research* 55: 321–334.

Kuhlman H., P.B Barraclough and A.H. Weir. 1989: Utilization of mineral nitrogen in the subsoil by winter wheat. *Z. Pfl.-Ernähr. Bodenkde*, 152: 291–295

Lal, R. 1975. The role of mulching techniques in tropical soil and water management. I.I.T.A. Technical Bulletin, Ibadan, Nigeria, 38p.

López –Bellido, L., M. Fuentes, J. E. Castillo and F .J. López-Garrido. 1998. Effects of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on wheat –grain quality grown under rainfed Mediterranean conditions. *Field Crops Research* 57: 256-276.

Lucas M.E., Hoad S.P., Russell G., Bingham I.J. (2000): Management of cereal root systems. *HGCA Research Review* 43, London: Home Grown Cereals Authority. Disponible en: http://www.hgca.com/document.aspx?fn=load&media_id=1160&publicationId=812). Leído el 03 de Julio de 2012.

Martinez, 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 & Tillage Research* 99: 232-244.

Ortuzar-Iragorri, M.A., A. Alonso, A. Castellón, G. Besga, G. Estavillo, and A. Aizpurua. 2005. N-tester use in soft winter wheat: Evaluation of nitrogen status and grain yield prediction. *Agron. J.* 97:1380–1389

Passioura, J.B. 2002. Soil conditions and plant growth. *Plant Cell Environmental* 25: 311–318.

Peng, S., F.V. García, R.C. Laza, and K.G. Cassman. 1993. Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meter's estimate of rice leaf nitrogen concentration. *Agron. J* 85:987–990.

Prasad, R. and J. F Power. 1991. Crop residue management. *Advances in Soil Sciences* 15: 205–250.

Randall, P. J. and H. J. Moss. 1990. Some effects of temperature regime during grain filling on wheat quality. *Australian Journal of Agriculture Research* 41(2): 603– 617.

Raimbault, B.A and T.J. Vyn. 1991 Crop Rotation and Tillage Effects on Corn Growth

and Soil Structural Stability. *Soil and Tillage Research* 83 (6): 1065-1070.

Reyes, J.L, E. Martínez, P. Silva y E. Acevedo, 2002. Cero labranza y propiedades de un suelo aluvial de Chile central. *Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Boletín* 18: 78-81.

Rinaldi, M., G. Rana and M. Introna. 2000. Effects of partial cover of durum wheat straw on soil evaporation in a semi-arid region. III International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops. *ISHS Acta Horticulturae* 537:159-165.

Robinson D., Linehan D.J., Gordon D.C. 1994. Capture of nitrate from soil by wheat in relation to root length, nitrogen inflow and availability. *New Phytologist* 128: 297-305

Rouanet, J. L. 2005. Rotaciones de los cultivos y sus beneficios a la agricultura del sur. *Fundación Chile, Área de Agroindustria*. 91p.

Rumberger A and P. Marschner. 2004. 2-Phenylethylisothiocyanate concentration and bacterial community composition in the rhizosphere of field-grown canola. *Functional Plant Biology* 31: 623-631.

Ryan, J., M. Pala, S. Masri, M. Singh and H. Harris. 2008. Rainfed wheat-based rotations under Mediterranean conditions: Crop sequences, nitrogen fertilization, and stubble grazing in relation to grain and straw quality. *European Journal Agronomy* 28: 112-118.

Sadras, V.O., G.J. O'Leary and D.K. Roget. 2005. Crop responses to compacted soil: capture and efficiency in the use of water and radiation. *Field Crops Res.* 91: 131-148

Sampietro, D.A. 2002. Alelopatía: Concepto, características, metodología de estudio e importancia. [En línea]. Disponible en: <http://fac.unne.edu.ar/biologia/alelopatia/alelopatia.htm/> Leído el 10 de octubre del 2011.

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

Schepers, J.S., D.D. Francis, M. Vigil, and F.E. Below. 1992. Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings. *Commun. Soil Sci. Plant.* 23:2173-2187.

Silva, P. y Acevedo, E. 2005. Adopción de la cero labranza en los principales cultivos anuales. Identificación de problemas y posibles soluciones. Informe para SAG e INDAP.

Smith, B. J. and J. A. Kirkegaard. 2002. In vitro inhibition of soil microorganisms by 2-phenylethyl isothiocyanate. *Plant Pathology* 51(1): 585-593.

Smith B. J, J. A. Kirkegaard and G. H. Howe. 2004. Impacts of Brassica breakcrops on soil biology and yield of following wheat crops. *Australian Journal of Agricultural*

Research 55: 1–11.

Tay, J. and A. Vidal. 2008. Generalidades, manejo y resultados de variedades de canola, lupino y arveja. Boletín INIA N°188 167p Disponible en: www.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR36483.pdf Leído el 04 de julio de 2012.

Unger, P. W., B. A. Stewart, J. F. Parr and R. P. Singh. 1991. Crop management and tillage methods for conserving soil and water in semiarid regions. *Soil Tillage Research* 20: 219–240.

Van Herwaarden, A.F., G. D. Farquhar, J. F. Angus, R. A. Richards and G. N. 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 (7):1067 – 1082.

Van Herwaarden, A. F, J.F. Angus, R. A. Richards and G.D. 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 (7): 1083 – 1093.

Van Herwaarden, A. F, J.F. Angus, R. A. Richards and G.D. Farquhar.1998c. . 'Haying-off', the negative grain yield response of dryland wheat to nitrogen fertiliser. III. The influence of water deficit and heat shock. *Australian Journal Agricultural Research* 49 (7): 1095-1110.

Wienhold, B.J., and J.M. Krupinsky. 1999. Chlorophyll meter as a nitrogen management tool in malting barley. *Commun. Soil Sci. Plant Anal* 30: 2551–2562

Zentner, R. P., K. E. Bowren, W. Edwards and C. A. Campbell. 1990. Effects of crop rotations and fertilization on yields and quality of spring wheat grows on a black Chernozem in north central Saskatchewan. *Canadian Journal Plant Sciences* 70: 383-397.

Ziadi, N., G. Bélanger, A. Claessens, L. Lefebvre, N. Tremblay, A.N. Cambouris, M.C. Nolin, and L.E. Parent. 2010. Plant-based diagnostic tools for evaluating wheat N status. *Crop Sci* 50:2580–2590.