

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO



**ESTUDIO COMPARATIVO DE SISTEMAS DE LABRANZA Y
ROTACIONES DE CULTIVOS Y SUS EFECTOS EN EL RENDIMIENTO
DE TRIGO Y LA PRODUCTIVIDAD DEL SUELO**

Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias Agropecuarias Mención en Producción de Cultivos

GASTÓN SHERTZER C

Directores de Tesis

Edmundo Acevedo H.
Paola Silva C.

Profesores Consejeros

Oscar Seguel S.
Ricardo Pertuzé C.

SANTIAGO DE CHILE
2013

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

**ESTUDIO COMPARATIVO DE SISTEMAS DE LABRANZA Y ROTACIONES DE
CULTIVOS Y SUS EFECTOS EN EL RENDIMIENTO DE TRIGO Y LA
PRODUCTIVIDAD DEL SUELO**

Tesis presentada para optar al Grado de Magister en Ciencias Agropecuarias, Mención
Producción de Cultivos

GASTÓN SHERTZER C.

Directores de Tesis

Edmundo Acevedo H.
Ingeniero Agrónomo, MS. Ph. D.

Paola Silva C.
Ingeniera Agrónoma, Dra.

Calificaciones

Aprobado

Aprobado

Profesores Consejeros

Oscar Seguel S.
Ingeniero Agrónomo, Dr.

Ricardo Pertuzé C.
Ingeniero Agrónomo, Ph. D.

Aprobado

Aprobado

SANTIAGO DE CHILE
2013

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en forma especial a mis profesores guías Dra. Paola Silva y Dr. Edmundo Acevedo por su valiosa y especial ayuda profesional, por su tiempo, orientación, fundamentación y dedicación durante la realización de esta tesis.

A los profesores consejeros Sres. Oscar Seguel y Ricardo Pertuzé, por sus aportes constructivos en la corrección de la tesis.

Quisiera agradecer especialmente el apoyo incondicional de mi familia durante este período, especialmente el cariño y comprensión por las jornadas extendidas dedicadas a llevar a cabo este desafío.

Agradezco a mi amigo y compañero Jorge Auza, por su invaluable amistad y ayuda.

A todas las personas que de una u otra manera contribuyeron con este trabajo investigativo.

CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
Hipótesis	6
Objetivo General	6
Objetivos Específicos	6
MATERIALES Y MÉTODOS.....	7
Tratamientos	7
Diseño Experimental.....	7
Manejo del cultivo	9
Mediciones.....	11
Trigo.....	11
Raps	11
Maíz	11
Productividad del Suelo	11
Análisis estadístico	12
Análisis de varianza	12
Análisis de componentes principales	12
Regresión por mínimos cuadrados parciales (PLS).....	12
Análisis de estabilidad	12
Análisis de productividad	13
RESULTADOS	14
Condiciones climáticas	14
Rendimiento del trigo candeal por sistema de labranza y rotación	14
Interacción Año x Labranza.....	16
Análisis de componentes de rendimiento, biomasa e índice de cosecha	18
Efecto rotaciones.....	21
Análisis de estabilidad	22

Rendimiento de los cultivos que se incluyeron en las rotaciones con trigo.....	22
Raps (R)	23
Maíz (M)	24
Análisis de productividad del suelo.....	26
Rendimiento.....	26
DISCUSIÓN.....	28
Rendimiento de trigo en los sistemas de labranza y rotación	28
Interacción año x labranza	28
Rendimiento de trigo por rotaciones.....	30
Rendimiento de los cultivos que se incluyeron en las rotaciones.....	31
Productividad del suelo.....	32
CONCLUSIONES.....	34
BIBLIOGRAFÍA	35
APÉNDICES	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de campo del experimento.....	8
Figura 2. Efecto del año y sistema de labranza en el rendimiento de trigo (2002-2007). Las barras indican el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$), prueba de comparación múltiple DMS de Fisher..	16
Figura 3. PLS para la variable rendimiento entre una matriz sistema de labranza x año y una matriz de covariables ambientales. PP S-PN= precipitación entre siembra y primer nudo; PP PC= precipitación periodo crítico; PP ciclo= precipitación ciclo crecimiento; largo de ciclo.....	17
Figura 4. Biplot de componentes principales para la interacción labranza x año y componentes de rendimiento de trigo para los años 2004 y 2006.....	18
Figura 5. Biplot de componenetes principales para la interacción labranza x año y componentes de rendimiento de trigo para los años 2003 y 2005.....	19
Figura 6. Biplot de componenetes principales para la interacción labranza x año y componentes de rendimiento de trigo para los años 2002 y 2007.....	19
Figura 7. Rendimiento de trigo por rotación. Las barras indican el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas $p \leq 0,05$	21
Figura 8. Análisis de estabilidad del rendimiento de trigo proveniente de distintas rotaciones y sistema de labranza	22
Figura 9. Efecto sistema de labranza en el rendimiento de raps (2002-2007). Las barras indican el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas $p \leq 0,10$ prueba de comparación múltiple DMS de Fisher.....	24
Figura 10. Efecto del año y sistema de labranza en el rendimiento de maíz (2002-2007). Las barras indican el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas $p \leq 0,05$ prueba de comparación múltiple DMS de Fisher	25

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos.....	7
Cuadro 2. Antecedentes sobre cultivos, variedad, fecha de siembra y fertilización efectuada en los años de estudio (2002-2007)	10
Cuadro 3. Datos climáticos y de desarrollo durante el periodo de crecimiento del trigo en los seis años de estudio (2002-2007).....	14
Cuadro 4. Rendimiento promedio en grano de trigo (kg ha^{-1}) por año, por sistema de labranza y rotación.....	15
Cuadro 5. Análisis de varianza y porcentaje de la suma de cuadrados para rendimiento de trigo en NT y CT en tres rotaciones de cultivos durante seis años de evaluación (2002-2007).....	15
Cuadro 6. Promedio de rendimiento, biomasa, índice de cosecha (IC) y componentes de rendimiento de trigo por labranza y por año.....	20
Cuadro 7. Porcentaje de la suma de cuadrados atribuible a biomasa, IC y componentes de rendimiento de trigo.....	20
Cuadro 8. Promedio de rendimiento de trigo, biomasa y componentes del rendimiento en las tres rotaciones.....	21
Cuadro 9. Rendimiento de cultivos en rotación (kg ha^{-1}) por año y por sistema de labranza.....	23
Cuadro 10. Análisis de varianza para rendimiento de raps en NT y CT durante seis años de evaluación (2002-2007).....	23
Cuadro 11. Análisis de varianza para rendimiento de maíz en NT y CT durante seis años de evaluación (2002-2007).....	25
Cuadro 12. Rendimiento del maíz para dos sistemas de labranza y tres rotaciones de cultivo después de ocho años de estudio.....	26
Cuadro 13. Análisis de varianza para rendimiento del maíz en NT y CT en tres rotaciones de cultivos en el año 2008 (Final del estudio).....	26
Cuadro 14. Promedio de rendimiento, biomasa, IC y componentes de rendimiento del maíz en dos sistemas de labranza.....	27

RESUMEN

Se estudió el efecto de cero labranza (NT) y labranza convencional (CT) en el rendimiento de trigo candeal (*Triticum turgidum* L. spp. *durum*) variedad Llareta, proveniente de tres rotaciones de cultivos: trigo-barbecho-raps (T-B-R), trigo-maíz (T-M) y trigo-barbecho (T-B), por un periodo de seis años (2002-2007). El diseño experimental fue de parcela dividida, donde la parcela principal correspondió al sistema de labranza y la subparcela a los cultivos de las rotaciones T-B-R, T-M y T-B. Adicionalmente, al término del periodo de rotaciones (2008) se sembró maíz en todas las unidades experimentales para medir, a través de su rendimiento, posibles cambios en la productividad del suelo.

El rendimiento de trigo fue afectado por la rotación, el sistema de labranza y la interacción entre sistema de labranza x año, pero no se observó interacción entre sistema de labranza x rotación. El menor rendimiento de trigo se obtuvo en la rotación T-M siendo 19% más bajo que el obtenido en las rotaciones T-B y T-B-R, entre las que no se observaron diferencias. El rendimiento de trigo mostró una tendencia a una mayor estabilidad en la rotación T-B-R. La interacción sistema de labranza por año se asoció a las condiciones climáticas particulares de cada año, mientras que la productividad del suelo, medida como rendimiento de maíz, respondió sólo al sistema de labranza, siendo mayor en CT.

Palabras claves: Cero labranza, labranza convencional, trigo candeal, rendimiento de grano, secuencia cultivos, interacción.

ABSTRACT

The effect of no tillage (NT) and conventional tillage (CT) on durum wheat yield (*Triticum turgidum* L. spp. *durum*) variety Llaretà, planted in three different crop rotations was studied for six growing years (2002-2007). The crop rotations studied were wheat-fallow-rape (*Brassica napus*) (W-F-R), wheat-maize (*Zea mays*) (W-M) and wheat-fallow (W-F). The trial was planted in a split-plot design, the main plots being the tillage treatments and the sub-plots the rotations W-F-R, W-M and W-F. In addition, at the end of the study (2008) maize was planted in all the experimental units considering maize yield as an index of soil productivity.

The wheat yield was affected by rotation and tillage system. There was a significant interaction tillage x year, but no interaction was observed between tillage and crop rotation. The lowest wheat yield was obtained in the W-M rotation, being 19% lower than that obtained in the W-F and W-F-R rotations, which had similar yields. A trend for greater wheat yield stability was observed in the W-F-R rotation. The tillage x year interaction was associated with the particular climatic conditions of each year. The soil productivity using maize yield as an index, responded only to the tillage system, being higher in conventional tillage.

Keywords: Zero tillage, Conventional tillage, Durum wheat, Grain yield, Crop farming, Interactions.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un sistema natural complejo, en equilibrio dinámico (Canet *et al.*, 2000), es un medio esencial para sustentar la producción de los cultivos (Mitchell *et al.*, 2000). El manejo agronómico que se le da al recurso suelo incide directamente sobre la calidad de éste, afectando su sustentabilidad y productividad. Magdoff (1996), define un suelo de buena calidad como aquel en que se pueden obtener cultivos sanos y de alto rendimiento con un mínimo de impactos negativos sobre el medio ambiente. Las prácticas de manejo como los sistemas de labranza y rotación de cultivos generan un gran impacto sobre la productividad y sustentabilidad del suelo (Wick, 1997; Yakovchenko *et al.*, 1996).

La agricultura sustentable requiere que se incorporen ciertos elementos agronómicos básicos que incluyen mínima o cero labranza del suelo, mantención de los rastrojos de los cultivos sobre el suelo, rotación de cultivos, permanente cobertura del suelo y uso de abonos verdes. El uso intensivo del suelo ha afectado negativamente sus propiedades físicas y ha disminuido su capacidad para entregar nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo (Rouanet *et al.*, 2005). Una de las causas directas de estos problemas ha sido la disminución de la materia orgánica y de los elementos mayores asociados como nitrógeno, fósforo y azufre (Weil, 1992; Doran y Smith, 1987). La reposición de la materia orgánica al suelo proviene, en parte, del crecimiento de las raíces (Johnson *et al.*, 2007), pero fundamentalmente de la biomasa aérea (Rouanet *et al.*, 2005). Los suelos pierden materia orgánica a través de procesos de oxidación, los que se ven incrementados al romper e invertir (arar, rastrear) continuamente su capa superior, práctica común en la agricultura intensiva (Rouanet *et al.*, 2005; Biamah *et al.*, 2000). La intensificación del uso del suelo ha derivado en una agricultura exitosa en aumentar el rendimiento de los cultivos anuales, sin embargo, ha habido un costo ambiental asociado a la intensificación del uso del suelo, a la falta de rotaciones adecuadas y a las malas prácticas de labranza, lo que se ha manifestado en erosión y aumento del CO₂ ambiental (Acevedo y Silva, 2003; West y Marland, 2002). La erosión del suelo se reduce a niveles mínimos con la cero labranza debido a la protección que ejercen los residuos. Además, con este sistema de no laboreo del suelo, el agricultor puede obtener grandes ventajas en reducción del tiempo y uso de maquinaria, lo que se traduce en menores costos totales (Cociu, 2010; Stonehouse, 1997).

La falta de sustentabilidad en los cultivos anuales en los que se practica labranza convencional (uso del arado) es conocida (Acevedo y Martínez, 2003). El problema se suscita por la exposición del suelo a la erosión hídrica y eólica y por la oxidación de la materia orgánica con la consecuente pérdida de carbono del suelo (Chatskikh y Olesen, 2007). Se estima que la labranza intensiva ha sido responsable de la pérdida de entre 30 y 50% del carbono orgánico de los suelos incorporados a agricultura (Reicosky, 2002), mientras que prácticas de conservación como la cero labranza favorecen la captura de carbono en el suelo (West y Post, 2002; Lal, 1997). La cero labranza, manteniendo los rastrojos sobre el suelo, evita la erosión y ayuda a almacenar carbono en el suelo, mejorando las propiedades físicas, químicas y biológicas, aumentando su productividad y haciendo que el suelo cumpla un rol de almacenamiento de carbono desde el punto de vista ambiental (Martínez, 2007, 2013; Acevedo y Martínez, 2003; Follett, 2001; Garcia-Torres *et al.*, 2001; Reicosky, 2001).

En Chile, la investigación en cero labranza se ha centrado principalmente en cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Alvear *et al.*, 2005; Borie *et al.*, 2006;

Martínez *et al.*, 2008; Peralta *et al.*, 2011), sin embargo, hay poca información del efecto de este sistema de labranza en las rotaciones de cultivo por un periodo largo de tiempo.

Por otro lado, las rotaciones de cultivos han sido ampliamente reconocidas por sus efectos beneficiosos para el mejoramiento de la calidad del suelo y el rendimiento de los cultivos (Hernanz, 2002; Díaz-Ambrona y Mínguez, 2001). Las rotaciones dan sustentabilidad al suelo, ya que los cultivos se van alternando cada año con el objeto que se mantenga la fertilidad del suelo y se reduzcan los niveles de erosión. Se alternan diversos cultivos y prácticas como gramíneas, leguminosas, empastadas, barbechos y otros dependiendo de las condiciones agroecológicas de la zona. Las rotaciones cortan el ciclo de malezas, plagas, enfermedades y las raíces de los diferentes cultivos exploran diferentes profundidades de suelo, manteniendo la fertilidad y las características físicas y químicas de los suelos (Raimbault y Vyn, 1991).

La eficiencia del uso del nitrógeno por parte del trigo es mayor cuando este sigue a un cultivo no cereal en la rotación, probablemente debido al desarrollo de un sistema radical más efectivo (profundidad, masa, longitud, capacidad exploratoria) (Rouanet *et al.*, 2005; Arshad e Izaurrealde 1998; Gooding y Davies, 1997). Según estimaciones del Reino Unido, “cultivos de quiebre”¹ como raps aportan alrededor de 50 kg ha⁻¹ de N al trigo subsiguiente (Gooding y Davies, 1997). Tal aporte puede superar al de una leguminosa de grano, sin embargo, a diferencia de las leguminosas, cultivos de quiebre como el raps requieren fertilización nitrogenada, de manera que el requerimiento global de nitrógeno de la rotación generalmente es menor cuando el cultivo de quiebre es una leguminosa. La rotación trigo-raps facilita el control de malezas de hoja ancha en trigo y de gramíneas en raps. La inclusión de una oleaginosa como el raps en una rotación de cereal ha sido demostrada que tiene aspectos agronómicos y económicos muy positivos. Zentner *et al.* (2002), Anderson *et al.* (1999), Brand y Zentner (1995), Heenan (1995), Lafond *et al.* (1993), reportaron que la inclusión de raps en una rotación con cereal podría incrementar los retornos de inversión y reducir el riesgo a través de una estabilidad en la producción. Además Anderson *et al.* (1999), Brand y Zentner (1995) y Heenan (1995) encontraron que al incorporar el cultivo de raps en un sistema de rotación con trigo éste incrementaba el rendimiento del trigo.

Por otro lado, incorporar una gramínea como el maíz a las rotaciones favorece la sustentabilidad de los sistemas a través de elevados aportes de materia orgánica a los suelos, mejorando su estructura física y química y reduciendo los riesgos de degradación hídrica y eólica (Acevedo y Silva 2003; Crovetto, 2002; Crovetto, 1994). Las rotaciones que incluyen maíz obtienen mayor rentabilidad en el largo plazo por los grandes aportes de materia orgánica a los suelos y que quedan para el beneficio de los cultivos siguientes (IISI Argentina, 2006). El maíz puede considerarse como un buen cultivo para encabezar una rotación, ya que deja en muy buenas condiciones al suelo para un posterior cultivo (Faigenbaum, 1998). En Chile lo más común es que después de maíz se siembre trigo (*Triticum aestivum*), por ser éste un cultivo de invierno que permite la ocupación inmediata del suelo (Riquelme, 2001). Crovetto (1992) señala que después de 10 años de siembras con cero labranza, el cultivo más importante ha sido el trigo. Este cereal se ha adaptado bien, especialmente sembrado sobre rastrojo de maíz. Existen varios patógenos comunes a maíz y trigo, trayendo principalmente problemas sanitarios al trigo, *Fusarium graminearum*, causante de pudrición de raíces y coronas, Marchitez o Fusariosis; *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp. y *Rhizopus* sp. causantes de pudrición de semillas, mohos del grano almacenado y marchitez de plántulas (Apablaza, 1999; Latorre, 1992). También esta rotación de gramíneas

¹ Cultivos que integran un plan de rotación pero que producen una ruptura del ciclo de enfermedades, plagas y malezas dentro de un programa de rotaciones (Kirkegaard *et al.*, 2008)

(trigo-maíz) aumenta los problemas de malezas gramíneas, muchas de las cuales son difíciles de controlar, sin considerar que además pueden ser huéspedes de enfermedades que afectarán al cultivo del trigo (Mellado, 2006).

En la agricultura sustentable, el barbecho es una práctica agrícola que aún utiliza la agricultura de la zona centro sur y sur del país, en que se deja “descansar” una temporada o más el suelo sin sembrar, con el propósito de recuperar y almacenar materia orgánica, humedad, controlar malezas y reducir ciclos de patógenos y enfermedades debido a la falta de un hospedero disponible. El barbecho dentro de la rotación de cultivos, especialmente en zonas semiáridas, tiene aspectos agronómicos muy positivos. Razzaq *et al.* (2002), Schillinger (2001), Antapa y Mariki (2000) y Smith y Young (2000) reportaron que al incorporar el barbecho en un sistema de rotación mejoraba la productividad del suelo, teniendo gran impacto en la conservación de humedad del suelo y en el control de malezas.

El efecto de los sistemas de labranza en la producción de cultivos ha sido bien estudiado (Lindwall *et al.* 1995; Lafond *et al.* 1992; Nyborg y Malhi 1989), pero la influencia de las rotaciones y sus interacciones han dado resultados contradictorios. Algunos estudios han informado la no existencia de interacción significativa entre los sistemas de labranza y la rotación de cultivos en el rendimiento del trigo (Carr *et al.*, 2008, 2006a, 2006b; Soon y Clayton, 2002; Hao *et al.*, 2001; Lindwall *et al.*, 1995; Lafond *et al.*, 1992; Lund *et al.*, 1993), pero otros autores como Norwood (1994) han encontrado interacciones significativas entre sistema de labranza y rotaciones en el rendimiento de trigo de invierno y en el rendimiento de sorgo en rotaciones de 6 años. Edwards *et al.* (1988) también encontró interacción entre sistema de labranza y rotación para rendimiento en trigo, también para rendimiento en soya y rendimiento en maíz. Hammel (1995) encontró interacción entre labranza y rotación en trigo (*Triticum aestivum* L.) en un estudio de cuatro años (1984-1987) en Palouse, en el norte de Idaho, USA. La controversialidad de estos resultados, aparentemente dependen del tipo de suelo, rotación de cultivos y de las condiciones climáticas locales (Martin-Rueda *et al.*, 2007; Angas *et al.*, 2006; Cantero-Martínez *et al.*, 2003; Małecka y Blecharczyk, 2002; Halvorson *et al.*, 2000; Arshad y Gill, 1997; Nyborg *et al.*, 1995).

Hipótesis

Existe interacción entre sistema de labranza y rotación de cultivos en el rendimiento de trigo candeal y en su efecto sobre la productividad del suelo.

Objetivo General

Determinar el efecto de tres rotaciones de cultivo bajo dos sistemas de labranza en el rendimiento de trigo candeal y la productividad del suelo.

Objetivos Específicos

- Comparar el rendimiento de trigo bajo dos sistemas de labranza y tres rotaciones en un periodo de seis años de cultivo.
- Analizar el rendimiento de cultivos que se rotaron con trigo en cero labranza y labranza convencional.
- Analizar la productividad de un suelo manejado durante seis años con dos sistemas de labranza y tres rotaciones de cultivos usando como indicador el rendimiento de un cultivo de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

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 un clima templado cálido, con temperatura media anual de 13,9°C, máxima media del mes más cálido (enero) de 29°C y mínima media del mes más frío (julio) de 2,8°C. La precipitación anual es de 370 mm, siendo el mes de julio el más lluvioso, con 96,4 mm y la estación seca se extiende entre noviembre y abril (Santibáñez y Uribe, 1990). El suelo pertenece a la Serie Santiago, desarrollada a partir de los sedimentos del cono aluvial del río Maipo. Suelo de color grisáceo muy oscuro en profundidad, buena permeabilidad y drenaje, no existiendo pedregosidad superficial; es un suelo miembro de la Familia Coarse loamy over sandy, skeletal, mixed, thermic Entic Haploxerolls, que se caracteriza por ser suelos planos de profundidad media (60 cm) y de textura superficial franco arcillo arenosa (CIREN 1996).

Tratamientos

Se evaluó el rendimiento de trigo candeal variedad Llaretta-INIA en tres rotaciones de cultivo en labranza convencional (CT) y cero labranza (NT) (Cuadro 1) entre los años 2000 y 2007.

Cuadro 1. Tratamientos

Sistema de labranza	Rotación de cultivos	Cultivos en la rotación
Labranza convencional (CT)	1	Trigo-Barbecho-Raps (T-B-R)
	2	Trigo-Maíz (T-M)
	3	Trigo- Barbecho (T-B)
Cero labranza (NT)	1	Trigo-Barbecho-Raps (T-B-R)
	2	Trigo-Maíz (T-M)
	3	Trigo- Barbecho (T-B)

Diseño Experimental

El diseño experimental utilizado fue de parcela dividida en bloques completos aleatorizados, con tres repeticiones. La parcela principal la constituyó el sistema de labranza y la subparcela el cultivo de cada una de las tres rotaciones usadas (Figura 1) (Apéndice 1). La unidad experimental fue de 39 m de largo y 10 m de ancho.

Todas las fases de la rotación estuvieron presentes cada año, por lo que se contó con seis años de trigo proveniente de la rotación T-M, T-B y siete años de trigo proveniente de la rotación T-B-R. Para fines de análisis se consideraron seis años de rotaciones efectivas, las que se desarrollaron entre los años 2002 y 2007.

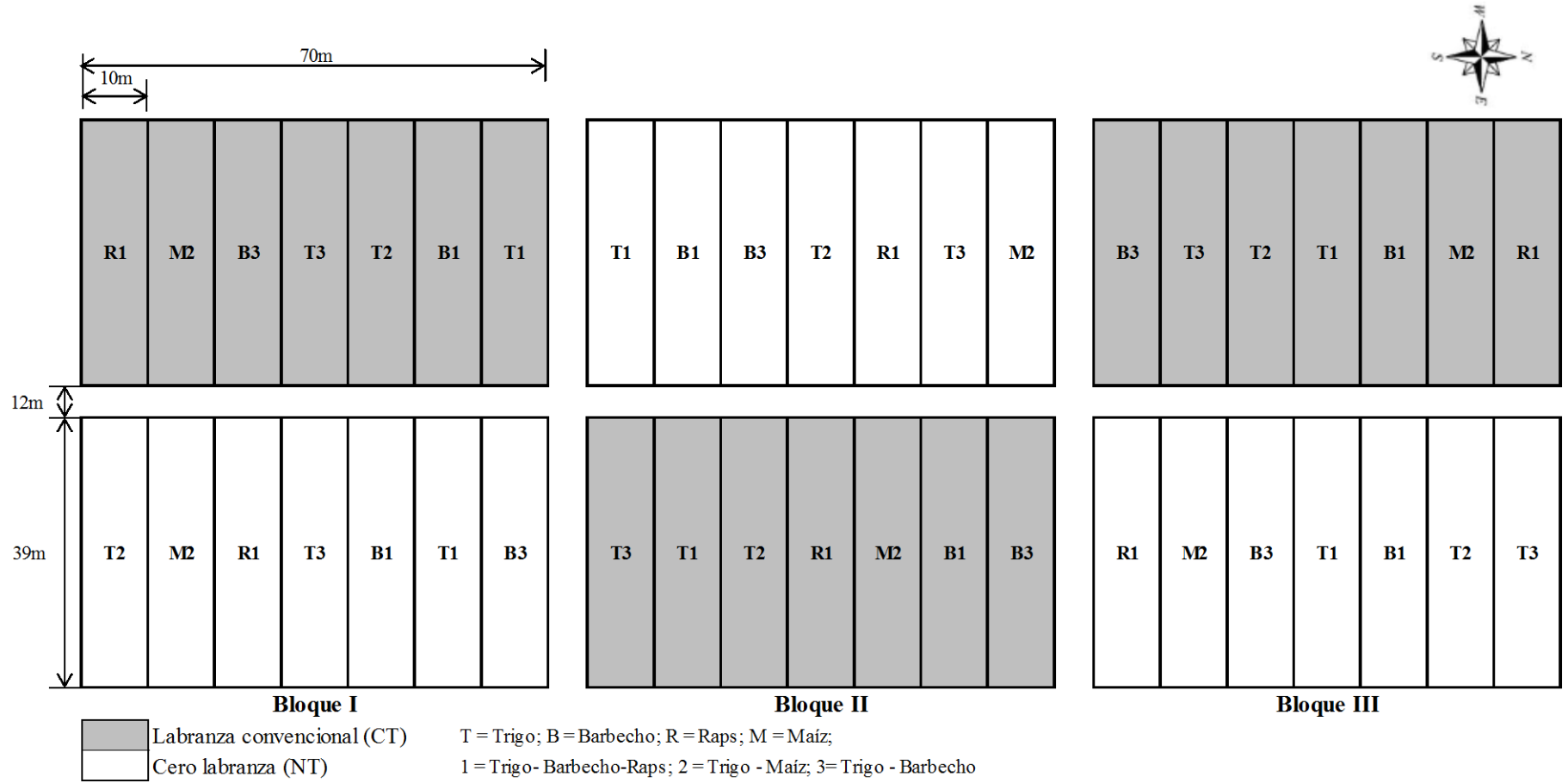


Figura 1. Diagrama de campo del diseño experimental.

Manejo de cultivos

El ensayo se implementó el año 2000, después de la eliminación de un huerto frutal, con trabajos de nivelación y preparación del suelo. La preparación inicial de la cama de semilla en CT consistió en una aradura y dos o más labores de rastraje. La siembra se efectuó con una máquina sembradora marca SEMEATO SHM13/15 (São Cristóvão, RS, Brasil); en tratamientos con cero labranza (NT) no hubo labores de preparación de suelo. Los rastrojos fueron incorporados en los tratamientos con CT, no así en NT en que permanecieron sobre el suelo.

Los cultivos fueron fertilizados con nitrógeno y fósforo según resultados de análisis de suelo. Las malezas fueron controladas en forma manual y química. En NT antes de las siembras, las malezas fueron controladas con glifosato, herbicida de amplio espectro, que tiene la propiedad de carecer de efecto residual. En CT, previo a la siembra las malezas fueron controladas con los rastrajes. Los riegos se realizaron por aspersión de acuerdo a un balance hídrico. El control de plagas y enfermedades en ambos sistemas de labranza fue realizado con un programa de agroquímicos, agregándose a los tratamientos de labranza convencional prácticas culturales como cultivación mecanizada entre hileras y control de malezas en forma manual (Cuadro 2).

Cuadro 2. Antecedentes sobre cultivos, variedad, fecha de siembra y fertilización efectuada en los años de estudio (2002-2007).

Cultivo	Año	Variedad	Fecha de siembra	Dosis de semilla (kg ha ⁻¹)	Fertilización (kg ha ⁻¹)		Programa fitosanitario (Nombre comercial)		
					N	P ₂ O ₅	Fungicidas	Insecticidas	Herbicidas
Trigo	2002	Llaretá	13-06-2002	120	150	80	Raxil (75g/100kg semilla). Tilt (200g/ha)		2,4D (1L/ha). Ajax (10g/ha)
	2003	Llaretá	02-07-2003	150	150	80	Anagran (125 g/100 kg semilla)		
	2004	Llaretá	01-07-2004	120	150	80	Anagran (125 g/100 kg semilla)	Troya (1,5 L/ha)	Vulcano (80 g/ha) + Aliado (8 g/ha)
	2005	Llaretá	06-07-2005	120	150	80	Anagran (125 g/100 kg semilla). Tilt (200 g/ha)	Cyren (350 cm ³ /ha). Cyren (350 cm ³ /ha).	Vulcano (90 g/ha). Arrat (180 g/ha)
	2006	Llaretá	20-06-2006	150	200	80	Anagran (125 g/100 kg semilla)	Cyren (350 cm ³ /ha).	Vulcano (90 g/ha) + Dash (1,25 L/ha). DMA 610 (0,8 L/ha)
	2007	Llaretá	30-05-2007	120	150	80	Anagran (125 g/100 kg semilla)	Cyren (350 cm ³ /ha)	Vulcano (90 g/ha)
Raps	2002	Licoya	17-05-2002	5	60	60			
	2003	L 456 IMI	29-05-2003	5	60	60			Eurolighting (750cm ³ /ha) + Dash (250cm ³ /ha)
	2004	L 456 IMI	31-05-2004	5	120	60	Vitavax (1 L/100 kg semilla)		Eurolighting (750cm ³ /ha) + Dash (250cm ³ /ha) (2)
	2005	L 456 IMI	07-07-2005	5	120	60	Vitavax (1 L/100 kg semilla)		Eurolighting (750cm ³ /ha) + Dash (250cm ³ /ha)
	2006	L 456 IMI	29-07-2006	5	120	60	Vitavax (1 L/100 kg semilla)		Eurolighting (750cm ³ /ha) + Dash (250cm ³ /ha)
	2007	L 456 IMI	03-07-2007	5	120	60	Vitavax (1 L/100 kg semilla)		Eurolighting (750cm ³ /ha) + Dash (250cm ³ /ha)
Maíz	2002	Mexico	26-09-2002	110.000 Plts ha ⁻¹	600	60			Accent (70g/ha). 2,4 D (800cm ³ /ha)
	2003	Mexico	29-09-2003	110.000 Plts ha ⁻¹	500	60			
	2004	Mexico	23-09-2004	110.000 Plts ha ⁻¹	500	60		Force 20 CS (150 cm ³ /100 kg)	On Duty (114 g/ha) + Dash (125cm ³ /ha)
	2005	Mexico	11-11-2005	110.000 Plts ha ⁻¹	500	120			On Duty (114 g/ha) + Dash (125cm ³ /ha)
	2006	Mexico	20-09-2006	110.000 Plts ha ⁻¹	500	120			DMA 610 (0,8 L/ha). Accent (70 g/ha)
	2007	Mexico	10-10-2007	110.000 Plts ha ⁻¹	500	120			On Duty (114 g/ha) + Dash (200cm ³ /ha)

Mediciones

Trigo. Se contó el número de plantas por metro lineal. A cosecha se cosechó tres veces 1 m² en cada parcela de trigo, luego se separaron 50 tallos con espigas que fueron masados antes y después de ser secados en una estufa de aire forzado durante 48 horas a 70 °C. El resto del material se masó y trilló en una máquina trilladora estacionaria. Los granos se masaron y se separaron 250 granos, los que fueron masados 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, la materia seca de 1000 granos (g), espigas por m⁻², granos por m⁻² y granos por espiga (Apéndices 2 y 3). La información se expresó con 0% de humedad. El índice de cosecha (IC) fue calculado dividiendo el rendimiento de grano por la biomasa aérea.

Raps. Se contó el número de plantas por metro lineal. A cosecha se cosecharon 6 m lineales por parcela, las cuales se masaron después de ser colocadas en estufa de aire forzado durante 48 horas a 70 °C. Luego se desgranaron, posteriormente se masaron los granos y se separaron 250 granos, los que también se masaron. A partir de estos datos se calculó el rendimiento, la biomasa aérea y la materia seca de 250 granos. La información se expresó a 0% de humedad. El índice de cosecha (IC) fue calculado dividiendo el rendimiento de grano por la biomasa.

Maíz. Se contó el número de plantas por metro lineal. A cosecha se cosecharon 20 plantas por parcela de maíz, las cuales se masaron después de ser colocadas en estufa de aire forzado durante 48 horas a 70 °C. Luego las mazorcas se desgranaron, posteriormente se masaron los granos y se separaron 250 granos, los que también se masaron. A partir de estos datos se calculó el rendimiento, la biomasa aérea y la materia seca de 250 granos. La información se expresó con 0% de humedad. El índice de cosecha (IC) fue calculado dividiendo el rendimiento de grano por la biomasa.

Productividad del Suelo

Se utilizó el rendimiento de un cultivo de maíz como indicador de productividad, el cual fue sembrado en el año 2008 después de trigo en cada una de las rotaciones y sistemas de labranza en estudio. Dado que las propiedades químicas del suelo no son limitantes (Martínez *et al*, 2007), se decidió usar como cultivo indicador maíz, por ser uno de los cultivos que muestra mayor sensibilidad en su rendimiento a las variaciones físicas del suelo, como profundidad efectiva, aireación, capacidad de almacenaje de agua, entre otros (Sadras y Calviño, 2001). Como el objetivo de esta evaluación estaba centrado en los cambios en las propiedades físicas del suelo, el cultivo se manejó sin limitaciones de N y P. El cultivo de maíz grano (*Zea maíz*) se sembró el 26 de Septiembre de 2008 con una densidad de 110.000 plantas ha⁻¹. A la siembra se aplicó 250 kg de N (urea) y 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato triple), y en el estado de 8 hojas se aplicó 250 kg ha⁻¹ de N (urea). En NT se aplicó glifosato previo a la siembra para controlar malezas y en CT las malezas fueron controladas con los rastrajes previo a la siembra. La siembra en ambos sistemas de labranza se realizó con una máquina sembradora de cero labranza (Semeato SHM13/15). Se utilizó riego por aspersión regándose con una frecuencia determinada según balance hídrico del suelo.

Análisis estadístico

Análisis de varianza

El rendimiento de trigo en los seis años de rotaciones efectivas (2002 a 2007), se analizó a través de un análisis combinado de varianza (ANDEVA) para los factores años de manejo, sistema de labranza y rotaciones. Las variables analizadas fueron rendimiento, biomasa y componentes de rendimiento (granos por m⁻², materia seca de 1.000 granos (PS1000), espigas por m², granos por espiga, gramos de grano por espiga e índice de cosecha). Los análisis fueron realizados en el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2010). Cuando no se encontraron interacciones significativas, se utilizó la prueba de comparación múltiple propuesta por Fisher (DMS de Fisher) para determinar diferencias entre las medias de los tratamientos.

Análisis de componentes principales

Para conocer cómo se interrelacionan los componentes de rendimiento (granos espiga⁻¹, granos m⁻², PS 1000, espigas m⁻², índice de cosecha y biomasa) con el rendimiento de trigo en los diferentes sistemas de labranza, se realizó un análisis de correlación y de componentes principales con el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2010). Se hizo una representación gráfica (Biplot) con las diferentes variables analizadas para cada labranza.

Regresión por mínimos cuadrados parciales (PLS)

Para analizar la asociación de las variables agronómicas con las variables ambientales y comprender mejor las interacciones año x labranza, se utilizó una regresión por mínimos cuadrados parciales PLS (Partial Least Squares), donde la matriz “Y” contiene los términos de interacción entre año y labranza para rendimiento de trigo en los 6 años de estudio y la matriz “X” contiene los promedios de las covariables climáticas. Los resultados de PLS fueron representados a través de un gráfico triplot (Di Rienzo *et al.*, 2010).

Las covariables climáticas que fueron consideradas para estos análisis correspondieron a: (i) Precipitación + riego, de siembra a primer nudo (PP S-PN), (ii) Precipitación + riego, de primer nudo a antesis (PP PN-A), (iii) Precipitación + riego, de antesis a madurez fisiológica (PP A-MF), (iv) Precipitación a ciclo completo, (v) Precipitación + riego, en periodo crítico (PP PC) y también fue considerado la variable de desarrollo (vi) Días a ciclo completo.

Análisis de estabilidad

Para determinar la estabilidad del rendimiento de trigo candeal en los dos sistemas de labranza (CT y NT) y tres rotaciones evaluadas, se realizó un análisis de estabilidad mediante el método de regresión lineal propuesto por Eberhard y Russell (1966). Con este método se realizó la regresión de cada sistema de labranza en cada una de las rotaciones sobre un índice ambiental (IA). El índice ambiental correspondió al rendimiento promedio de trigo de todos los años evaluados en ambos sistemas de labranza de manera de proveer estimaciones de parámetros de estabilidad. Estos parámetros han sido definidos por el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu_i + \beta_i I_j + \delta_{ij}$$

Y_{ij} representa la media del i -ésimo sistema de labranza del j -ésimo año, μ_i la media del i -ésimo sistema de labranza sobre todos los años, β_i el coeficiente de regresión de la respuesta del i -ésimo sistema de labranza en varios años, I_j el índice ambiental obtenido como el promedio de los sistemas de labranza al j -ésimo año menos el promedio general y δ_{ij} representa la desviación de la regresión del i -ésimo sistema de labranza en el j -ésimo ambiente.

Se graficó el rendimiento promedio de trigo obtenido de cada sistema de labranza y rotación (ordenadas, eje Y) sobre el índice ambiental (abscisas, eje X) para estimar una recta de regresión lineal en cada sistema de labranza y rotación. La pendiente de la recta de regresión representó la estabilidad del rendimiento de trigo. Se consideró un rendimiento estable entre medio ambientes cuando la pendiente de la regresión tuvo valores de 1,0 ó menores a 1,0.

Para determinar diferencias estadísticas entre las rectas de cada sistema de labranza y entre las distintas rotaciones, se realizó un análisis de estimación por intervalos de confianza de las rectas de regresión (95%).

Análisis de productividad

Para el análisis de la productividad del suelo, se ajustó un modelo lineal para un experimento bifactorial conducido según un diseño en parcelas divididas en bloques completamente aleatorizados de acuerdo al siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu_i + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \gamma_{ijk} + (\tau\gamma)_{ik} + \epsilon_{ijk}$$

Dónde: Y representa la observación en el k -ésimo nivel del factor aplicado a la subparcela, de la i -ésima parcela principal en el j -ésimo bloque, τ_i representa el i -ésimo nivel del factor aplicado a la parcela principal, β_j el j -ésimo bloque, $(\tau\beta)_{ij}$ el error experimental de la parcela principal, γ_{ijk} representa el efecto del k -ésimo nivel del factor asociado a la subparcela dentro de la i -ésima parcela principal del j -ésimo bloque, $(\tau\gamma)_{ik}$ representa la interacción del factor principal con el factor aplicado a las subparcela y ϵ_{ijk} el error experimental.

La parcela principal la constituyó el sistema de labranza mientras que la sub parcela la rotación. Las variables analizadas corresponden a las variables medidas en el cultivo de maíz. Los análisis estadísticos fueron realizados utilizando el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2010).

RESULTADOS

Condiciones climáticas

Los años 2004 y 2006 tuvieron la mayor pluviometría, con un total de 279 y 306 mm respectivamente, lo que representó en promedio un 28 y 39% más de lluvia que el promedio de lluvia de los 6 años de estudio (Cuadro 3).

Cuadro 3. Datos climáticos y de desarrollo durante el periodo de crecimiento del trigo en los 6 años de estudio (2002-2007).

Variables de desarrollo y climáticas	Año					
	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Fecha de siembra (S)	13-06-2002	02-07-2003	01-07-2004	06-07-2005	20-06-2006	30-05-2007
Fecha de primer nudo (PN)	22-08-2002	25-08-2003	27-08-2004	17-08-2005	31-07-2006	25-07-2007
Fecha de espigadura (A)	15-10-2002	12-10-2003	15-10-2004	19-10-2005	29-09-2006	16-10-2007
Fecha de madurez fisiológica (MF)	29-11-2002	21-11-2003	26-11-2004	27-11-2005	14-11-2006	23-11-2007
Días S-PN	70	54	57	42	41	56
Días PN-A	54	48	49	63	60	83
Días A-MF	45	40	42	39	46	38
Días ciclo completo	169	142	148	144	147	177
Temperatura media S-PN (°C)	8,9	8,8	9,0	10,0	10,4	9,0
Temperatura media PN-A (°C)	12,0	13,2	12,5	11,3	11,8	9,8
Temperatura media A-MF (°C)	15,2	16,3	15,7	16,4	14,9	16,7
Temperatura media ciclo completo (°C)	11,6	12,4	12,1	12,3	12,4	11,0
Temperatura media periodo crítico (°C)	13,4	14,7	12,9	13,2	13,4	14,1
Total lluvia + riego S-PN (mm)	148,4	22,9	163,4	68,5	178,0	108,4
	(148,4 + 0) ¹	(22,9 + 0)	(163,4 + 0)	(68,5 + 0)	(178 + 0)	(108,4 + 0)
Total lluvia + riego PN-A (mm)	151,2	104,2	93,6	243,4	88,6	142,6
	(41,2 + 110)	(29,2 + 75)	(33,6 + 60)	(153,4 + 90)	(66,6 + 22)	(37,6 + 105)
Total lluvia + riego A-MF (mm)	114,8	245,2	306,6	265,4	165,4	97,6
	(4,8 + 110)	(20,2 + 225)	(81,6 + 225)	(10,4 + 255)	(61,4 + 104)	(0,6 + 97)
Total lluvia + riego ciclo completo (mm)	414,4	372,3	563,6	577,3	432,0	348,6
	(194,4 + 220)	(72,3 + 300)	(278,6 + 285)	(232,3 + 345)	(306 + 126)	(146,6 + 202)
Total lluvia + riego periodo crítico (mm)	97,5	78,0	77,4	109,0	47,8	91,2
	(7,5 + 90)	(18 + 60)	(2,4 + 75)	(19 + 90)	(3,8 + 44)	(1,2 + 90)

¹ (lluvia + riego) ocurridos en el periodo.

Las siembras más tempranas se realizaron en los años 2002 y 2007, coincidiendo con las temperaturas más bajas a ciclo completo. En estos mismos años el ciclo de desarrollo del cultivo fue más largo debido a las más bajas temperaturas a las que estuvo expuesto (Cuadro 3).

Rendimiento de trigo candeal por sistema de labranza y rotación.

El rendimiento del trigo según tipo de labranza se presenta en el Cuadro 4. Se observa un rendimiento 17% menor en NT que el obtenido en CT. En CT el rendimiento promedio fue de 4.768 kg ha⁻¹, mientras que en cero labranza fue de 3.952 kg ha⁻¹

Cuadro 4. Rendimiento promedio en grano de trigo (kg ha^{-1}) por año, por sistema de labranza y rotación.

Año	Rotaciones						Rend. promedio		
	T-B-R		T-M		T-B		(kg ha^{-1})		
	CT	NT	CT	NT	CT	NT	CT	NT	Δ (%)*
2002	5.721	5.007	6.058	4.836	6.232	5.887	6.003	5.243	-12,7
2003	3.381	4.042	2.870	3.002	2.987	3.372	3.079	3.472	12,8
2004	5.012	4.173	4.176	1.880	5.955	3.545	5.047	3.199	-36,6
2005	4.379	3.455	2.944	2.428	3.805	3.491	3.709	3.125	-15,7
2006	6.024	3.330	4.818	2.860	5.787	4.367	5.543	3.519	-36,4
2007	5.341	6.015	4.875	4.641	5.463	4.812	5.226	5.156	-1,3
Promedio del ensayo	4.976	4.337	4.290	3.275	5.038	4.246	4.768	3.952	-17,1

* Porcentaje de cambio del rendimiento de trigo en cero labranza (NT) con respecto a la labranza convencional (CT).

T-B-R= Rotación trigo, barbecho, raps; T-M= Rotación trigo, maíz; T-B= Rotación trigo, barbecho.

CT= Labranza convencional; NT= Cero labranza

El resultado del análisis de varianza para rendimiento de trigo según sistema de labranza y rotación en los seis años de estudio mostró diferencias significativas entre años, rotaciones, sistema de labranza e interacción entre el año y el sistema de labranza ($p < 0,05$). No hubo interacción sistema de labranza x rotación (Cuadro 5).

El porcentaje de la suma de cuadrados (SC) del análisis de varianza atribuye un 12,8% de la variabilidad total a los efectos de la interacción año x labranza, mientras que para el efecto de la rotación éste es algo menor (11,1%). Para los efectos año x rotación, labranza x rotación y año x labranza x rotación, los porcentajes son muy bajos, lo que demuestra que las diferencias en el rendimiento del trigo para estos efectos son muy pequeñas y no son significativas.

Cuadro 5. Análisis de varianza y porcentaje de la suma de cuadrados para rendimiento de trigo en NT y CT en tres rotaciones de cultivos durante seis años de evaluación (2002-2007).

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	% explicado de SC
Año	5	79.874.996,6	15.974.999,3	16,0	<0,0001 *	49,3
Bloque	12	10.613.305,8	884.442,2	0,9	ns	6,5
Labranza	1	17.964.813,8	17.964.813,8	18,0	0,0012 *	11,1
Año x Labranza	5	20.693.562,3	4.138.712,5	4,1	0,0204 *	12,8
Error	12	12.000.967,5	1.000.080,6			
Rotación	2	18.046.977,7	9.023.488,9	13,4	<0,0001 *	11,1
Año x Rotación	10	8.831.700,7	883.170,1	1,3	ns	5,5
Labranza x Rotación	2	644.243,6	322.121,8	0,5	ns	0,4
Año x Labranza x Rotación	10	5.346.844,0	534.684,4	0,8	ns	3,3
Error	48	32.357.171,0	674.107,7			
Total	107	206.374.582,9				100

Valores seguidos de * son significativos a $p < 0,05$

ns = no significativo

CT= Labranza convencional; NT= Cero labranza; F.V.= Fuentes de variación; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios.

Interacción Año x Labranza

El rendimiento de trigo en los diferentes sistemas de labranza cambió con los años (Figura 2). En los años 2002 y 2007 se observaron los mayores rendimientos, sin encontrar diferencias estadísticamente significativas entre CT y NT. Los años 2003 y 2005 tuvieron los más bajos rendimientos y tampoco hubo diferencias estadísticamente significativas entre CT y NT. Sin embargo, en los años 2004 y 2006 se observó un rendimiento significativamente menor en NT en comparación con CT. El rendimiento de trigo en NT fue 37 y 36% menor que CT para estos años respectivamente (Cuadro 4 y Figura 2).

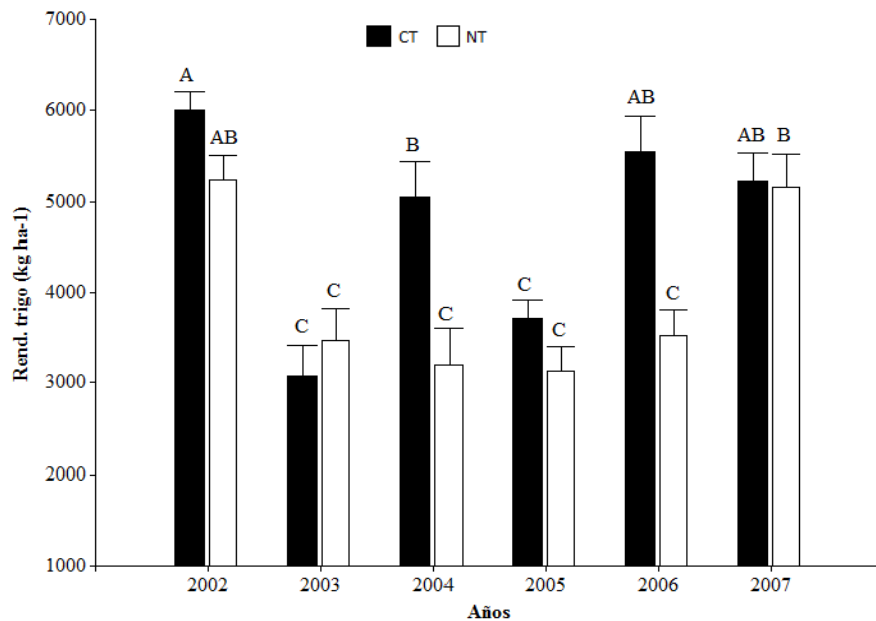


Figura 2. Efecto de la interacción entre año y sistema de labranza en el rendimiento del trigo (2002-2007). Las barras indican el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas $p < 0,05$, prueba de comparación múltiple DMS de Fisher. CT= Labranza convencional; NT= Cero labranza

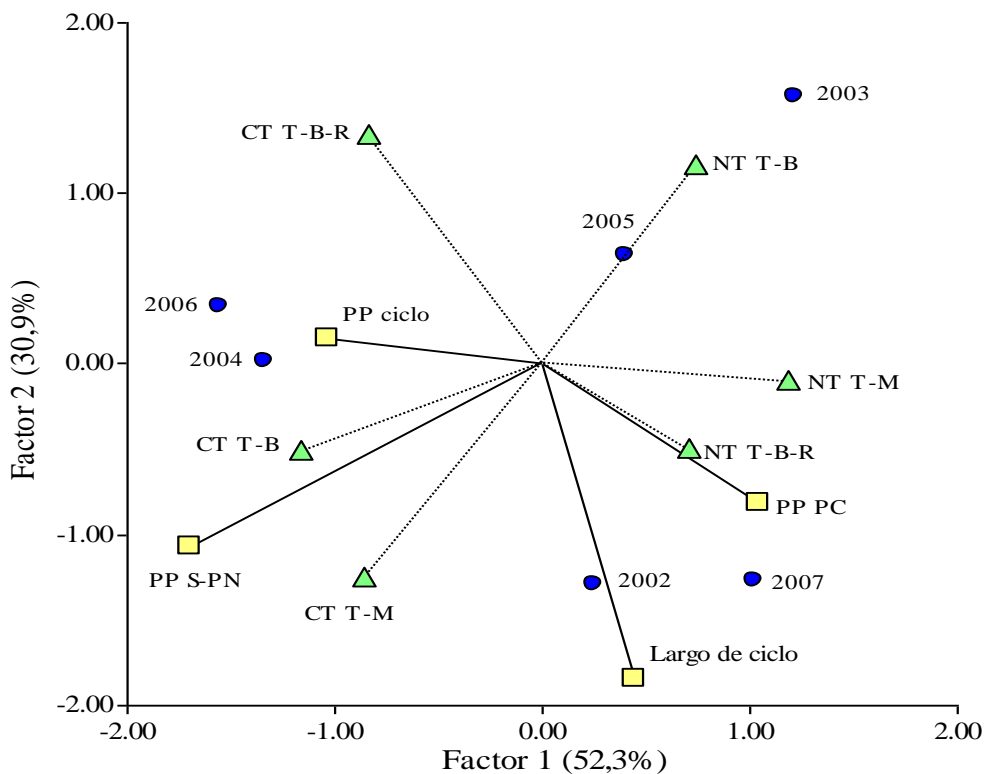
La regresión por mínimos parciales (PLS) fue utilizada para explicar las variaciones debidas a la interacción año x labranza a través de la variable largo de ciclo y la variable climática precipitación + riego en diferentes estados de desarrollo (Figura 3).

El PLS explica 83,2% de la variación observada en la interacción año x labranza para el rendimiento de trigo. En consecuencia, la interacción encontrada en este estudio se explica principalmente por éstas variables. El factor 1 separa por precipitaciones, a la derecha está la mayor precipitación en el periodo crítico (período de crecimiento de la espiga), y a la izquierda esta mayor precipitación entre siembra y primer nudo. El factor 2 está asociado a largo del ciclo, en los cuadrantes inferiores está el ciclo más largo y en los superiores el ciclo más corto, (Figura 3).

En los años 2003 y 2005 se obtuvo el menor rendimiento en ambos sistemas de labranza, en el análisis de PLS estos años son los que tienen el menor largo de ciclo relativo (Figura 3), siendo los de fecha de siembra más tardía (Cuadro 3).

En los años 2002 y 2007 se obtuvo el mayor rendimiento en ambos sistemas de labranza, en el análisis de PLS estos años son los que tienen el mayor largo de ciclo relativo y mayor precipitación en el periodo crítico (Figura 3), siendo a su vez los con fecha de siembra más temprana (Cuadro 3).

En los años 2004 y 2006 se observaron las mayores diferencias entre CT y NT, siendo mayor el rendimiento de trigo en CT. En estos años el ciclo de desarrollo fue corto y adicionalmente fueron los años en que ocurrió una mayor precipitación entre siembra y primer nudo (Cuadro 3 y Figura 3)



CT T-B-R = Labranza convencional, rotación trigo, barbecho, raps.
 CT T-M = Labranza convencional, rotación trigo, maíz.
 CT T-B = Labranza convencional, rotación trigo, barbecho.

NT T-B-R = Cero labranza, rotación trigo, barbecho, raps.
 NT T-M = Cero labranza, rotación trigo, maíz.
 NT T-B = Cero labranza, rotación trigo, barbecho.

Figura 3. PLS para la variable rendimiento entre una matriz sistema de labranza x año y una matriz de covariables ambientales. PP S-PN= precipitación entre siembra y primer nudo; PP PC= precipitación periodo crítico; PPciclo= precipitación ciclo crecimiento; Largo de ciclo.

Análisis de componentes de rendimiento, biomasa e índice de cosecha.

En los años 2004 y 2006 se observaron las mayores diferencias entre CT y NT. En estas condiciones el rendimiento se asoció positivamente con la biomasa, el número de granos/m², espigas/m², granos/espigas, PS1000 e IC (Figura 4 y Cuadro 6).

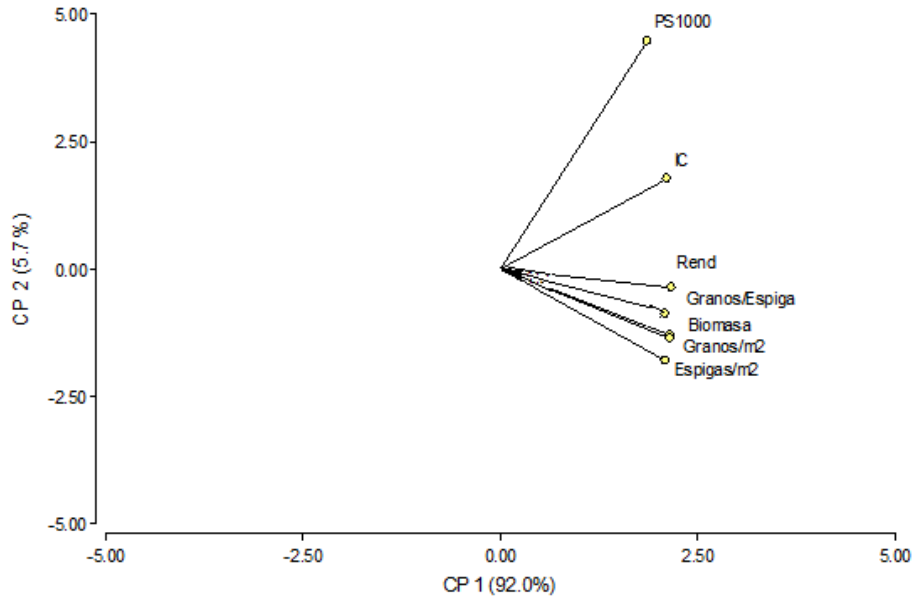


Figura 4. Biplot de componentes principales (CP) para la interacción labranza x año y componentes de rendimiento de trigo para los años 2004 y 2006.

En los años 2003 y 2005 se obtuvo el menor rendimiento en ambos sistemas de labranza, en estas condiciones el rendimiento se asoció positivamente con granos/m², con el PS1000, granos/espigas e IC (Figura 5 y Cuadro 6).

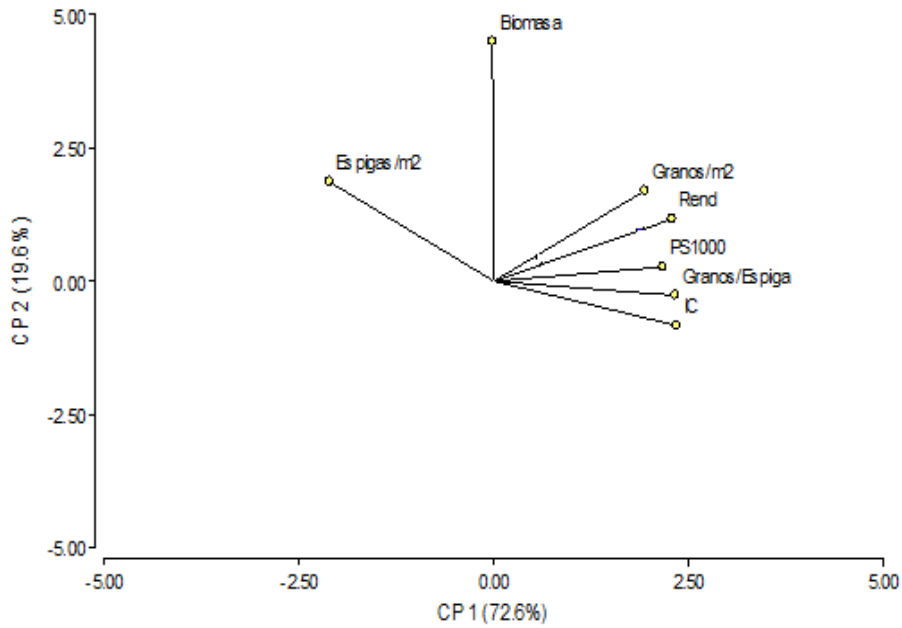


Figura 5. Biplot de componentes principales (CP) para la interacción labranza x año y componentes de rendimiento de trigo para los años 2003 y 2005.

En los años 2002 y 2007 se obtuvo el mayor rendimiento en ambos sistemas de labranza y en estas condiciones el rendimiento se asoció positivamente con el número de granos/m² (Figura 6 y Cuadro 6).

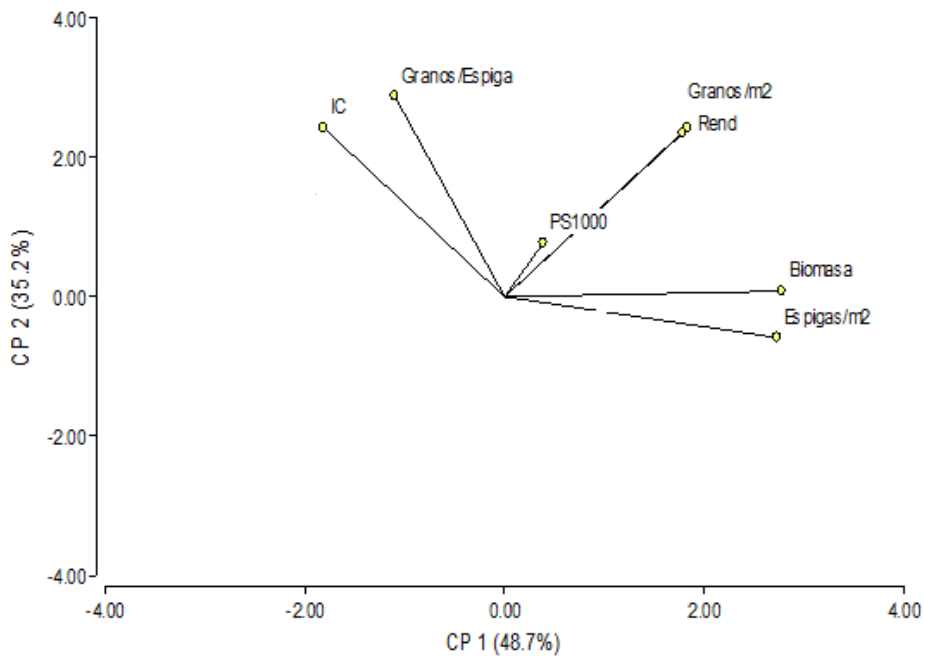


Figura 6. Biplot de componentes principales (CP) para la interacción labranza x año y componentes de rendimiento de trigo para los años 2002 y 2007.

Cuadro 6. Promedio de rendimiento, biomasa, índice de cosecha (IC) y componentes de rendimiento de trigo por labranza y año.

Año	SL	Biomasa (kg/ha ⁻¹)	Rend. grano (kg/ha ⁻¹)	IC (kg/ha ⁻¹)	PS 1000 (g)	Granos m ⁻²	Espigas m ⁻²	Granos espiga ⁻²
2002	CT	15480 ab	6003 a	0,39 b	47,0 ab	12782 a	397 bcd	32,6 a
	NT	12234 cd	5243 ab	0,43 a	48,5 ab	10821 cd	319 f	34,2 a
2003	CT	8235 f	3079 c	0,37 bc	39,7 cd	7688 gh	320 f	23,9 cde
	NT	10115 ef	3472 c	0,35 cde	36,9 d	9270 def	386 bcde	24,6 bcde
2004	CT	13632 bc	5047 b	0,37 bc	49,2 ab	10161 cde	414 abc	24,8 bcde
	NT	9730 ef	3199 c	0,32 de	46,7 ab	6674 h	346 def	19,4 f
2005	CT	11616 de	3709 c	0,32 de	41,4 c	8956 efg	381 bcde	23,6 de
	NT	9676 ef	3125 c	0,32 de	39,5 cd	7863 fgh	363 cdef	21,8 ef
2006	CT	13996 bc	5543 ab	0,40 ab	49,9 a	11064 bc	420 ab	26,8 bcd
	NT	9766 ef	3519 c	0,36 bcd	46,7 b	7570 gh	339 ef	22,4 ef
2007	CT	16955 a	5226 ab	0,31 e	41,5 c	12522 ab	462 a	27,5 bc
	NT	15984 a	5156 b	0,32 de	40,5 c	12709 a	457 a	28,2 b
DMS _(0,05)		1942	811	0,04	3,2	1561	55	3,7

SL= Sistema de labranza; CT= Labranza convencional; NT= Cero labranza

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas a $p < 0,05$

En el análisis de varianza, las variables biomasa, índice de cosecha, granos m⁻², espigas m⁻² y granos espiga⁻¹, mostraron interacción año x labranza, no así la variable PS 1000, que no presentó interacción año x labranza pero sí efecto labranza e interacción año x rotación.

La variable biomasa también tuvo efecto rotación, al igual granos m⁻², granos espiga⁻¹, e IC, este último también mostró efecto año x rotación y labranza x rotación (Cuadro 7 y Apéndice 6).

Cuadro 7. Porcentaje de la suma de cuadrados atribuible a biomasa, IC y componentes de rendimiento de trigo.

F.V.	gl	Biomasa (kg ha ⁻¹)	IC	PS 1000 (g)	Granos m ⁻²	Espigas m ⁻²	Granos espiga ⁻¹
Años	5	57,9 ***	37,4 ***	58,0 ***	52,8 ***	38,3 **	56,8 ***
Bloque	12	7,0 ns	6,2 ns	5,3 ns	9,4 ns	9,0 ns	10,2 ns
Labranza	1	11,3 ***	0,6 ns	2,3 *	8,5 ***	7,1 **	2,0 ns
Años x labranza	5	11,5 ***	9,3 *	2,1 ns	15,3 ***	20,8 **	6,8 *
Rotación	2	3,6 *	16,8 ***	11,3 ***	6,4 **	0,5 ns	10,9 ***
Año x rotación	10	5,3 ns	15,6 *	13,9 ***	5,5 ns	18,4 ns	8,9 ns
Labranza x rotación	2	0,5 ns	6,2 *	1,5 ns	0,2 ns	1,8 ns	2,8 ns
Año x labranza x rotación	10	2,5 ns	7,8 ns	5,5 ns	1,9 ns	4,0 ns	1,7 ns
Total (%)		100	100	100	100	100	100

Valores seguidos de *, ** y *** significativos a $p < 0,05$; $p < 0,01$ y $p < 0,001$ respectivamente.

ns= no significativo

F.V.= Fuentes de variación; gl.= Grados de libertad; IC= Índice de cosecha; PS1000= Peso seco 1.000 granos

Efecto rotaciones

El rendimiento del trigo no tuvo diferencias estadísticamente significativas entre las rotaciones T-B-R y T-B, pero sí existieron diferencias significativas con la rotación T-M ($p < 0,05$) (Figura 7). El rendimiento de trigo para la rotación T-B-R fue de 4.657 kg ha^{-1} y para la rotación T-B fue 4.642 kg ha^{-1} , mientras que el rendimiento en la rotación T-M fue un 19% menor (3.783 kg ha^{-1}) (Cuadro 8).

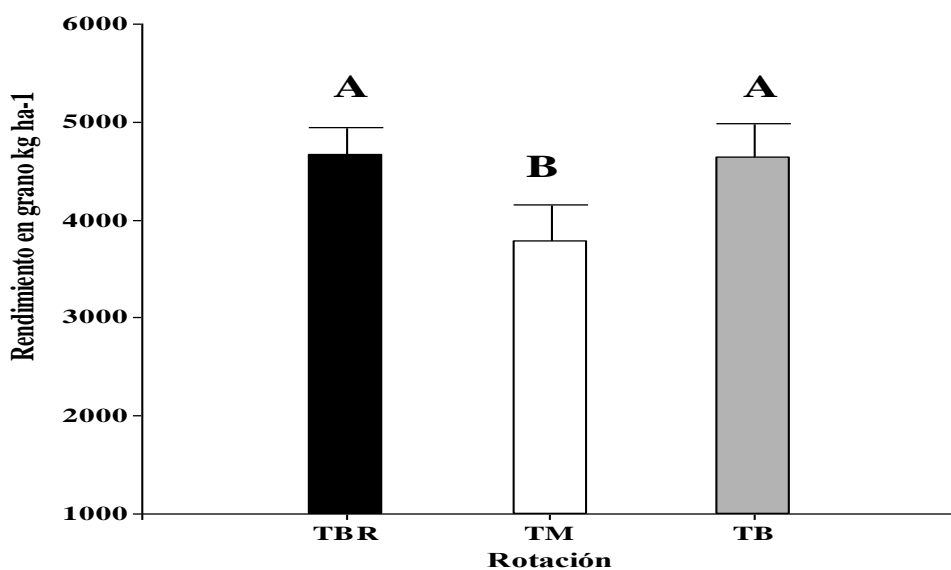


Figura 7. Rendimiento de trigo por rotación. Las barras indican el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$). T-B-R= Rotación trigo, barbecho, raps; T-M= Rotación trigo, maíz; TB= Rotación trigo, barbecho.

Las rotaciones T-B-R y T-B resultaron estadísticamente superiores a la rotación T-M en todas las variables, excepto espigas m^{-2} , donde no se observaron diferencias entre las distintas rotaciones (Cuadro 8).

Cuadro 8. Promedio de rendimiento de trigo, biomasa y componentes del rendimiento en las tres rotaciones.

Rotación	Biomasa (kg ha^{-1})	Rend. grano (kg ha^{-1})	PS 1000 (g)	Granos m^{-2}	Espigas m^{-2}	Granos espiga $^{-1}$
T-B-R	12886 a	4656,6 a	45,7 a	10167,1 a	388,9 ns	26,43 a
T-M	11488 b	3782,1 b	41,4 b	9003,1 b	382,7 ns	23,55 b
T-B	12480 a	4641,7 a	44,7 a	10350,1 a	379,1 ns	27,54 a
DMS _(0,05)	971	405,4	1,59	780,5	27,7	1,83

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas a $p < 0,05$; ns= no significativo

T-B-R= Rotación trigo, barbecho, raps; T-M= Rotación trigo, maíz; T-B= Rotación trigo, barbecho.

Análisis de estabilidad

El análisis de estabilidad del rendimiento de trigo candeal para diferentes sistemas de labranza y rotaciones (Figura 8) no mostró diferencias estadísticamente significativas de mayor estabilidad para ninguno de los sistemas de labranza. Pese a que la rotación T-B-R tuvo un rendimiento superior al de las otras dos rotaciones y una tendencia a ser más estable a través de los años de estudio, esta diferencia no fue estadísticamente significativa (Apéndice 4).

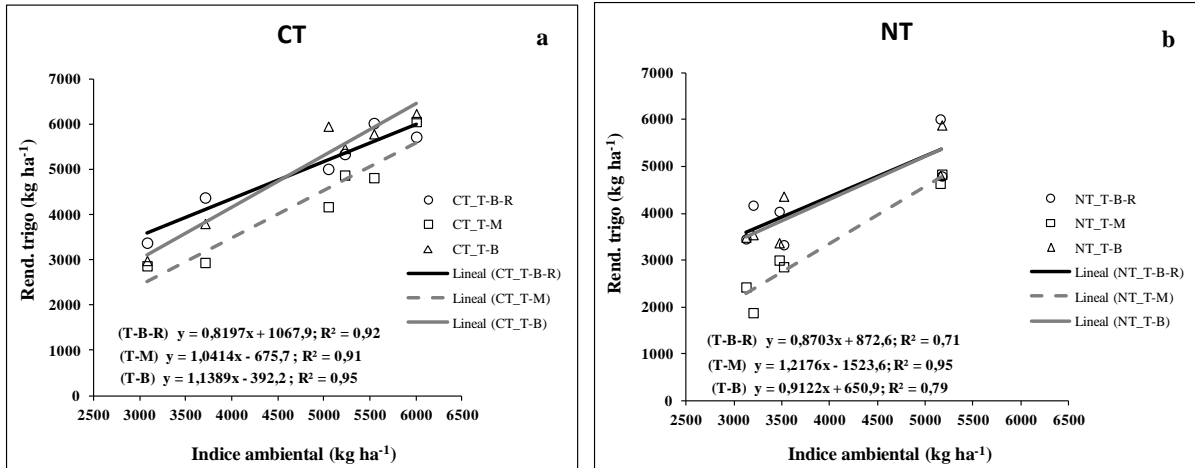


Figura 8. Análisis de estabilidad del rendimiento de trigo proveniente de distintas rotaciones y sistemas de labranza.

Rendimiento de los cultivos que se incluyeron en las rotaciones con trigo

El rendimiento de los cultivos que se incluyeron en las rotaciones según tipo de labranza se presenta en el Cuadro 9. En raps, el rendimiento promedio en CT fue de 2.946 kg ha^{-1} mientras que en NT fue de 2.523 kg ha^{-1} (-14%). Para el maíz, el rendimiento promedio en CT fue de $14.942 \text{ kg ha}^{-1}$ y en NT de $13.724 \text{ kg ha}^{-1}$ (-8%).

Cuadro 9. Rendimiento de cultivos en rotación (kg ha^{-1}) por año y por sistema de labranza.

Año	Rendimiento								
	Trigo			Raps			Maíz		
	CT	NT	Δ (%)*	CT	NT	Δ (%)*	CT	NT	Δ (%)*
	(kg ha^{-1})	(kg ha^{-1})		(kg ha^{-1})	(kg ha^{-1})		(kg ha^{-1})	(kg ha^{-1})	
2002	6.003	5.243	-13	2.073	2.120	2	17.920	11.433	-36
2003	3.079	3.472	13	3.500	2.671	-24	19.060	18.454	-3
2004	5.047	3.199	-37	3.300	2.983	-10	15.869	17.191	8
2005	3.709	3.125	-16	2.845	2.366	-17	8.220	8.528	4
2006	5.543	3.519	-37	2.732	2.187	-20	13.639	13.014	-5
2007	5.226	5.156	-1	3.227	2.811	-13	--	--	-
Promedio	4.768	3.952	-17	2.946	2.523	-14	14.942	13.724	-8

* Porcentaje de cambio del rendimiento de trigo en cero labranza (NT) con respecto a la labranza convencional (CT).

CT= Labranza convencional; NT= Cero labranza

Raps (R)

El análisis de varianza (Cuadro 10) mostró que no hubo efecto año ni tampoco interacción año x labranza, pero sí efecto labranza ($p < 0,10$). El rendimiento promedio del raps en NT fue un 14% menor al de CT (2.523 y 2.946 kg ha^{-1} respectivamente), siendo esta diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,10$) (Cuadro 9 y Figura 9).

Cuadro 10. Análisis de varianza para rendimiento de raps en NT y CT durante seis años de evaluación (2002-2007).

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	15.614.161,08	23	678.876,57	1,79	0,15
Repetición	1.848.618,50	2	924.309,25	2,44	0,13
Año	5.215.619,58	5	1043123,92	1,65	0,23
Error	6.317.931,17	10	631.793,12	1,67	0,20
Labranza	1.610.784,03	1	1610784,03	4,26	0,06 †
Año*labranza	621.207,81	5	124.241,56	0,33	0,89
Error	4.542.191,67	12	378.515,97		
Total	20.156.352,75	35			

Valores seguidos de † significativos a $p < 0,10$

F.V.= Fuentes de variación; SC= Suma de cuadrados; gl= Grados de libertad; CM= Cuadrados medios; F= Distribución F de Fisher-Snedecor.

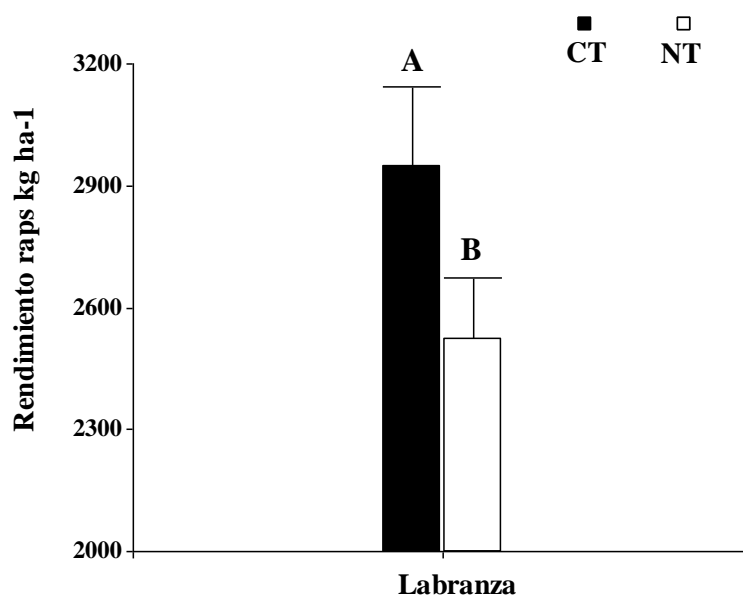


Figura 9. Efecto sistema de labranza en el rendimiento de raps (2002-2007). Las barras indican el error estándar de las medias. Letras distintas indican diferencias significativas $p < 0,10$ prueba de comparación múltiple DMS de Fisher. CT= Labranza convencional; NT= Cero labranza.

Maíz (M)

El análisis de varianza para rendimiento de maíz (Cuadro 11) mostró interacción año x labranza ($p < 0,05$). El rendimiento de maíz en los diferentes sistemas de labranza cambió con los años (Cuadro 9 y Figura 10). En los años 2003 y 2004 se observaron los mayores rendimientos sin encontrar diferencias estadísticamente significativas entre CT y NT. Los años 2005 y 2006 tuvieron los más bajos rendimientos, sin observarse diferencias significativas entre labranzas, sin embargo, en el año 2002 se observó un rendimiento significativamente menor en NT (-36%) en comparación con CT. (11.433 y 17.920 kg ha⁻¹ respectivamente).

Cuadro 11. Análisis de Varianza para rendimiento de maíz en NT y CT durante seis años de evaluación (2002-2007).

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	509.419.884,20	19	26.811.572,85	7,04	0,0016
Repetición	3.237.288,20	2	1.618.644,10	0,42	0,6652
Año	366.224.464,20	4	91.556.116,05	10,04	0,0033 *
Error	72.944.784,80	8	9.118.098,10	2,39	0,0984
Labranza	11.116.688,13	1	11.116.688,13	2,92	0,1184
Año*Labranza	55.896.658,87	4	13.974.164,72	3,67	0,0435 *
Error	38.105.813,00	10	3.810.581,30		
Total	547.525.697,20	29			

Valores seguidos de * son significativos a $p < 0,05$

F.V.= Fuentes de variación; SC= Suma de cuadrados; gl= Grados de libertad; CM= Cuadrados medios; F= Distribución F de Fisher-Snedecor.

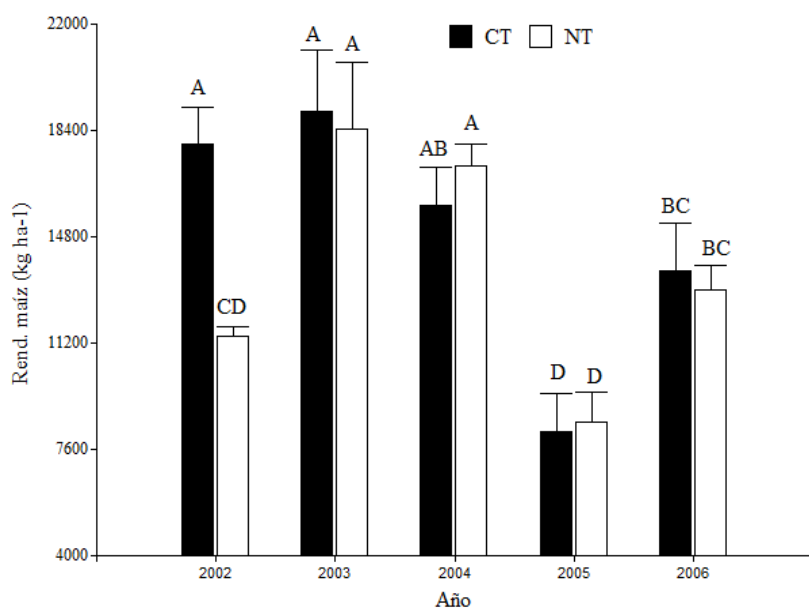


Figura 10. Efecto del año y sistema de labranza en el rendimiento de maíz (2002-2007). Las barras indican el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas $p < 0,05$, prueba de comparación múltiple DMS de Fisher. CT= Labranza convencional; NT= Cero labranza.

Análisis de productividad del suelo

Rendimiento

El rendimiento del maíz según tipo de labranza y rotación se presenta en el Cuadro 12. Se observa un rendimiento 13% menor en NT que en CT. El rendimiento promedio en labranza convencional fue de 18.709 kg ha⁻¹ mientras que en cero labranza fue de 16.277 kg ha⁻¹

Cuadro 12. Rendimiento del maíz para dos sistemas de labranza y tres rotaciones de cultivo después de ocho años de estudio.

Rotación	CT (kg ha ⁻¹)	NT (kg ha ⁻¹)	Diferencia CT vs NT (kg ha ⁻¹)	Δ (%)*
Trigo-Barbecho-Raps	19.064	17.401	1.663	-8,7
Trigo - Maíz	17.708	15.271	2.436	-13,8
Trigo - Barbecho	19.357	16.158	3.199	-16,5
Promedio	18.709 a	16.277 b	2.433	-13,0

* Porcentaje de cambio del rendimiento de la cero labranza (NT) con respecto a la labranza convencional (CT).
Letras distintas indican diferencias significativas a p<0,05

El resultado del análisis de varianza (Cuadro 13) mostró que no hubo interacción significativa entre sistema de labranza x rotación. Por otro lado, mostró diferencias estadísticamente significativas entre sistema de labranza (p<0,05). La rotación de cultivos no provocó diferencias significativas (Cuadro 13).

Cuadro 13. Análisis de varianza para rendimiento del maíz en cero labranza (NT) y labranza convencional (CT) en tres rotaciones de cultivos en el año 2008 (Final del estudio).

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	% explicado de SC
Modelo	9	43.134.196,3	4.792.688,5	1,3	0,35 ns	
Labranza	1	26.627.969,4	26.627.969,4	115,7	0,0085*	62,4
Bloque	2	4.532.293,0	2.266.146,5	0,6	0,55 ns	10,6
Error	2	460.483,4	230.241,7	0,1	0,93 ns	
Rotación	2	9.743.946,3	4.871.973,2	1,4	0,31 ns	22,9
Labranza x Rotación	2	1.769.504,1	884.752,1	0,3	0,79 ns	4,1
Error	8	28.953.190,2	3.619.148,8			
Total	17	72.087.386,5				100

Valores seguidos de * son significativos a p<0,05; ns = no significativo; F.V.= Fuentes de variación; gl= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; F= Distribución F de Fisher-Snedecor.

El porcentaje de la suma de cuadrados del análisis de varianza (Cuadro 13), mostró que la mayor proporción de la variabilidad total era atribuible a los efectos del sistema de labranza (62,4%).

Se observaron diferencias significativas entre sistemas de labranza en las variables de rendimiento de grano (kg ha^{-1}) y número de plantas ha^{-1} , no así para biomasa (kg ha^{-1}), índice de cosecha (IC) y materia seca de 250 granos (g) (Cuadro 14).

El mayor porcentaje de la variabilidad total explicado por la suma de cuadrados (SC) se atribuyó a la labranza para la mayoría de las variables medidas. El N° de plantas ha^{-1} concentró el mayor porcentaje (93,4%) (Apéndice 5). Al usar el N° de plantas como covariable en el análisis de varianza el efecto del sistema de labranza se pierde y no es significativo, además el N° de plantas por hectárea se correlacionó con el rendimiento y por lo tanto el efecto de labranza se debió mayormente a establecimiento del cultivo.

Cuadro 14. Promedio de rendimiento, biomasa, índice de cosecha (IC) y componentes de rendimiento del maíz en dos sistemas de labranza.

Labranza	Biomasa (Kg ha^{-1})	Rend. grano (Kg ha^{-1})	IC	N° Plantas ha^{-1}	Peso seco 250 granos (g)
CT	34.097 a	18.709 a	0,55 a	126.191 a	168 a
NT	31.948 a	16.277 b	0,51 b	105.238 b	187 a
DMS _(0,05)	5.524	973	0,05	17.050	36

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas a $p < 0,05$

CT= Labranza convencional; NT= Cero labranza; IC= Índice de cosecha.

DISCUSIÓN

Rendimiento de trigo en los sistemas de labranza y rotación

Los resultados de este estudio concuerdan con otros resultados encontrados por diversos autores que han informado la no existencia de interacción significativa entre sistema de labranza y rotación de cultivos en el rendimiento del trigo (Carr *et al.*, 2008; 2006a; 2006b; Soon y Clayton, 2002; Hao *et al.*, 2001; Lindwall *et al.*, 1995; Lafond *et al.*, 1992; Lund *et al.*, 1993), contrario a lo informado por Norwood (1994), Edwards *et al.* (1988) y Hammel (1995), que han encontrado interacción significativa entre sistema de labranza y rotación en el rendimiento de trigo en rotaciones de trigo de invierno-avena-arveja; trigo-barbecho; trigo-sorgo-barbecho, trigo-canola-trigo y otras en diversas regiones del sur y del norte de USA y norte de Canadá, con zonas climáticas y tipos de suelos diferentes. La divergencia de resultados aparentemente depende del tipo de suelo, rotación de cultivos, condiciones climáticas locales y número de años desde que el sistema de labranza haya sido implementado (Martin-Rueda *et al.*, 2007; Angas *et al.*, 2006; Cantero-Martínez *et al.*, 2003; Małecka y Bleharczyk, 2002; Halvorson *et al.*, 2000; Rhoton, 2000; Arshad y Gill, 1997; Nyborg *et al.*, 1995). Un estudio anterior realizado en la misma localidad (Estación Experimental Antumapu de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile) por Martínez *et al.*, 2008, mostró que NT afectó las propiedades físicas del suelo en los primeros 5 cm de suelo, mejorando la estabilidad de los agregados y la densidad de raíces y afectando negativamente la infiltración de agua en el suelo y la porosidad gruesa al compararla con CT. También se encontraron problemas de compactación y mayor resistencia a la penetración en NT en relación a CT. Los autores señalan que bajo condiciones de lluvia o riego, la falta de infiltración podría retrasar el crecimiento de las raíces y/o causar enfermedades en ellas.

Interacción año x labranza

El rendimiento de trigo en cada uno de los sistemas de labranza (CT y NT) cambió dependiendo del año en estudio.

AÑOS 2002 y 2007

En los años 2002 y 2007 se obtuvo el mayor rendimiento en ambos sistemas de labranza. En estos años las fechas de siembras fueron las más tempranas y también ocurrieron los mayores días a espigadura y madurez fisiológica, lo que representó en el trigo un aumento en el ciclo del cultivo de 5 y 10% para cada año respectivamente (Cuadro 3). También estos años presentaron la mayor precipitación en el periodo crítico (Figura 3). Todo esto pudo haber influido en un mayor número de granos por m^{-2} con respecto a los otros años, lo que se observa en el biplot de componentes principales para estos años (Figura 6).

AÑOS 2003 y 2005

En los años 2003 y 2005 se obtuvo el menor rendimiento tanto en CT como en NT con respecto a los otros años de estudio. Hubo un menor ciclo para el cultivo con las fechas de siembra más tardías con respecto a los otros años. El análisis de componentes principales

mostró que las variables granos m^{-2} , PS1000, granos espigas $^{-1}$ e IC se asociaron positivamente con el rendimiento en los dos sistemas de labranza. El año 2003 fue el único año en que la cero labranza mostró una tendencia de mayor rendimiento sobre la labranza convencional pero la diferencia de rendimiento no fue estadísticamente significativa. Esta tendencia podría ser explicada, en parte por una disminución en la disponibilidad hídrica tanto en el periodo crítico y a ciclo completo, siendo -7 y -17,5% respectivamente con respecto al promedio de todos los años de estudio, afectando especialmente a CT donde se obtuvieron rendimientos inferiores a NT. La condición particular de menor disponibilidad de agua para el cultivo de trigo, posiblemente haya favorecido el rendimiento de grano en NT sobre CT dado que NT tiene mayor retención de agua (Martínez *et al.*, 2008), aspecto observado también por Carr (2006b), Reyes *et al.*, (2002), Uribe y Rouanet (2002) y De Vita *et al.*, (2007). El mayor rendimiento de trigo en NT en el año 2003, estuvo determinado por un mayor número de espigas m^{-2} y granos m^{-2} .

AÑOS 2004 y 2006

En los años 2004 y 2006 el rendimiento en NT fue significativamente menor en comparación con CT, debido posiblemente a que hubo una mayor precipitación entre siembra y primer nudo en comparación con los otros años, sumado a un ciclo de desarrollo corto. Durante los años 2004 y 2006 hubo un incremento del 42 y 55% de lluvia caída en relación al promedio de los otros años de estudio en el período mencionado, lo que pudo haber resultado en un menor rendimiento del cultivo de trigo en NT en relación a CT por problemas de hipoxia. Bonari *et al.* (1994), señalan que CT tiene efectos favorables sobre el rendimiento de trigo respecto a NT bajo condiciones de suelo húmedo. Adicionalmente Martínez *et al.* (2008) demostraron que al no labrar el suelo (NT), se generan agregados más estables pero más juntos entre sí, de esta manera la velocidad de infiltración de agua se ve disminuida sobre todo en suelos pesados como es el caso de este estudio. Aún más, los mismos autores señalan que el incremento de materia orgánica y carbono orgánico en los primeros estratos del suelo en NT aumentan la humedad de éste. De esta manera, al existir una menor tasa de infiltración de agua, el suelo permanece con mayor humedad por periodos más largos, lo que pudo haber aumentado el ataque de enfermedades radiculares como *Fusarium* (Faiguenbaum, 2003), explicando el menor rendimiento en NT.

Se han encontrado resultados contradictorios en relación a la interacción de sistema de labranza x año en el rendimiento de trigo en diferentes rotaciones. Machado *et al.* (2008), en un estudio de 7 años, señalaron efecto de sistema de labranza y año en el rendimiento de trigo pero sin interacción entre labranza x año. Payne *et al.* (2000), tampoco encontraron interacción labranza x año en un estudio de rotación de 6 años en rendimiento de trigo de invierno. Sin embargo, Jug *et al.* (2011), López-Bellido *et al.* (2000) y Sharpe *et al.* (1998), informaron interacción significativa entre labranza x año para rendimiento de trigo en diferentes estudios de rotaciones de cultivos. Muchos autores concuerdan y enfatizan la influencia de las condiciones climáticas (precipitación, temperatura, humedad) durante el periodo de crecimiento del trigo en cada año de estudio, siendo factor de gran influencia en la interacción sistema de labranza x año en el rendimiento de trigo (Sabo *et al.*, 2006). Otras influencias son el control de malezas, enfermedades y manejo de rastrojos.

El rendimiento del trigo fue superior en CT en la mayoría de los años evaluados. Sin embargo, en los últimos años del estudio (2006 y 2007), se observó una leve tendencia de aumento del

rendimiento de trigo en cero labranza, hasta obtener rendimientos similares a los de la labranza convencional. Martínez *et al.* (2007), observaron que el carbono orgánico en un suelo manejado en NT alcanza un equilibrio en la superficie del suelo a partir del cuarto año, además de una mayor estratificación del nitrógeno total, fósforo y potasio en el suelo a partir de este año. Estas características pudieron favorecer el rendimiento de trigo a partir del año 2006 que es cuando se observó una tendencia de incremento en el rendimiento. Fuentes *et al.* (2009), observaron que en un suelo manejado con cero labranza por 14 años, el rendimiento de trigo se correlacionaba positivamente con el carbono orgánico, el nitrógeno total, los agregados y la humedad del suelo. Rhoton (2000) y Carter y Rennie (1982) también mencionan que los cambios en la calidad del suelo bajo cero labranza se ven después de los 4-5 años de adoptado el sistema. Estas características observadas podrían indicar que los beneficios de NT se ven a largo plazo y es necesario analizar los efectos de este sistema de labranza por un periodo mayor al estudiado.

Rendimiento de trigo por rotaciones

Trigo-Maíz (T-M)

El menor rendimiento de trigo fue observado en la rotación T-M tanto en CT como en NT a lo largo del estudio. También en esta rotación la variable biomasa y los componentes de rendimiento del trigo como materia seca de 1.000 granos, granos m^{-2} y granos espiga⁻¹ resultaron con diferencias estadísticamente significativas al compararlos con los resultados arrojados por las otras rotaciones. Solamente el componente espigas m^{-2} no presentó diferencias significativas con las rotaciones T-B-R y T-B.

Posiblemente la compactación del suelo y la reducción de la velocidad de infiltración de agua pudieron incrementar el daño por enfermedades radiculares. Se sabe que los cultivos de trigo y maíz tienen incidencia de patógenos comunes como *Fusarium graminearum*, *Aspergillus* sp.; *Penicillium* sp y *Rhizopus* sp. (Apablaza, 1999; Latorre, 1992), enfermedades que podrían haber estado presentes al no romperse el ciclo de la enfermedad en la rotación trigo-maíz, lo cual podría explicar la diferencia significativa encontrada con algunos componentes del rendimiento de esta rotación (granos espiga⁻¹, granos m^{-2} y la materia seca de 1.000 granos) con respecto a las otras rotaciones.

Muchas veces el menor rendimiento de trigo en la rotación T-M es atribuido en parte por un establecimiento desuniforme causado por el rastrojo de maíz. Aunque el rastrojo fue picado y esparcido antes de la siembra de trigo, el tamaño y la gran cantidad de trozos lignificados sobre el suelo pudieron haber provocado problemas mecánicos durante la siembra (Acevedo y Silva, 2003) y problemas en la germinación del cultivo, afectando de esta manera el establecimiento. Dependiendo de la cantidad de rastrojo dejado por el cultivo anterior, éste puede generar problemas operativos a la siembra del cultivo siguiente (Silva y Acevedo, 2005; Faiguenbaum, 2003). Al respecto Rouanet *et al.* (2005), indican que los cultivos de alto rendimiento dejan elevados niveles de rastrojos en el campo; es así como un cultivo de maíz con un rendimiento de 180 qq ha^{-1} puede dejar en el campo una cantidad de rastrojo equivalente a 18 toneladas por hectárea. El rendimiento promedio del maíz en la rotación T-M en cero labranza en el presente estudio fue 137 qq ha^{-1} , lo que pudo haber dejado en el campo 13 toneladas por hectárea de rastrojo. Todo esto no se vio reflejado en el componente de rendimiento espigas m^{-2} ya que no se

encontró diferencias significativas entre las rotaciones, lo que podría deberse a un mayor número de macollas que compensó la falta de plantas.

Trigo-Barbecho (T-B) y Trigo-Barbecho-Raps (T-B-R)

No hubo diferencias estadísticamente significativas entre las rotaciones T-B-R y T-B. La variable biomasa como los componentes de rendimiento del trigo de estas rotaciones tampoco mostraron diferencias significativas (Cuadro 8).

El objetivo principal de las rotaciones en el presente estudio fue siempre la optimización del rendimiento de trigo, y en la rotación T-B-R, donde se alternó un barbecho y dos especies con diferentes hábitos de crecimiento, precocidad, uso de agua y nutrientes, sistema radical y resistencia a enfermedades, pudieron haberse conjugado, permitiendo lograr rendimientos de trigo levemente superiores a la rotación T-B (no estadísticamente significativas) y sí superior estadísticamente significativa a la rotación T-M.

La contribución del barbecho aparte de controlar malezas, aumentar la cantidad de N disponible y conservar humedad (Rodríguez *et al.*, 1983) pudo deberse a su acción en contribuir a reducir la incidencia del hongo causante del “mal del pie” en trigo (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*).

La inclusión de raps en la rotación como cultivo de quiebre tiene grandes ventajas para el cultivo de trigo (Kirkegaard *et al.*, 2008; Zentner *et al.*, 2002; Anderson *et al.*, 1999; Dhuyvetter *et al.*, 1996; Brand y Zentner, 1995; Heenan, 1995; Kirkegaard *et al.*, 1994; Lafond *et al.*, 1993). Por un lado, Rouanet *et al.* (2005) mencionan que al no existir enfermedades en común entre el raps y el trigo, las enfermedades radiculares de este último disminuyen. Roget (2003) señala que el raps contribuye a la disminución de infestación de malezas gramíneas en el trigo. Gooding y Davies (1997) obtuvieron efectos positivos en el rendimiento de trigo cuando utilizaron raps en la rotación. El sistema radicular profundo que tiene el cultivo de raps pudo contribuir a mejorar la infiltración de agua sobre todo en NT; por otro lado, el manejo de rastrojos del raps es muy fácil y permite hacer una buena distribución de ellos en el potrero, de esta manera mejora la siembra mecanizada del cultivo siguiente. Estas características particulares más las mencionadas anteriormente y sumado el hecho de incluir un barbecho pudieron permitir mayores rendimientos de trigo en la rotación T-B-R.

Estudios realizados en Australia mencionan que el rendimiento de trigo utilizando un cultivo de quiebre (raps) en un programa de rotación de cultivos, supera en promedio al rendimiento de una rotación trigo sobre trigo (Rowland *et al.*, 1986; Zentner *et al.*, 2002; Anderson *et al.*, 1999; Kirkegaard *et al.*, 1994). En este estudio, el rendimiento promedio de trigo logrado en las rotaciones T-B-R y T-B superó en un 19% al rendimiento de la rotación T-M. De esta manera se demuestra las ventajas de incluir un barbecho y un cultivo de quiebre en la rotación de cultivos y también muestra las desventajas de una rotación tipo gramínea-gramínea (T-M).

Rendimiento de los cultivos que se incluyeron en las rotaciones

Raps (R)

El rendimiento del raps en CT rindió un 16,8% más que en NT, pero esta diferencia no fue estadísticamente significativa (2.946 y 2.523 kg ha⁻¹ respectivamente) (Cuadro 8).

Vidal y Troncoso (2003) mencionan que el cultivo de raps es muy sensible a la presencia de rastrojos. Estos autores observaron una reducción de 88 kg ha⁻¹ por cada tonelada de rastrojo presente en el suelo y que esta reducción se encontraba asociada a problemas mecánicos, quedando una cantidad de semillas sobre el rastrojo que no fueron incorporadas al suelo. Estas semillas, al ser muy pequeñas y con un bajo nivel de reservas, no germinan o mueren por falta de un adecuado anclaje, suministro de agua y de nutrientes. Además Bruce y Christen (2001) observaron diferencias varietales en la germinación y la elongación de la radícula en cultivares de raps frente a la presencia de lixiviados de rastrojos de trigo.

Maíz (M)

El análisis de varianza para rendimiento de maíz mostró interacción año x labranza ($p < 0,05$). El rendimiento de maíz en los diferentes sistemas de labranza cambió con los años (Cuadro 9 y Figura 8). El año 2005 tuvo el menor rendimiento debido posiblemente a la siembra tardía (11 noviembre 2005), lo que representó en promedio alrededor de 41 días más tarde con respecto a las fechas de siembra de otros años y además su ciclo relativo fue más corto. En los años 2003, 2004 y 2006 se observaron los mayores rendimientos, sin encontrar diferencias estadísticamente significativas entre CT y NT. En el año 2002 se observó un rendimiento significativamente menor en NT en comparación con CT, posiblemente debido a las condiciones de mayor humedad que influyó negativamente a NT (exceso de agua), donde al no labrar el suelo se generan agregados más estables, cohesionados, disminuyendo de esta manera la velocidad de infiltración del agua y permaneciendo el suelo con exceso de agua por periodos más prolongados (Martínez, 2007), lo que pudo haber incrementado la presencia de enfermedades radiculares como *Fusarium graminearum*, que podrían haber disminuido el rendimiento del cultivo de maíz.

Productividad del suelo

La productividad del suelo medida como rendimiento de un maíz, fertilizado, regado y con buen control fitosanitario no mostró interacción significativa entre sistema de labranza x rotación ni tampoco hubo efecto de la rotación, pero sí mostró cambios significativos con el sistema de labranza, aunque este efecto se perdió al usar el número de plantas ha⁻¹ como covariable, concluyendo que el efecto se debió mayormente al establecimiento del cultivo. Al respecto, Luchsinger *et al.* (1979) encontraron que existe menor germinación del maíz en tratamientos sin rotura del suelo, como es el caso de la cero labranza. Además, Maturano y Guevara (2002) y Tawainga y William (2000) mencionan que el sistema de labranza, la rotación, el año y el manejo del cultivo afectan el número de plantas por unidad de superficie en maíz (densidad). Estas características crean condiciones diferentes para la comparación productiva del suelo bajo los dos sistemas de labranza. A partir de estos resultados, se hace necesario analizar el efecto de NT en el establecimiento de diferentes cultivos y su productividad.

El manejo agronómico del suelo incide directamente sobre la calidad de éste y afecta directamente su productividad. Al respecto, Wick (1997) y Yakovchenko *et al.* (1996) mencionan que la elección de sistema de labranza y la elección de los cultivos en la rotación generan un gran impacto sobre la productividad del suelo, que está directamente relacionada con las propiedades edafológicas. Martínez, (2007) estudió los cambios en las propiedades del suelo bajo cero

labranza en la misma zona del presente estudio, determinando mejores propiedades biológicas y químicas del suelo durante ocho años de estudio; sin embargo, demostró un deterioro en las propiedades físicas relacionadas directamente con el movimiento de agua y gases debido al incremento en la compactación del suelo. Otros autores como Wander *et al.* (2002), Follet (2001), Fortin *et al.* (1996), Bauer y Black (1994), encontraron efectos positivos de la cero labranza en el aumento de la materia orgánica del suelo (MOS) y también sobre las propiedades del suelo, que influyen finalmente en la productividad de los cultivos. La productividad del suelo a partir del rendimiento del cultivo de maíz, no respondió a las mejores propiedades químicas y biológicas, sino más bien a los cambios en las propiedades físicas, dado que el maíz presenta mayor sensibilidad a restricciones físicas del suelo (Sadras y Calviño, 2001).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en la presente investigación permitieron llegar a las siguientes conclusiones:

- No existe interacción sistema de labranza x rotación para el rendimiento de trigo.
- Existe interacción sistema de labranza x año para rendimiento de trigo. Los rendimientos cambian en función de largo del ciclo y la distribución de la precipitación. La mayor precipitación entre siembra y primer nudo provocó el menor rendimiento en cero labranza.
- Existe efecto rotación para el rendimiento de trigo. La rotación cereal-cereal (trigo-maíz) presentó los menores rendimientos.
- La productividad del suelo cambió con los sistemas de labranza, siendo mayor en labranza convencional.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, E. y Martínez, E. 2003. Sistema de labranza y productividad de los suelos. En; E. Acevedo (ed.). *Sustentabilidad en cultivos anuales*, Serie Ciencias Agronómicas N ° 8. Santiago, Universidad de Chile. 184 p.
- Acevedo, E. y Silva, P. 2003. *Agronomía de la cero labranza*. Universidad de Chile, Serie Ciencias Agronómicas, N 10. 132p.
- Alvear, M., Rosas, A., Rouanet, J.L. and Borie, F. 2005. Effect of different tillage systems on biological activities of an Ultisol from Southern Chile. *Soil & Tillage Research* 82:195-202.
- Anderson, R.L., Bowman, R.A., Nielsen, D.C., Vigil, M.F., Aiken, R.M. and Benjamin, J.G. 1999. Alternative crop rotations for the central Great Plains. *Journal Production Agriculture* 12: 95–99.
- Angas, P., Lampurlanes, J. and Cantero-Martinez, C. 2006. Tillage and N fertilization effect on N dynamics and barley yield under semiarid Mediterranean conditions. *Soil & Tillage Research* 87: 59–71.
- Antapa, P.L. and Mariki, W.L. 2000. Effects of crop rotation, tillage method and N application on wheat yield at Hannang Wheat farm. Tanzania. *CAB Abstracts* 2000/08-2002/04.
- Apablaza, G. 1999. *Patología de los cultivos, Epidemiología y control holístico*. En: Ediciones Universidad Católica de Chile. 347 p.
- Arshad, M.A. and Gill, K.S. 1997. Barley, canola and wheat production under different tillage fallow-green manure combinations on a clay soil in a cold, semiarid climate. *Soil & Tillage Research* 43: 263–275.
- Arshad, M.A., and Izaurralde, R.C. 1998. Wheat production, weed population and soil properties subsequent to 20 years of sod as affected by crop rotation and tillage. *Journal of Sustainable Agriculture* 12 (2/3): 131-154.
- Bauer, A. and Black, A. L. 1994. Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. *Soil Science Society of America Journal* 58: 185-193.
- Biamah, E.K., Rockstrom, J. and Okwack, G. 2000. Conservation tillage for dryland farming: Technological options and experiences in Eastern and Southern Africa. *Regional Land Management Unit, RELMA/Sida, ICRAF House, Gigiri. Nairobi, Kenya*, pp:205-213.
- Bonari, E., Mazzoncini, M. and Caliandro, A. 1994. Cropping and farming systems in Mediterranean areas. In: *Proc. 3rd ESA Congress*, Borin, M. and Sattin, M. (eds), Abano-Padova (Italy), 1994, pp. 636-644.
- Borie, F., Rubio, R., Rouanet, J.L., Morales, A., Borie, G. and Rojas, C. 2006. Effects of tillage systems on soil characteristics, glomalin and mycorrhizal propagules in a Chilean Ultisol. *Soil & Tillage Research* 88:253-261.

- Brandt, S.A. and Zentner, R.P. 1995. Crop production under alternative rotations on a dark brown chernozemic soil at Scott, Saskatchewan. *Canadian Journal of Plant Science* 5: 789 -794.
- Bruce, S. and Christen, O. 2001. Phytotoxicity of wheat leachates and ferulic acid to germination and radicle elongation of canola. *Proceedings of the 10th Australian Agronomy Conference*, Hobart, 2001.
- Canet, R., Albiach, R. and Pomares, F. 2000. Los índices de actividad biológica como herramienta de diagnóstico de la fertilidad del suelo en agricultura ecológica. *Investigación y perspectivas de la enzimología de suelos en España*. Edita C. Garcia y MT. Hernandez. ISBN 84-605-9821-7. Murcia: pág. 11-39.
- Cantero-Martínez, C., Angas, P. and Lampurlanes, J. 2003. Growth, yield and water productivity of barley (*Hordeum vulgare* L) affected by tillage and N fertilization in Mediterranean semiarid, rainfed conditions of Spain. *Field Crops Research* 84: 341–357.
- Carr, P. M., Martin, G. B. and Horsley, R. D. 2006a. Impact of tillage and rotation on spring wheat yield: II. Rotation effect. *Crop Management* doi: 10.1094/CM-2006-1018-02-RS.
- Carr, P.M., Horsley, R.D, and. Martin, G.B. 2006b. Impact of tillage and crop rotation on grain yield of spring wheat: I. Tillage effect. *Crop Management*. doi: 10.1094/CM-2006-1018-01-RS.
- Carr, P.M., Martin, G. B. and Horsley, R. D. 2008. Wheat grain quality response to tillage and rotation with field pea. *Agronomy Journal* 100:1594–1599.
- Carter, M.R. and Rennie, D.A. 1982. Changes in soil quality under zero tillage farming systems: distribution of microbial biomass and mineralizable C and N potentials. *Canadian Journal of Plant Science* 62: 587–597.
- Chatskikh D. and Olesen J.E. 2007. Soil tillage enhanced CO₂ and N₂O emissions from loamy sand soil under spring barley. *Soil & Tillage Research* 97: 5–18.
- CIREN, 1996. Publicación CIREN N° 115. Descripciones de suelos y materiales y símbolos. Estudio agrológico R.M. Región. Tomo I y II, 464p.
- Cociu, I. 2010. Tillage system effects on input efficiency of winter wheat, maize and soybean in rotation. *Romanian Agricultural Research*, N° 27 p. 81-87.
- Crovetto, C., 1992. Rastrojos sobre el suelo. Una introducción a la cero labranza. Editorial Universitaria, Santiago, 301p.
- Crovetto, C. 1994. Rastrojos sobre el suelo. Una introducción a la cero labranza. Editorial Universitaria. 301p.
- Crovetto, C., 2002. Cero Labranza: Los rastrojos, la nutrición del suelo y su relación con la fertilidad de las plantas. Trama Impresores S.A., Talcahuano, Chile. 225p.
- De Vita, P., Di Paolo, E., Fecondo, G., Di Fonzo, N. and Pisante, M. 2007. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. *Soil & Tillage Research* 92: 69-78.

- Dhuyvetter, K.C., Thompson, C.R., Norwood, C.A. and Halvorson, A.D. 1996. Economics of dry land cropping system in the Great Plains. *A Review Journal of Production Agriculture* 9: 216–222.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzales, L., Tablada, M. and Robledo, C. 2010. Infostat. Grupo Infostat, FCA, Universidad nacional de Córdoba, Argentina.
- Díaz-Ambrona, C.H. and Mínguez, M. I. 2001. Cereal-legume rotations in a Mediterranean environment: biomass and yield production. *Field Crops Research* 70 (2): 139-151.
- Doran J.W., and Smith. M.S. 1987. Soil Fertility and Organic Matter as Critical Components of Production Systems. Organic matter management and utilization of soil and fertilizers nutrients. Soil Science of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, USA. Spec. Publ N° 19: 49-53.
- Eberhart, S. A. and Russell, W. A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science* 6 (1): 36-40.
- Edwards, J. H., Thurlow, D.L., Thurlow J. and Eason J.T. 1988. Influence of tillage and crop rotation on yield of corn, soybean, and wheat. *Agronomy Journal* 80:76-80.
- Faiguenbaum, H. 1998. Maíz dulce para congelado y mercado fresco. Híbridos y sus características. *Agroeconómico* N° 46(4): 23-28.
- Faiguenbaum, H. 2003. Labranza. Capítulo I. En: Labranza, siembra y producción de los principales cultivos de Chile. Impresora y Editora Ograma S.A. Santiago, Chile, 760 p.
- Follet, R.F. 2001. Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. *Soil & Tillage Research* 61: 77-92.
- Fortin, M.-C., Rochette P. and Pattey, E. 1996. Soil carbon dioxide fluxes from conventional and no-tillage small-grain cropping systems. *Soil Science Society of America Journal* 60:1541-1547.
- Fuentes, M., Govaerts, B., De León, F., Hidalgo, C. and Dendooven, L. 2009. Fourteen years of applying zero and conventional tillage, crop rotation and residue management system and its effect on physical and chemical soil quality. *European Journal of Agronomy* 30: 228 -237
- Garcia-Torres, L., Benites, J. and Martinez-Vilela, A. 2001. Conservation agriculture: A worldwide challenge. Proc. World Congr. Conservation Agriculture, 1st, Madrid, Spain. 1-5 Oct., 2001. XUL, Cordoba, Spain. pp 387.
- Gooding M.J. and Davies. W.P. 1997. Wheat Production and Utilization; Systems, Quality and the Environment. 355 p. CAB International, Wallingford, Oxon, UK.
- Halvorson, A.D., Black, A.L., Krupinsky, J.M., Merrill, S.D., Wienhold, B.J. and Tanaka, D.L. 2000. Spring wheat response to tillage and nitrogen fertilization in rotation with sunflower and winter wheat. *Agronomy Journal* 92: 136–144.
- Hammel, J.E. 1995. Long-term tillage and crop-rotation effects on winter wheat production in northern Idaho. *Agronomy Journal* 87:16–22.

- Hao, X., Chang, C., Conner, R. L. and Bergen, P. 2001. Effect of minimum tillage and crop sequence on crop yield and quality under irrigation in a southern Alberta clay loam soil. *Soil & Tillage Research* 59: 45–55.
- Heenan, DP. 1995. Effects of broad-leaf crops and their sowing time on subsequent wheat production. *Field Crops Research Journal* 43(1): 19–29.
- Hernanz, J.L., 2002. Long-term effects of tillage systems and rotations on soil structural stability and organic carbon stratification in semiarid central Spain. *Soil & Tillage Research* 66:129-141.
- IISI Argentina, 2006. Maíz y nutrición, volumen II, octubre 2006.
- Johnson J.M., Barbour, N. and Weyers, S. 2007. Chemical composition of crop biomass impacts its decomposition. *Soil Science Society of America Journal* 71, 155–62.
- Jug I., Jug D., Sabo M., Stipešević, B. and Stošić, M. 2011. Winter wheat yield and yield components as affected by soil tillage systems. *Turk Journal Agric* 35: 1-7.
- Kirkegaard J.A., Christen, O., Krupinsky, J. and Layzell, D. 2008. Break crop benefits in temperate wheat production. *Field Crops Research Journal* 107, 185-195.
- Kirkegaard, J.A., Gardner, P.A., Angus, J.F. and Koetz, E. 1994. Effect of Brassica break crops on the growth and yield of wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 45, 529-545.
- Lafond, G.P., Loepky, H. and Derksen, D.A. 1992. The effects of tillage systems and crop rotations on soil water conservation, seeding establishment and crop yield. *Canadian Journal of Plant Science* 72:103–115.
- Lafond, G.P, Zetner, R.P, Geramia, R. and Derksen, D.A. 1993. The effects of tillage system on the economic performance on spring wheat, winter wheat, flax and field pea production in east-central Saskatchewan. *Canadian Journal of Plant Science* 73, 47–54.
- Lal, R. 1997. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂ – enrichment. *Soil & Tillage Research* 43: 81-107.
- Latorre, B. 1992. Enfermedades de plantas cultivadas. Cuarta edición. En: Ediciones Universidad Católica de Chile. 628 p.
- Lindwall, C.W., Larney, F.J. and Carefoot, J.M. 1995. Rotation, tillage and seeder effects on winter wheat performance and soil moisture regime. *Canadian Journal of Plant Soil Science* 75: 109–116.
- López-Bellido, L., López-Bellido, R.J., Castillo, J.E. and López-Bellido, F.J. 2000. Effects of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on wheat under rainfed mediterranean conditions. *Agronomy Journal* 92: 1054-1063.
- Luchsinger, A., Villa, R. y Gaete, M. 1979. Efecto de la labranza mínima y siembra sin labor en el desarrollo y productividad del maíz (*Zea mays* L.). *Investigación Agrícola* 5: 39-45.
- Lund, M.G., Carter, P.R. and Oplinger, E.S. 1993. Tillage and crop rotation affect corn, soybean, and winter wheat yields. *Journal of Production Agriculture* 6:207-213.

- Machado, S., Petrie, S., Rhinhart, K. and Pamig, R.E. 2008. Tillage effects on water use and grain yield of winter wheat and green pea in rotation. *Agronomy Journal* 100: 154–162.
- Magdoff, F. 1996. Calidad y manejo del suelo. *Agroecología y Desarrollo. Consorcio Latinoamericano sobre Agroecología y Desarrollo (CLADES)* (10): 25-33.
- Małecka, I. and Blecharczyk, A. 2002. Effect of tillage systems on cereal yield and soil properties. *Pr. Kom. Nauk Roln. Kom. Nauk Leśn. PTPN* 93: 79–87.
- Martin-Rueda, I., Munoz-Guerra, L.M., Yunta, F., Esteban, E., Tenorio, J.L. and Lucena, J.J. 2007. Tillage and crop rotation effects on barley yield and soil nutrients on a Calcicortidic Haploxeralf. *Soil & Tillage Research* 92: 1–9.
- Martínez, E. 2007. Cero labranza, carbono y capacidad productiva de un suelo aluvial en la Zona Central de Chile. Tesis para optar al grado Académico de Doctor en Ciencias Silvoagropecuarias y Veterinarias. Universidad de Chile, 149 p.
- Martínez, E., Fuentes, J.P., Silva, P., Valle, S. and Acevedo, E. 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.
- Maturano, M. y Guevara, E. 2002. Efecto del nivel hídrico y nitrogenado en la eficiencia en el uso del agua y el nitrógeno en el cultivo de maíz. *Revista Técnica Agropecuaria, INTA Pergamino*. Vol VII N° 21. Pág. 8-11.
- Mellado, M. 2006. El trigo en Chile. Colección libros INIA N° 21. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigaciones Quilamapu, Chillán, Chile. 684 p.
- Mitchell, J., Gaskell, M., Smith, R., Fouche, C. and Koike, S. 2000. Soil management and soil quality for organic crops. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. Publication 7248: 1-5.
- Norwood, C. 1994. Profile water distribution and grain yield as affected by cropping system and tillage. *Agronomy Journal* 86: 56–558.
- Nyborg, M. and Malhi, S.S. 1989. Effect of zero and conventional tillage on barley yield and nitrate-nitrogen content, moisture and temperature of soil in north-central Alberta. *Soil & Tillage Research* 15: 1–9.
- Nyborg, M., Solberg, E.D., Izaurrealde, R.C., Malhi, S.S. and Molina-Ayala, M. 1995. Influence of long-term tillage, straw and N fertilizer on barley yield, plant-N uptake and soil-N balance. *Soil & Tillage Research* 36, 165–174.
- Payne, W.A., Rasmussen, P.E., Chen, C. Goller, R. and Ramig, R.E. 2000. Precipitation, temperature and tillage effects upon productivity of a winter wheat–dry pea rotation. *Agronomy Journal* 92:933–937.
- Peralta, R., Silva, P. and Acevedo, E. 2011. Characterization of the weed seed bank in zero and conventional tillage in central Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research* 7(1):140-147.

- Raimbault, B.A. and Vyn, T.J. 1991. Crop rotation and tillage effects on corn growth and soil structural stability. *Agronomy Journal*. 83:979-985.
- Razzaq, A. Munir, M., Hashmi, N.I., Hobbs, P.R. and Majid, A. 2002. Current management practices for wheat production in rainfed agro-ecological zone in northern Punjab. *Pakistan J. Agric. Res.* 17(3): 201-205.
- Reicosky, D.C. 2001. Conservation agriculture: Global environmental benefits of soil carbon management. p. 3-12. García-Torres. *Conservation agriculture: A worldwide challenge*. XUL, Córdoba, Spain.
- Reicosky, D.C. 2002. Long – Term Effect of Moldboard Plowing on Tillage – Induced CO₂ Loss. In: J. M. Kimble, R. Lal and R. F. Follet (Ed). *Agricultural Practices and Policies for Carbon Sequestration in Soil*. Lewis Publishers. Papers from symposium held July 1999 at Ohio State University, Columbus, Ohio, pp. 87-96.
- Reyes, J.I., Martínez, E., Silva, P. y Acevedo, E. 2002. Cero Labranza y propiedades de un suelo aluvial de Chile central. *Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo Boletín* N°18:78-81.
- Rhoton, F.E. 2000. Influence of time on soil responses to no-till practices. *Soil Science Society of America Journal* 64, 700–709.
- Riquelme S. J. 2001. Siembra de trigo en cero labranza. *Tierra Adentro* N° 37: 18-21.
- Rodríguez, N., Godoy, A., Del Canto, P., Chavarría, J. y C. Belmar. 1983. Factores que inciden en la producción de trigo en la región centro-sur. I. Efecto de las épocas de barbecho en la precordillera de Ñuble. *Agricultura Técnica (Chile)* 43:345-352.
- Roget, D. 2003. Occurrence and control of take-all in Australia. 13 p. In O. Andrade (ed.) *Seminario Internacional pudrición radical del trigo: Experiencia mundial en el manejo y prevención de la enfermedad*. INIA Carillanca, 18 marzo de 2003. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Carillanca, Temuco, Chile.
- Rouanet J. L., Mera, M., Acevedo, E. y Silva, P. 2005. Rotaciones y sus efectos sobre la productividad de los cultivos y sobre la calidad del suelo. In: *Rotaciones de Cultivos y sus Beneficios para la Agricultura del Sur*. Fundación Chile. Santiago, Chile. pp: 29-46.
- Rowland, I.C, Mason, M.G. and Hamblin, J. 1986. Effects of lupins on soil fertility. pp: 96 -111. In *Proceedings of the 4th International Lupin Conference*, Geraldton, Australia.
- Sabo, M., Jug, D. Ugarčić-Hardi Ž. 2006. Effect of reduced tillage on wheat quality traits. *Acta Alime* 35: 269-279.
- Sadras, V. and Calviño, P. 2001. Quantification of grain yield response to soil depth in soybean, maize, sunflower and wheat. *Agronomy Journal* 93: 577-583.
- Santibáñez, F. y Uribe, J.M. 1990. Atlas agroclimático de Chile. Regiones Quinta y Metropolitana. Santiago, Chile. Universidad de Chile. Fac. de Ciencias Agrarias y Forestales, Departamento de Ingeniería de Suelos, 65 p.
- Schillinger, W.F. 2001. Minimum and delayed conservation tillage for wheat–fallow farming. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1203–1209.

- Sharpe, R.R., Touchton, J.T. and Reeves, D.W. 1988. Influence of tillage systems on wheat yields and the need for in-row subsoiling for double-cropped soybeans. p. 76-78. In I. Hairstone (ed. Proceedings of the Southern Region No-tillage Conference. Agronomy Department, Mississippi State, Miss.
- Silva, P. y Acevedo, E. 2005a. Adopción de la cero labranza en los principales cultivos anuales. Identificación de problemas y posibles soluciones. Informe para SAG e INDAP. 26p.
- Smith, E.G. and Young, D.L. 2000. Requiem for fallow in western North America. *Choices* 1:24-25.
- Soon, Y.K. and Clayton, G.W. 2002. Eight years of crop rotation and tillage effects on crop production and N fertilizer use. *Canadian Journal of Plant Science* 82: 165–172.
- Stonehouse, P.D. 1997. Socio-economics of alternative tillage systems. *Soil & Tillage Research* 43 (1–2): 109–130.
- Tawainga, W.K. and William J.C. 2000. Tillage x Rotation x Management Interaction in corn. *Agronomy Journal* 92: 493 – 500.
- Uribe, H. y J. L. Rouanet. 2002. Efecto de tres tipos de labranza sobre el nivel de humedad en el perfil del suelo. *Agricultura Técnica* 62(4): 555-564.
- Vidal, I. y Troncoso, H. 2003. Manejo de Rastrojos bajo cero labranza. En: *Sustentabilidad en cultivos anuales, Cero labranza, Manejo de rastrojos. Serie Ciencias Agronómicas 8, Santiago de Chile.* pp: 57-82
- Wander, M.M., Walter, G.L., Nissen, T. M., Bollero, G.A, Andrews, S. S. and Cavanaugh-Grant, D. A. 2002. Soil quality: Science and process. *Agronomy Journal* 94: 23–32.
- Weil, R.R. 1992. Inside the heart of sustainable farming. *The New Farm*. 14 Jan. 43-48.
- West, T. O. and Post, W.M. 2002. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: A global data analysis. *Soil Science Society of America Journal* 66: 1930-1946.
- West, T.O. and Marland, G. 2002. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. *Agriculture Ecosystem and Environment* 91: 217–232.
- Wick, B. 1997. Microbiological indicators for quality of soils at various stages of degradation in the forest-savanna transition zone, south-western Nigeria. Ph. D. Thesis. University of Göttingen, Germany. *Plant and Soil*. Volume 202, Issue 1, pp: 97-107
- Yakovchenko, V.I., Sikora, L.J., Kaufman D.D. 1996. A biologically based indicator of soil quality. *Biology and Fertility of Soils* 21: 245-251
- Zentner, R.P., Wall, D.D., Nagy, C.N., Smith, E.G., Young, D.L., Miller, P.R., Campbell, C.A., Campbell, B.G., Brant, S.A., Lafond, G.P., Johnston, A.M. and Derksen, D.A. 2002. Economics of crop diversification and soil tillage opportunities in the Canadian prairies. *Agronomy Journal* 94: 216–230.

APÉNDICES

Apéndice 1. Secuencia de rotaciones por año y por sistema de labranza.

Repetición	Labranza	Rotación	Secuencia de Rotación							
			Año							
			2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
1	CT	T-B-R	R	T	B	R	T*	B	R	T*
		T-M	M	T	M	T*	M	T*	M	T*
		T-B	B	T	B	T*	B	T*	B	T*
		T-B	T	B	T*	B	T*	B	T*	B
		T-M	T	M	T*	M	T*	M	T*	M
		T-B-R	B	R	T*	B	R	T*	B	R
		T-B-R	T	B	R	T*	B	R	T*	B
1	NT	T-M	T	M	T*	M	T*	M	T*	M
		T-M	M	T	M	T*	M	T*	M	T*
		T-B-R	R	T	B	R	T*	B	R	T*
		T-B	T	B	T*	B	T*	B	T*	B
		T-B-R	B	R	T*	B	R	T*	B	R
		T-B-R	T	B	R	T*	B	R	T*	B
		T-B	B	T	B	T*	B	T*	B	T*
2	CT	T-B	T	B	T*	B	T*	B	T*	B
		T-B-R	T	B	R	T*	B	R	T*	B
		T-M	T	M	T*	M	T*	M	T*	M
		T-B-R	R	T	B	R	T*	B	R	T*
		T-M	M	T	M	T*	M	T*	M	T*
		T-B-R	B	R	T*	B	R	T*	B	R
		T-B	B	T	B	T*	B	T*	B	T*
2	NT	T-B-R	T	B	R	T*	B	R	T*	B
		T-B-R	B	R	T*	B	R	T*	B	R
		T-B	B	T	B	T*	B	T*	B	T*
		T-M	T	M	T*	M	T*	M	T*	M
		T-B-R	R	T	B	R	T*	B	R	T*
		T-B	T	B	T*	B	T*	B	T*	B
		T-M	M	T	M	T*	M	T*	M	T*
3	CT	T-B	B	T	B	T*	B	T*	B	T*
		T-B	T	B	T*	B	T*	B	T*	B
		T-M	T	M	T*	M	T*	M	T*	M
		T-B-R	T	B	R	T*	B	R	T*	B
		T-B-R	B	R	T*	B	R	T*	B	R
		T-M	M	T	M	T*	M	T*	M	T*
		T-B-R	R	T	B	R	T*	B	R	T*
3	NT	T-B-R	R	T	B	R	T*	B	R	T*
		T-M	M	T	M	T*	M	T*	M	T*
		T-B	B	T	B	T*	B	T*	B	T*
		T-B-R	T	B	R	T*	B	R	T*	B
		T-B-R	B	R	T*	B	R	T*	B	R
		T-M	T	M	T*	M	T*	M	T*	M
		T-B	T	B	T*	B	T*	B	T*	B

* Datos de rendimiento de trigo utilizados para la evaluación estadística después de completar la rotación

T = Trigo; B = Barbecho; R = Raps; M = Maíz; CT = Labranza convencional; NT = Cero labranza.

Apéndice 2. Rendimiento de trigo y componentes de rendimiento en labranza convencional (CT) en los años de estudio (2002-2007).

Labranza	Año	Rotación*	Biomasa (kg ha ⁻¹)	Rend. Grano (kg ha ⁻¹)	IC	PS1000 (g)	Granos m ⁻²	Espigas m ⁻²	Granos espiga ⁻¹
CT	2002	1	15.793,9	5.720,9	0,36	48,6	11.738,0	402,2	29,5
CT	2002	2	15.394,1	6.057,6	0,39	47,9	12.664,5	397,5	31,9
CT	2002	3	15.251,2	6.231,6	0,41	44,6	13.943,9	389,8	36,4
CT	2003	1	8.111,5	3.380,6	0,41	43,0	7.767,7	290,9	26,2
CT	2003	2	8.561,9	2.869,8	0,32	37,7	7.572,9	355,0	21,1
CT	2003	3	8.030,4	2.987,0	0,37	38,5	7.724,4	313,9	24,6
CT	2004	1	14.258,4	5.011,7	0,36	47,9	10.395,5	437,9	24,1
CT	2004	2	11.711,4	4.175,5	0,35	47,1	8.808,5	382,9	23,3
CT	2004	3	14.926,2	5.955,1	0,40	52,8	11.279,8	420,7	27,1
CT	2005	1	12.939,5	4.379,0	0,34	45,1	9.734,7	406,2	24,0
CT	2005	2	9.327,1	2.943,5	0,32	38,9	7.634,3	361,6	21,3
CT	2005	3	12.581,8	3.804,6	0,31	40,4	9.499,2	374,5	25,6
CT	2006	1	15.476,9	6.024,4	0,39	50,5	11.863,9	455,5	26,7
CT	2006	2	12.430,2	4.818,1	0,39	48,5	9.947,4	384,4	26,4
CT	2006	3	14.081,0	5.786,9	0,41	50,9	11.381,4	419,6	27,3
CT	2007	1	17.747,4	5.341,4	0,30	42,4	12.663,4	482,6	26,3
CT	2007	2	15.806,9	4.874,9	0,30	39,4	12.131,4	444,5	28,0
CT	2007	3	17.311,4	5.462,9	0,32	42,8	12.772,6	459,1	28,3

Rotación* : 1= Trigo-Barbecho-Raps; 2 = Trigo-Maíz; 3 = Trigo-Barbecho

CT = Labranza convencional

Apéndice 3. Rendimiento de trigo y componentes de rendimiento en cero labranza (NT) en los años de estudio (2002-2007).

Labranza	Año	Rotación*	Biomasa (kg ha ⁻¹)	Rend. Grano (kg ha ⁻¹)	IC	PS1000 (g)	Granos m ⁻²	Espigas m ⁻²	Granos espiga ⁻¹
NT	2002	1	11.897,8	5.007,4	0,42	50,1	9.972,3	308,3	32,4
NT	2002	2	11.940,8	4.835,7	0,41	48,5	9.909,9	320,7	31,0
NT	2002	3	12.863,4	5.886,7	0,47	46,9	12.579,8	327,5	39,1
NT	2003	1	9.381,5	4.041,7	0,43	41,9	9.705,5	330,6	29,3
NT	2003	2	11.420,1	3.002,4	0,25	32,5	8.784,7	476,3	18,2
NT	2003	3	9.542,1	3.372,2	0,35	36,3	9.321,0	352,3	26,5
NT	2004	1	11.359,0	4.173,5	0,37	51,1	8.211,4	388,9	22,0
NT	2004	2	7.683,1	1.880,0	0,24	38,4	4.883,9	294,0	16,7
NT	2004	3	10.147,9	3.545,0	0,35	50,8	6.926,2	354,8	19,5
NT	2005	1	10.745,7	3.454,8	0,32	43,9	7.843,3	368,6	21,5
NT	2005	2	9.577,7	2.427,7	0,25	33,6	7.285,9	389,8	18,7
NT	2005	3	8.703,9	3.491,4	0,40	41,0	8.460,8	331,2	25,3
NT	2006	1	9.900,7	3.330,1	0,34	41,8	8.109,1	324,9	25,0
NT	2006	2	8.021,3	2.860,5	0,36	47,7	6.017,4	322,8	18,7
NT	2006	3	11.375,9	4.366,5	0,38	50,7	8.583,8	369,9	23,5
NT	2007	1	17.021,8	6.015,3	0,36	43,2	14.001,1	470,8	30,1
NT	2007	2	15.982,9	4.640,8	0,29	37,5	12.397,8	463,0	27,3
NT	2007	3	14.947,9	4.811,8	0,32	41,0	11.729,3	436,3	27,2

Rotación* : 1= Trigo-Barbecho-Raps; 2 = Trigo-Maíz; 3 = Trigo-Barbecho

NT = Cero labranza

Apéndice 4. Estimación de intervalos de confianza (95%) de las pendientes de regresión del análisis de estabilidad para cada tratamiento.

Estadísticas de la regresión T-B-R (NT)

Coefficiente de correlación múltiple	0,84
Coefficiente de determinación R ²	0,71
R ² ajustado	0,64
Error típico	599,30
Observaciones	6,00

T-B-R (NT) = Rotación trigo, barbacho, raps en cero labranza

ANÁLISIS DE VARIANZA

	G.L	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	P
Regresión	1	3.490.286,20	3.490.286,20	9,72	0,036
Residuos	4	1.436.651,07	359.162,77		
Total	5	4.926.937,27			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Intercepción	872,62	1.126,99	0,77	0,48	-2.256,42	4.001,67
IA	0,87	0,27	3,11	0,04	0,09	1,64

IA= Índice ambiental

Estadísticas de la regresión T-M (NT)

Coefficiente de correlación múltiple	0,97
Coefficiente de determinación R ²	0,95
R ² ajustado	0,93
Error típico	307,86
Observaciones	6,00

T-M (NT) = Rotación trigo, maíz, en cero labranza

ANÁLISIS DE VARIANZA

	G.L	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	P
Regresión	1	6.832.023,75	6.832.023,75	72,08	0,001
Residuos	4	379.113,17	94.778,29		
Total	5	7.211.136,92			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Intercepción	-1.523,58	578,93	-2,63	0,06	-3.130,97	83,81
IA	1,22	0,14	8,49	0,01	0,81	1,61

IA= Índice ambiental

Estadísticas de la regresión T-B (NT)

Coefficiente de correlación múltiple	0,89
Coefficiente de determinación R ²	0,79
R ² ajustado	0,74
Error típico	504,11
Observaciones	6

T-B (NT) = Rotación trigo, barbecho, en cero labranza

ANÁLISIS DE VARIANZA

	G.L	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	P	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Regresión	1	3.834.576,55	3.834.576,55	15,09	0,018		
Residuos	4	1.016.491,56	254.122,89				
Total	5	4.851.068,11					

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Intercepción	650,96	947,98	0,69	0,53	-1.981,06	3.282,98
IA	0,91	0,23	3,88	0,02	0,26	1,56

IA= Índice ambiental

Estadísticas de la regresión T-B-R (CT)

Coefficiente de correlación múltiple	0,96
Coefficiente de determinación R ²	0,92
R ² ajustado	0,89
Error típico	315,35
Observaciones	6

T-B-R (CT) = Rotación trigo, barbacho, raps, en labranza convencional

ANÁLISIS DE VARIANZA

	G.L	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	P	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Regresión	1	4.292.886,79	4.292.886,79	43,17	0,003		
Residuos	4	397.783,04	99.445,76				
Total	5	4.690.669,83					

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Intercepción	1.067,90	608,64	1,75	0,15	-621,97	2.757,76
IA	0,82	0,12	6,57	0,00	0,47	1,17

IA= Índice ambiental

Estadísticas de la regresión T-M (CT)

Coefficiente de correlación múltiple	0,96
Coefficiente de determinación R ²	0,91
R ² ajustado	0,89
Error típico	406,00
Observaciones	6,00

T-M (CT) = Rotación trigo, maíz, en labranza convencional

ANÁLISIS DE VARIANZA

	G.L	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	P
Regresión	1	6.929.047,40	6.929.047,40	42,04	0,003
Residuos	4	659.359,65	164.839,91		
Total	5	7.588.407,05			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Intercepción	-675,65	783,61	-0,86	0,44	-2.851,31	1.500,00
IA	1,04	0,16	6,48	0,00	0,60	1,49

IA= Índice ambiental

Estadísticas de la regresión T-B (CT)

Coefficiente de correlación múltiple	0,97
Coefficiente de determinación R ²	0,95
R ² ajustado	0,94
Error típico	334,85
Observaciones	6

T-B (CT) = Rotación trigo, barbecho, en labranza convencional

ANÁLISIS DE VARIANZA

	G.L	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	P
Regresión	1	8.286.592,12	8.286.592,12	73,90	0,001
Residuos	4	448.503,98	112.125,99		
Total	5	8.735.096,10			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Intercepción	-392,24	646,28	-0,61	0,58	-2.186,61	1.402,13
IA	1,14	0,13	8,60	0,00	0,77	1,51

IA= Índice ambiental

Resumen

Tratamientos	Pendiente	Intervalos (95%)		
T-B-R (NT)	0,87	0,10	1,65	ns
T-M (NT)	1,22	0,82	1,62	
T-B (NT)	0,91	0,26	1,56	
T-B-R (CT)	0,82	0,47	1,17	ns
T-M (CT)	1,04	0,60	1,49	
T-B (CT)	1,14	0,77	1,51	

ns= no significativo

T-B-R (NT) = Rotación trigo,barbecho, raps, en cero labranza.

T-M (NT) = Rotación trigo, maíz, en cero labranza.

T-B (NT) = Rotación trigo, barbecho, en cero labranza.

T-B-R (CT) = Rotación trigo,barbecho, raps, en labranza convencional.

T-M (CT) = Rotación trigo, maíz, en labranza convencional.

T-B (CT) = Rotación trigo, barbecho, en labranza convencional.

Apéndice 5. Porcentaje de la suma de cuadrados (SC) del análisis de varianza para biomasa, índice de cosecha y componentes del rendimiento del maíz.

FV	gl	Biomasa (kg ha ⁻¹)	Índice de Cosecha (IC)	Peso seco 250 granos (g)	Número de plantas ha ⁻¹
Labranza	1	17,9 ns	80,2 ns	31,5 ns	93,4 *
Bloque	2	22,8 ns	2,7 ns	28,6 ns	2,5 ns
Rotación	2	56,2 ns	15,3 ns	26,4 ns	3,0 ns
Labranza x Rotación	2	3,1 ns	1,8 ns	13,5 ns	1,1 ns
Total	17	100	100	100	100
CV		12,3	4,41	11,2	9,9

* p<0,05; ns = no significativo

Apéndice 6. Análisis de varianza para biomasa, rendimiento de grano, IC y componentes de rendimiento en trigo.

Análisis de varianza para biomasa (kg ha⁻¹)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Biomasa (kg/ha)	108	0,8	0,65	16,77

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.042.678.192,6	47	22.184.642,4	5,23	<0,0001
Repetición	20.435.289,0	2	10.217.644,5	2,41	0,0986
Año	591.685.765,1	5	118.337.153,0	15,86	0,0002
Error	74.598.400,8	10	7.459.840,1	1,76	0,0884
Labranza	115.481.256,3	1	115.481.256,3	27,22	<0,0001
Año*Labranza	118.039.942,3	5	23.607.988,5	5,57	0,0003
Rotación	37.244.818,9	2	18.622.409,5	4,39	0,0166
Año*Rotación	54.355.905,2	10	5.435.590,5	1,28	0,2615
Labranza*Rotación	5.467.263,7	2	2.733.631,9	0,64	0,5286
Año*Labranza*Rotación	25.369.551,3	10	2.536.955,1	0,6	0,8092
Error	254.519.857,6	60	4.241.997,6		
Total	1.297.198.050,2	107			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2.028,54

Error: 7.459.840,08 gl: 10

Año	Medias	n	E.E.	
2007	16.469,67	18	485,45	A
2002	13.856,94	18	485,45	B
2006	11.881,00	18	485,45	B C
2004	11.681,06	18	485,45	C
2005	10.645,94	18	485,45	C D
2003	9.174,61	18	485,45	D

Letras distintas indican diferencias significativas(p<=0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=792,86

Error: 4.241.997,62 gl: 60

Labranza	Medias	n	E.E.	
CT	13.318,93	54	280,28	A
NT	11.250,81	54	280,28	B

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

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.942,10

Error: 4.241.997,62 gl: 60

Año	Labranza	Medias	n	E.E.	
2007	CT	16.955,11	9	686,5	A
2007	NT	15.984,22	9	686,5	A
2002	CT	15.479,67	9	686,5	A B
2006	CT	13.995,89	9	686,5	B C
2004	CT	13.632,11	9	686,5	B C
2002	NT	12.234,22	9	686,5	C D
2005	CT	11.616,22	9	686,5	D E
2003	NT	10.114,67	9	686,5	E F
2006	NT	9.766,11	9	686,5	E F
2004	NT	9.730,00	9	686,5	E F
2005	NT	9.675,67	9	686,5	E F
2003	CT	8.234,56	9	686,5	F

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

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=971,06

Error: 4.241.997.63 gl: 60

Rotación	Medias	n	E.E.	
T-B-R	12.886,22	36	343,27	A
T-B	12.480,25	36	343,27	A
T-M	11.488,14	36	343,27	B

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

Análisis de varianza para rendimiento en grano (kg ha⁻¹)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento en grano	108	0,79	0,62	19,72

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento	108	0,79	0,62	19,72

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Año	5	79.874.996,6	15.974.999,3	16,0	<0,0001 *
Bloque	12	10.613.305,8	884.442,2	0,9	ns
Labranza	1	17.964.813,8	17.964.813,8	18,0	0,0012 *
Año x Labranza	5	20.693.562,3	4.138.712,5	4,1	0,0204 *
Error	12	12.000.967,5	1.000.080,6		
Rotación	2	18.046.977,7	9.023.488,9	13,4	<0,0001 *
Año x Rotación	10	8.831.700,7	883.170,1	1,3	ns
Labranza x Rotación	2	644.243,6	322.121,8	0,5	ns
Año x Labranza x Rotación	10	5.346.844,0	534.684,4	0,8	ns
Error	48	32.357.171,0	674.107,7		
Total	107	206.374.582,9			

Valores seguidos de * son significativos a $p < 0,05$

ns = no significativo

Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=737.64982

Error: 986412.6704 gl: 10

Año	Medias	n	E.E.	
2002	5.623,33	18	202,66	A
2007	5.191,17	18	202,66	A B
2006	4.530,94	18	202,66	B C
2004	4.123,33	18	202,66	C D
2005	3.416,89	18	202,66	D E
2003	3.275,56	18	202,66	E

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

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=330,99

Error: 739.312,85 gl: 60

Labranza	Medias	n	E.E.	
CT	4.768,06	54	117,01	A
NT	3.952,35	54	117,01	B

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

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=810,77

Error: 739.312,85 gl: 60

Año	Labranza	Medias	n	E.E.	
2002	CT	6.003,33	9	286,61	A
2006	CT	5.543,00	9	286,61	A B
2002	NT	5.243,33	9	286,61	A B
2007	CT	5.226,33	9	286,61	A B
2007	NT	5.156,00	9	286,61	B
2004	CT	5.047,33	9	286,61	B
2005	CT	3.709,22	9	286,61	C
2006	NT	3.518,89	9	286,61	C
2003	NT	3.472,00	9	286,61	C
2004	NT	3.199,33	9	286,61	C
2005	NT	3.124,56	9	286,61	C
2003	CT	3.079,11	9	286,61	C

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

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=405,38

Error: 739.312,85 gl: 60

Rotación	Medias	n	E.E.	
T-B-R	4.656,69	36	143,31	A
T-B	4.641,75	36	143,31	A
T-M	3.782,17	36	143,31	B

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

Análisis de varianza IC

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Índice de cosecha	108	0,73	0,52	12,47

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,32	47	0,0100	3,45	<0,0001
Repetición	0,01	2	0,0039	2,00	0,1448
Año	0,12	5	0,0200	15,06	0,0002
Error	0,02	10	0,0016	0,79	0,6346
Labranza	0,00	1	0,0020	1,04	0,3111
Año*Labranza	0,03	5	0,0100	3,01	0,0172
Rotación	0,05	2	0,0300	13,73	<0,0001
Año*Rotación	0,05	10	0,0049	2,48	0,0148
Labranza*Rotación	0,02	2	0,0100	4,82	0,0114
Año*Labranza*Rotación	0,02	10	0,0025	1,27	0,2698
Error	0,12	60	0,0020		
Total	0,44	107			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,029

Error: 0,0016 gl: 10

Año	Medias	n	E.E.	
2002	0,41	18	0,01	A
2006	0,38	18	0,01	B
2003	0,36	18	0,01	B C
2004	0,34	18	0,01	C D
2005	0,32	18	0,01	D E
2007	0,32	18	0,01	E

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,041

Error: 0,0020 gl: 60

Año	Labranza	Medias	n	E.E.	
2002	NT	0,43	9	0,01	A
2006	CT	0,40	9	0,01	A B
2002	CT	0,39	9	0,01	B
2004	CT	0,37	9	0,01	B C
2003	CT	0,37	9	0,01	B C
2006	NT	0,36	9	0,01	B C D
2003	NT	0,35	9	0,01	C D E
2005	NT	0,32	9	0,01	D E
2007	NT	0,32	9	0,01	D E
2005	CT	0,32	9	0,01	D E
2004	NT	0,32	9	0,01	D E
2007	CT	0,31	9	0,01	E

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

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,021

Error: 0,0020 gl: 60

Rotación	Medias	n	E.E.	
T-B	0,37	36	0,01	A
T-B-R	0,37	36	0,01	A
T-M	0,32	36	0,01	B

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

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,051

Error: 0,0020 gl: 60

Año	Rotación	Medias	n	E.E.	
2002	T-B	0,44	6	0,02	A
2003	T-B-R	0,42	6	0,02	A B
2002	T-M	0,4	6	0,02	A B C
2006	T-B	0,4	6	0,02	A B C
2002	T-B-R	0,39	6	0,02	A B C
2006	T-M	0,38	6	0,02	B C D
2004	T-B	0,37	6	0,02	B C D
2003	T-B	0,37	6	0,02	C D E
2006	T-B-R	0,37	6	0,02	C D E
2004	T-B-R	0,36	6	0,02	C D E
2005	T-B	0,35	6	0,02	C D E
2005	T-B-R	0,33	6	0,02	D E F
2007	T-B-R	0,33	6	0,02	D E F
2007	T-B	0,32	6	0,02	E F
2004	T-M	0,3	6	0,02	F
2007	T-M	0,3	6	0,02	F
2003	T-M	0,29	6	0,02	F
2005	T-M	0,29	6	0,02	F

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

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,029

Error: 0,0020 gl: 60

Labranza	Rotación	Medias	n	E.E.	
NT	T-B	0,38	18	0,01	A
NT	T-B-R	0,37	18	0,01	A B
CT	T-B	0,37	18	0,01	A B
CT	T-B-R	0,36	18	0,01	A B
CT	T-M	0,35	18	0,01	B
NT	T-M	0,30	18	0,01	C

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

Análisis de varianza para PS 1000 granos

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso seco de 1000 gr	108	0,82	0,68	7,71

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3.203,98	47,00	68,17	5,92	<0,0001
Repetición	15,56	2,00	7,78	0,68	0,5125
Año	1.848,79	5,00	369,76	21,75	<0,0001
Error	169,98	10,00	17,00	1,48	0,1704
Labranza	73,66	1,00	73,66	6,40	0,0140
Año*Labranza	67,59	5,00	13,52	1,17	0,3322
Rotación	361,57	2,00	180,78	15,71	<0,0001
Año*Rotación	444,00	10,00	44,40	3,86	0,0005
Labranza*Rotación	47,06	2,00	23,53	2,04	0,1383
Año*Labranza*Rotación	175,77	10,00	17,58	1,53	0,1520
Error	690,42	60,00	11,51		
Total	3.894,40	107,00			

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3,06

Error: 16,99 gl: 10

Año	Medias	n	E.E.	
2006	48,33	18	0,8	A
2004	48,01	18	0,8	A
2002	47,78	18	0,8	A
2007	41,04	18	0,8	B
2005	40,47	18	0,8	B
2003	38,31	18	0,8	B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,30

Error: 11,50 gl: 60

Labranza	Medias	n	E.E.	
CT	44,82	54	0,46	A
NT	43,16	54	0,46	B

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,59

Error: 11,50 gl: 60

Rotación	Medias	n	E.E.	
T-B-R	45,78	36	0,57	A
T-B	44,71	36	0,57	A
T-M	41,48	36	0,57	B

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

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3,92

Error: 11,50 gl: 60

Año	Rotación	Medias	n	E.E.	
2004	T-B	51,76	6	1,38	A
2006	T-B	50,80	6	1,38	A
2004	T-B-R	49,49	6	1,38	A B
2002	T-B-R	49,36	6	1,38	A B
2002	T-M	48,23	6	1,38	A B C
2006	T-M	48,07	6	1,38	A B C
2006	T-B-R	46,12	6	1,38	B C D
2002	T-B	45,76	6	1,38	B C D E
2005	T-B-R	44,49	6	1,38	C D E F
2007	T-B-R	42,79	6	1,38	D E F
2004	T-M	42,78	6	1,38	D E F
2003	T-B-R	42,46	6	1,38	D E F
2007	T-B	41,86	6	1,38	E F G
2005	T-B	40,68	6	1,38	F G H
2007	T-M	38,46	6	1,38	G H I
2003	T-B	37,40	6	1,38	H I
2005	T-M	36,26	6	1,38	I
2003	T-M	35,07	6	1,38	I

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

Análisis de varianza para Granos m⁻²

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Granos m ²	108	0,79	0,62	16,82

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	607.490.409,33	47,00	12.925.327,86	4,72	<0,0001
Repetición	2.428.872,06	2,00	1.214.436,03	0,44	0,6441
Año	319.441.849,00	5,00	63.888.369,80	11,24	0,0008
Error	56.864.316,94	10,00	5.686.431,69	2,07	0,0408
Labranza	51.256.088,93	1,00	51.256.088,93	18,70	0,0001
Año*Labranza	92.504.411,30	5,00	18.500.882,26	6,75	<0,0001
Rotación	38.433.528,00	2,00	19.216.764,00	7,01	0,0018
Año*Rotación	33.495.549,67	10,00	3.349.554,97	1,22	0,2957
Labranza*Rotación	1.449.217,85	2,00	724.608,93	0,26	0,7686
Año*Labranza*Rotación	11.616.575,59	10,00	1.161.657,56	0,42	0,9295
Error	164.438.833,67	60,00	2.740.647,23		
Total	771.929.243,00	107,00			

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=637,29

Error: 2.740.647,22 gl: 60

Labranza	Medias	n	E.E.	
CT	10.529,07	54	225,28	A
NT	9.151,26	54	225,28	B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1.771,09

Error: 5.686.431,69 gl: 10

Año	Medias	n	E.E.	
2007	12.615,89	18	562,06	A
2002	11.801,39	18	562,06	A
2006	9.317,28	18	562,06	B
2003	8.479,28	18	562,06	B
2004	8.417,56	18	562,06	B
2005	8.409,61	18	562,06	B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1.561,05

Error: 2.740.647,23 gl: 60

Año	Labranza	Medias	n	E.E.	
2002	CT	12.782,11	9	551,83	A
2007	NT	12.709,33	9	551,83	A
2007	CT	12.522,44	9	551,83	A B
2006	CT	11.064,22	9	551,83	B C
2002	NT	10.820,67	9	551,83	C D
2004	CT	10.161,22	9	551,83	C D E
2003	NT	9.270,11	9	551,83	D E F
2005	CT	8.956,00	9	551,83	E F G
2005	NT	7.863,22	9	551,83	F G H
2003	CT	7.688,44	9	551,83	G H
2006	NT	7.570,33	9	551,83	G H
2004	NT	6.673,89	9	551,83	H

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

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=780,52

Error: 2.740.647,23 gl: 60

Rotación	Medias	n	E.E.	
T-B	10.350,17	36	275,92	A
T-B-R	10.167,17	36	275,92	A
T-M	9.003,17	36	275,92	B

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

Análisis de varianza Espigas m⁻²

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Espigas m ²	108	0,64	0,36	15,34

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	375.133,32	47	7.981,56	2,30	0,0012
Repetición	21.882,02	2	10.941,01	3,16	0,0496
Año	135.379,60	5	27.075,92	8,49	0,0023
Error	31.875,43	10	3.187,54	0,92	0,5211
Labranza	25.116,75	1	25.116,75	7,25	0,0092
Año*Labranza	73.637,08	5	14.727,42	4,25	0,0022
Rotación	1.792,13	2	896,06	0,26	0,7729
Año*Rotación	64.866,65	10	6.486,66	1,87	0,0671
Labranza*Rotación	6.489,06	2	3.244,53	0,94	0,3976
Año*Labranza*Rotación	14.094,61	10	1.409,46	0,41	0,9382
Error	207.836,56	60	3.463,94		
Total	582.969,88	107			

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=41,93

Error: 3.187,54 gl: 10

Año	Medias	n	E.E.	
2007	459,44	18	13,87	A
2004	379,89	18	13,87	B
2006	379,56	18	13,87	B
2005	372,00	18	13,87	B
2002	357,50	18	13,87	B
2003	353,22	18	13,87	B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=22,65

Error: 3.463,94 gl: 60

Labranza	Medias	n	E.E.	
CT	398,85	54	8,01	A
NT	368,35	54	8,01	B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=55,49

Error: 3.463,94 gl: 60

Año	Labranza	Medias	n	E.E.	
2007	CT	462,22	9	19,62	A
2007	NT	456,67	9	19,62	A
2006	CT	420,00	9	19,62	A B
2004	CT	413,89	9	19,62	A B C
2002	CT	396,33	9	19,62	B C D
2003	NT	386,44	9	19,62	B C D E
2005	CT	380,67	9	19,62	B C D E
2005	NT	363,33	9	19,62	C D E F
2004	NT	345,89	9	19,62	D E F
2006	NT	339,11	9	19,62	E F
2003	CT	320,00	9	19,62	F
2002	NT	318,67	9	19,62	F

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

Análisis de varianza Granos espiga⁻¹

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Granos espiga ⁻¹	108	0,76	0,57	15,05

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.857,49	47	60,8	4,02	<0,0001
Repetición	49,69	2	24,84	1,64	0,2021
Año	1.594,34	5	318,87	11,18	0,0008
Error	285,13	10	28,51	1,88	0,0651
Labranza	57,20	1	57,2	3,78	0,0565
Año*Labranza	192,31	5	38,46	2,54	0,0375
Rotación	304,67	2	152,34	10,07	0,0002
Año*Rotación	248,82	10	24,88	1,64	0,1158
Labranza*Rotación	77,62	2	38,81	2,57	0,0853
Año*Labranza*Rotación	47,72	10	4,77	0,32	0,9742
Error	907,60	60	15,13		
Total	3.765,09	107			

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3,97

Error: 28,51 gl: 10

Año	Medias	n	E.E.	
2002	33,38	18	0,92	A
2007	27,89	18	0,92	B
2006	24,60	18	0,92	B C
2003	24,30	18	0,92	B C
2005	22,72	18	0,92	C
2004	22,12	18	0,92	C

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

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3,67

Error: 15,12 gl: 60

Año	Labranza	Medias	n	E.E.	
2002	NT	34,16	9	1,3	A
2002	CT	32,61	9	1,3	A
2007	NT	28,23	9	1,3	B
2007	CT	27,56	9	1,3	B C
2006	CT	26,79	9	1,3	B C D
2004	CT	24,84	9	1,3	B C D E
2003	NT	24,64	9	1,3	B C D E
2003	CT	23,96	9	1,3	C D E
2005	CT	23,63	9	1,3	D E
2006	NT	22,41	9	1,3	E F
2005	NT	21,81	9	1,3	E F
2004	NT	19,40	9	1,3	F

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

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,83

Error: 15,12 gl: 60

Rotación	Medias	n	E.E.	
T-B	27,54	36	0,65	A
T-B-R	26,43	36	0,65	A
T-M	23,55	36	0,65	B

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