

ROTACIÓN DE CULTIVOS

Paola Silva C.

Ingeniero Agrónomo, Mg.Sc. Dr.
Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de Chile

Walter Vergara S.

Lic. Ciencias Agropecuarias
Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de Chile

Edmundo Acevedo I.

Ingeniero Agrónomo, M. Sc. Ph.D.
Facultad de Ciencias Agronómicas,
Universidad de Chile

3

La rotación de cultivos es una práctica de manejo que busca maximizar la productividad por unidad de superficie, optimizando el uso de los recursos. La rotación de cultivos consiste en la sucesión de diferentes cultivos en el mismo suelo a través del tiempo. En el caso chileno la sucesión es generalmente año a año, siendo común que se obtenga sólo una cosecha al año o temporada agrícola, acotándose la obtención de dos cosechas al año únicamente en la zona de riego de la VI Región al norte (Rouanet *et al.*, 2005).

El manejo agronómico con rotaciones ha sido uno de los pilares de la agricultura, sin embargo, después de la Segunda Guerra Mundial, la agricultura occidental, incluida la chilena, pasó de basarse en sistemas con baja entrada de energía y productos químicos a sistemas con alta necesidad de energía, fertilizantes inorgánicos y pesticidas dado el bajo costo de los combustibles fósiles, abandonando las rotaciones de cultivos (Karlen *et al.*, 1994).

En la actualidad la rotación de cultivos es considerado como un sistema que le da sustentabilidad a la producción. La inclusión de diferentes tipos de cultivos es el mejor y más efectivo control de enfermedades y plagas. Más recientemente, debido al aumento de los costos de energía se ha producido un renovado interés

por la rotación de cultivos como una fuente de nitrógeno. Muchos efectos de la rotación son sitio específico, y sus efectos se aprecian en el contenido de materia orgánica, estructura del suelo, erosión, enfermedades, plagas, disponibilidad de nutrientes y otros.

En este capítulo se describe la importancia de este manejo cultural y los resultados de rendimiento en investigaciones realizadas en Chile con énfasis en la zona centro-sur, destacando el efecto de la presencia de rastrojos en las rotaciones.

3.1. ¿Por qué se debe hacer rotación de cultivos?

La importancia de la rotación de cultivos radica en varios aspectos, dentro los cuales se destacan:

- Control de plagas y enfermedades.
- Control de malezas.
- Aumento de los nutrientes residuales en el suelo.
- Aumento de la sustentabilidad agrícola.

3.1.1. Control de plagas y enfermedades

La rotación de cultivos reduce la incidencia de plagas y enfermedades, especialmente del suelo. Cuando se incluye un cultivo no susceptible a una determinada plaga o enfermedad, o se incluye barbecho descubierto, en la rotación se reduce el inóculo presente en el suelo, por carencia de alimento, depredación o deterioro natural. La mayor parte de los patógenos de las plantas son débiles saprófitos y no compiten bien con otros organismos del suelo si la planta que actúa como hospedera no está presente.

Ejemplos:

Mal del pie (*Gaeumannomyces graminis var. tritici*) ataca las raíces de trigo. La inclusión de raps o alguna leguminosa (arveja o lenteja o lupino) en la rotación por sólo un año es suficiente para reducir el inóculo del hongo a niveles seguros

para el cultivo de trigo. El raps o la leguminosa deben crecer libre de gramíneas para romper el ciclo de la enfermedad. La avena se puede utilizar en rotación con trigo para bajar la incidencia de mal del pie, pero es menos recomendable dado que es susceptible a Fusariosis, otra enfermedad radical de importancia en trigo (Cuadro 3.1.).

Oleaginosas como el raps (*Brassica napus*), son capaces de eliminar organismos patógenos del suelo mediante la producción de exudados radicales como los isotiacianatos (ITC_s). Este fenómeno denominado biofumigación, puede ser eficiente en la supresión de agentes problemáticos para el trigo como el causante del mal del pie (Kirkegaard *et al.*, 2008).

La rotación lupino-trigo también beneficia al lupino ya que ayuda al control de la antracnosis (*Colletotichum gloesporoides*) que ataca al lupino.

Cuadro 3.1. Enfermedades, cultivo hospedero y cultivo de quiebre.

Enfermedad	Cultivo hospedero	Cultivo de quiebre
Mal del pie (<i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>tritici</i>)	Trigo	Leguminosas
	Cebada	Raps
	Centeno	Avena
Fusariosis de la raíz (<i>Fusarium graminearum</i> G 1)	Trigo	Leguminosas
	Cebada	Raps
	Centeno	Sorgo
Antracnosis (<i>Colletotichum gloesporoides</i>)	Lupino	Cereales
Esclerotinia (<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>)	Raps	Cereales

3.1.2. Control de malezas

Las malezas tienden a asociarse con determinados cultivos. Si el mismo cultivo se desarrolla continuamente durante varios años, las malezas asociadas a él pueden alcanzar una alta población. El cambio a un cultivo diferente interrumpe el ciclo de la maleza, cambiando la presión de selección a otras especies. Adicionalmente, la rotación de cultivos permite usar herbicidas con diferente modo de acción en cada

cultivo de la rotación. Es aconsejable usar cultivos con características biológicas y requerimientos agronómicos contrastantes, como tipo de planta (leguminosa - gramínea), ciclo de vida (anual - perenne), momento de siembra (período frío - período cálido, período húmedo - período seco), requerimientos agronómicos (alta fertilidad - baja fertilidad, riego - seco) y requerimientos de control de malezas (cultivo con un manejo intensivo de malezas – cultivo con bajos requerimientos de manejo de malezas).

La rotación de cultivos influye en la biodiversidad de un sistema; un ejemplo es el menor número total de especies de malezas (10-15 especies) presentes en rotaciones intensivas, con una baja diversidad de cultivos en la rotación y altamente productivos, comparado con rotaciones extensivas donde el número de especies de malezas es mayor (50 o más especies) (Rouanet *et al.*, 2005).

Por otra parte, herbicidas residuales aplicados para controlar malezas en diferentes cultivos de la rotación, pueden afectar al siguiente cultivo, fenómeno que depende de la dosis del herbicida, el pH del suelo y de la estación de crecimiento. En este sentido Kirkegaard *et al.* (2008) mencionan que el efecto de la triazina aplicada en lupino o raps puede persistir en suelos alcalinos. También el mismo autor señala la persistencia en el suelo de imidazolinonas cuando se aplican en raps tolerante (raps IMI) en suelos ácidos con menos de 250 mm de precipitación, debido a que el herbicida requiere de humedad en el suelo para facilitar su degradación por los microorganismos.

Ejemplos:

Cultivos de invierno como trigo en zonas de riego disminuyen la incidencia de malezas, como el maicillo que afectan los cultivos de primavera-verano. Esto debido a que el trigo está cubriendo totalmente el suelo cuando el maicillo comienza su crecimiento en septiembre-octubre, impidiendo que el maicillo intercepte la radiación.

La presencia de leguminosas de grano en rotación con cereales puede ayudar a retardar la aparición o aumento de biotipos de gramíneas como avenilla y ballica resistentes a herbicidas, si durante el cultivo de la leguminosa se utiliza un gramínicida diferente al utilizado en el cultivo del cereal.

La posibilidad de utilizar triazinas en cultivos de leguminosas ofrece la oportunidad para controlar *Vulpia* spp, maleza que constituye un problema en cereales establecidos en cero labranza.

3.1.3. Aumento de nutrientes residuales en el suelo

Las especies vegetales difieren en sus requerimientos de nutrientes, en cantidad y en su dinámica de absorción; además, algunas son capaces de aportar nutrientes al suelo, por su capacidad de realizar simbiosis con bacterias y hongos del suelo (Cuadro 3.2). Al término del ciclo de crecimiento del cultivo, parte de los nutrientes aportados por los fertilizantes y los nutrientes fijados por la asociación simbiótica permanecen en el perfil del suelo, pudiendo quedar disponibles para el próximo cultivo de la rotación.

Cuadro 3.2. Nitrógeno fijado por leguminosas en Chile.

Cultivo	Total N Fijado (Kg N/ha)
Lupino australiano	157 (72-222)
Lupino blanco	345 (159-532)
Arveja	286 (241-367)

Fuente: Espinoza *et al.*, (2012).

Existe una estrecha relación entre la materia seca aérea y la cantidad de nitrógeno fijado por las especies de leguminosas, independiente del sitio y del año, siendo del orden de 21 kg N por cada tonelada de materia seca de una leguminosa (Figura 3.1.). Esta relación observada por Espinoza *et al.* (2012) en Chile es muy similar a las relaciones observadas para otras especies de leguminosas en otras partes del mundo (Peoples *et al.*, 2009; Unkovich *et al.*, 2010).

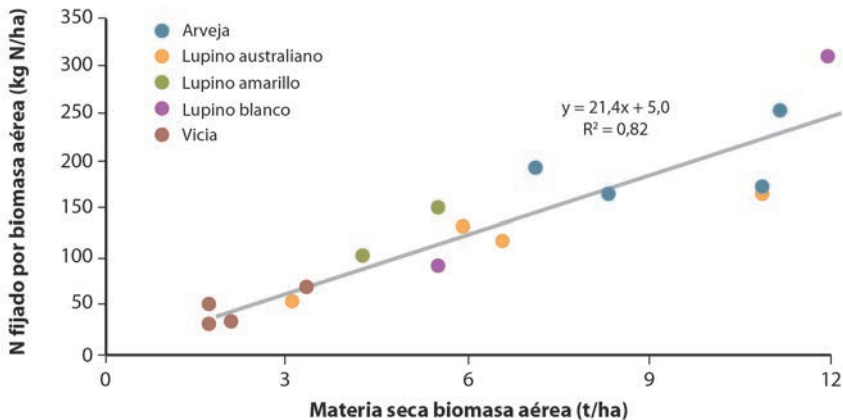


Figura 3.1. Relación entre la biomasa aérea de una leguminosa y el nitrógeno fijado por arveja, lupino australiano, lupino amarillo, lupino blanco y vicia cultivada en dos localidades de la zona central de Chile. Adaptado de Espinoza *et al.*, 2012.

Ejemplos:

La fijación simbiótica de bacterias con las leguminosas resulta en un aumento de nitrógeno en el suelo al término de la estación de crecimiento. En las rotaciones con leguminosas es frecuente observar que el cereal que se cultiva a continuación de la leguminosa aumenta su rendimiento y contenido de proteína en el grano. Kirkegaard *et al.* (2008) señala que el rendimiento de trigo después de cultivos como arveja, lupino, haba, garbanzo, puede lograr beneficios en rendimiento, del orden de 30 a 50% comparado con el monocultivo de trigo sin fertilizar. En Chile, los estudios informan aumentos del orden de 23-152% mayor que el monocultivo de trigo sin fertilizar (Rouanet, 1989; Novoa *et al.*, 1995; Espinoza *et al.*, 2012), mientras que la proteína de trigo puede aumentar de 1 a 8% cuando se cultiva después de una leguminosa, según Mera y Rouanet (2003).

Especies como lupino (*Lupinus albus*) en la rotación contribuyen a la liberación de fósforo fijado en el suelo a través de la exudación de citratos desde sus raíces (Gardner *et al.*, 1983) y de enzimas, como la fosfatasa ácida (Miller *et al.*, 2001), cuya acción solubiliza fosfatos del suelo no disponibles para las plantas.

3.1.4. Aumento de la sustentabilidad agrícola

Existen diversas definiciones de productividad, y el término suele confundirse con producción. La productividad se entiende como una cantidad producida por un vector de insumos (ej. fertilizantes, agua, energía, entre otros). Desde la segunda mitad del siglo veinte se ha observado un continuo aumento de la producción de los cultivos, sin embargo este aumento en la producción se ha debido fundamentalmente al aumento del potencial de rendimiento de los cultivos a través del mejoramiento genético asociado a una intensificación del manejo agronómico, con paquetes tecnológicos de alto costo que han permitido que el mayor potencial se exprese. Junto al aumento en producción se observó una pérdida de productividad de cultivos y rotaciones (Vlek *et al.*, 1981). Esta pérdida de productividad se hace evidente cuando se evalúa el rendimiento de un cultivo durante años sin modificar la variedad ni el manejo agronómico, siendo más acentuada en monocultivos o rotaciones intensivas (Figura 3.2.). La pérdida de productividad se asocia a pérdidas de carbono orgánico y nitrógeno de los suelos.

Ryan *et al.* (2008) señalan que la rotación de cultivos entrega beneficios adicionales en la materia orgánica del suelo, que es importante para la formación de agregados, mantención de la humedad y promoción de la actividad biológica.

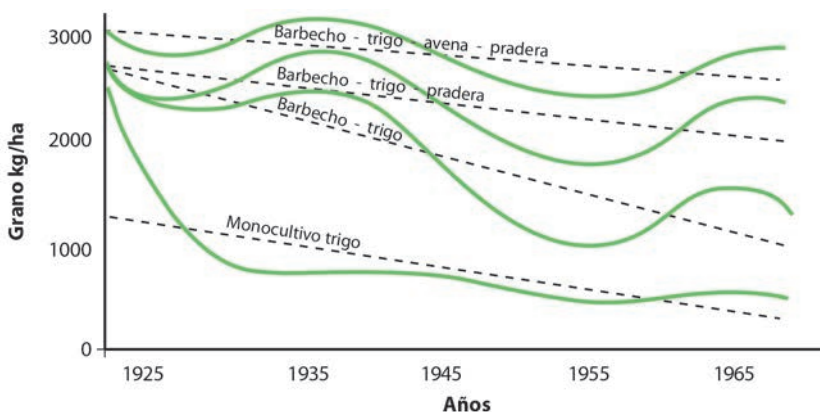


Figura 3.2. Cambios en la productividad de diferentes cultivos y rotaciones en el tiempo Adaptado de Vlek *et al.*, 1981.

La influencia de las rotaciones en la materia orgánica genera efectos positivos en la estabilidad de los agregados, como también en la infiltración y la conductividad hidráulica de los suelos. En monocultivos se ha observado menor formación y estabilidad de agregados. A su vez, se ha observado menor tasa de infiltración y menor conductividad hidráulica, lo que provoca una mayor pérdida de agua por escorrentía superficial. Mayor agregación junto con mejor infiltración y conductividad hidráulica de los suelos se ha encontrado cuando un cereal de invierno se rota con una leguminosa, y este efecto se ve potenciado con una leguminosa forrajera (Ryan *et al.* 2008). Estos mismos autores destacan que la rotación cereal-leguminosa no sólo es productivamente sustentable sino que también es más eficiente en la utilización del agua disponible, la cual es limitante en ambientes mediterráneos. El cultivo y los rastrojos cubren el suelo disminuyendo las pérdidas por evaporación directa, y por otra parte el aumento de materia orgánica provoca una mayor retención del agua en el suelo.

La rotación de cultivos también tiene un impacto positivo en la disminución de erosión del suelo, que se genera por la cobertura del cultivo como también por la mantención de los rastrojos. Un ejemplo es la rotación trigo-raps que cubre el suelo rápidamente en periodos de mayor intensidad de lluvias, disminuyendo las posibilidades de erosión del suelo (Karlen *et al.* 1994).

La biodiversidad de especies también se ve favorecida por esta práctica cultural. La rotación de cultivos afecta positivamente la biodiversidad del suelo, la fauna presente sobre el suelo y la diversidad de especies vegetales, que aumenta la funcionalidad del suelo a través de una mejora en su estructura y contenido de materia orgánica. La biodiversidad produce un aumento en la cantidad de predadores naturales que pueden regular plagas y enfermedades de los cultivos, aumentar la polinización de algunos cultivos y generar simbiosis (Karlen *et al.*, 1994).

Según Nemecek *et al.* (2008) incluir leguminosas en una rotación basada en cereales genera una reducción en: la demanda de energías no renovables, la acidificación de suelo y la contaminación. Debido a la ausencia de aplicación de nitrógeno a la leguminosa y la reducción de fertilización nitrogenada en el cereal, además de menos aplicaciones de agroquímicos como pesticidas y herbicidas.

3.2. Rendimiento de trigo en distintas rotaciones en la zona centro-sur de Chile

Los estudios de rotación de cultivos son escasos debido a que se requieren varios años de información, usualmente 6 años o más. Estas investigaciones se realizan en estaciones experimentales que permiten su mantención por un largo periodo de tiempo. En Chile los pocos estudios existentes son el producto de trabajos realizados por INIA y algunas universidades.

3.2.1. Rotación de cultivos en sistemas de labranza convencional

En un ensayo de riego realizado en Chillán (zona centro-sur de Chile) durante 16 años de rotación de trigo con leguminosas y avena, en el que nunca se aplicó nitrógeno como fertilizante, se puede destacar el mayor rendimiento de la rotación de trigo con leguminosas o avena, 31% más que el rendimiento observado en un monocultivo de trigo (Cuadro 3.3.). Debido a que en este experimento no se incorporó el residuo de las cosechas, el mayor rendimiento del trigo sembrado después de avena, arveja y lenteja, se puede atribuir a un efecto sanitario de los cultivos en el control de enfermedades del suelo, y a un efecto adicional de fijación de nitrógeno en el caso de leguminosas. No obstante, dado que el rendimiento de trigo fue muy similar después de los tres precultivos mencionados, se deduce que la adición de nitrógeno al suelo es escasa en cultivos de leguminosas anuales cuando se retiran los rastrojos.

Cuadro 3.3. Rendimiento de trigo harinero (t/ha) en labranza convencional en Chillán.

Rotación	1991	1993	1995	1997	1999	2001	2003	2005	Promedio
arveja – trigo	2,25	2,66	2,06	2,90	2,10	2,25	2,58	2,35	2,39
avena – trigo	2,07	2,49	2,16	2,74	1,98	2,18	2,61	2,35	2,32
lenteja – trigo	2,25	2,43	2,09	2,81	1,81	1,93	2,63	2,28	2,28
trigo – trigo	1,29	2,38	1,62	2,18	0,53	1,77	2,48	2,02	1,78

Adaptado de Mellado y Madariaga, (2003); Mellado, (2006).

En Chillán también se realizó un estudio de rotaciones de trigo con lupino y distintos cereales, con remoción de residuos después de cada cosecha, y en el que

anualmente se aplicó la misma cantidad de NPK por hectárea en cada rotación; el ensayo fue hecho bajo riego durante 12 años (Cuadro 3.4.). Se destaca el mayor rendimiento de trigo cuando fue rotado con lupino, 44% por sobre el del monocultivo de trigo; esto se explica por un efecto sanitario del lupino en el control de enfermedades del suelo y al mayor aporte de fósforo disponible (54 mg P/kg), versus 14 mg P/kg del monocultivo de trigo. El rendimiento de trigo en rotación con cebada y triticale fue similar al monocultivo de trigo. El menor rendimiento de trigo se obtuvo en la rotación con centeno, el cual fue 25% inferior al del monocultivo de trigo.

Cuadro 3.4. Rendimiento de trigo harinero (t/ha) en labranza convencional en Chillán.

Rotación	1995	1997	1999	2001	2003	2005	Promedio
Cebada - trigo	5,54	3,36	0,72	5,21	3,33	4,35	3,75
Centeno - trigo	4,30	0,97	0,18	4,55	3,46	3,35	2,80
Lupino - trigo	5,38	6,27	4,53	5,59	5,20	5,36	5,39
Trigo -trigo	5,10	3,47	0,73	5,03	4,02	4,14	3,75
Triticale - trigo	4,53	4,11	0,50	4,52	3,89	4,40	3,66

Adaptado de Mellado (2003); Mellado (2006).

En otro trabajo realizado en Yungay (precordillera de Ñuble, zona centro-sur de Chile), se realizó un estudio de rotación de trigo con lupino, arveja, avena + vicia y avena. Ninguna de estas rotaciones fue fertilizada con nitrógeno, y además se incluyó avena con fertilización nitrogenada (207 kg N/ha), para comparar con la rotación tradicional que hacen los agricultores de la zona. Los cultivos fueron cosechados y el residuo fue incorporado, mientras que la mezcla avena + vicia fue cortada en floración e incorporada como abono verde (Cuadro 3.5.). El mayor rendimiento de trigo se obtuvo con la rotación avena + vicia (incorporado como abono verde) y avena con fertilización nitrogenada, 90% más que el de trigo después de avena sin fertilización nitrogenada. La rotación de trigo con leguminosas (lupino o arveja) tuvo 40% más de rendimiento que el trigo después de avena sin fertilización nitrogenada.

Cuadro 3.5. Rendimiento de trigo harinero (t/ha) bajo labranza convencional en Yungay.

Rotación	2009	2010	Promedio
Lupino (<i>L. angustifolius</i>) - trigo (sin N)	6,11	6,04	6,08
Lupino (<i>L. albus</i>) - trigo (sin N)	6,16	5,94	6,05
Arveja - trigo (sin N)	7,12	6,90	7,01
Avena + vicia - trigo (sin N)	9,01	8,52	8,77
Avena - trigo (sin N)	5,29	3,84	4,57
Avena - trigo (con N)	8,89	8,33	8,61

Adaptado de Espinoza *et al.* (2012).

En Santiago (zona central de riego de Chile), se realizó un estudio de rotación de trigo con barbecho-raps, barbecho y maíz, donde cada fase de la rotación estuvo presente todos los años, obteniendo 6 años de datos; en cada rotación el cultivo fue cosechado y el residuo incorporado al suelo, todos los cultivos fueron fertilizados con NPK (Shertzer, 2013).

En esta zona de Chile es común que el trigo se rote con maíz, sin embargo el Cuadro 3.6. muestra que esta rotación provoca una reducción en el rendimiento de trigo candeal de 14% comparada con un barbecho-trigo o barbecho-raps-trigo. Shertzer (2013) asocia esta reducción a la incidencia de patógenos comunes como *Fusarium graminearum*, *Aspergillus* spp. y *Penicillium* spp. (Apablaza, 1999), 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, granos/m y la materia seca de 1.000 granos, datos no mostrados) con respecto a las otras dos rotaciones.

Cuadro 3.6. Rendimiento de trigo harinero (t/ha) en labranza convencional en Chillán.

Rotación	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Promedio
Barbecho - raps – trigo	6,36	3,76	5,57	4,87	6,69	5,93	5,53
Barbecho – trigo	6,92	3,32	6,62	4,23	6,43	6,07	5,60
Maíz – trigo	6,73	3,19	4,64	3,27	5,35	5,42	4,77

Adaptado de Shertzer, 2013.

Se realizó otro estudio en condiciones de secano (250 mm anuales de precipitación aprox., Estación Experimental Antumapu, Santiago) de rotación de trigo con arveja, haba, raps y monocultivo de trigo, donde cada fase de la rotación estuvo presente todos los años teniendo a la fecha 5 años de información. En cada rotación el cultivo fue cosechado y el residuo incorporado al suelo, el cultivo de trigo se manejó con y sin nitrógeno para evaluar el efecto de la fijación simbiótica de las leguminosas sobre el cultivo de trigo. Dada la fuerte sequía a la que ha estado sometido este experimento (rendimiento promedio de trigo de 1,88 t/ha) no se ha observado efecto de la rotación de cultivos sobre el rendimiento de trigo (Cuadro 3.7.), debido a que la principal limitante del cultivo es el agua.

Las rotaciones que fueron fertilizadas con 160 kg N/ha obtuvieron un 18% menos de rendimiento de trigo que las sin fertilización; este fenómeno se conoce como “haying-off” y ha sido estudiado en el secano australiano. Se describe como una baja en el rendimiento en relación al total de materia seca producida (Angus y van Herwaarden, 2001). Las condiciones que favorecen su ocurrencia son un apropiado nivel de agua en el suelo y alta dosis de nitrógeno en los estados iniciales del cultivo, que permiten un alto crecimiento de este y con ello una mayor extracción de agua, al ser seguido por una fuerte sequía terminal se reduce el índice de cosecha y el rendimiento del cultivo (Angus y van Herwaarden, 2001; Pergolini *et al.*, 2004; Ayad *et al.*, 2010).

Cuadro 3.7. Rendimiento de trigo candeal (t/ha) bajo labranza convencional en condiciones de secano (250 mm anuales, Santiago).

Rotación	2010	2011	2012	2013	2014	Promedio
Arveja - trigo (sin N)	2,25	2,56	3,20	0,67	1,49	2,03
Haba - trigo (sin N)	2,42	2,37	3,46	0,28	1,90	2,09
Raps - trigo (sin N)	2,17	2,70	2,85	0,65	1,64	2,00
Trigo - trigo (sin N)	1,95	2,86	3,43	0,91	1,72	2,18
Arveja - trigo (con N)	1,68	1,72	2,83	0,22	0,97	1,49
Haba - trigo (con N)	1,91	1,90	3,25	0,17	1,41	1,73
Raps - trigo (con N)	1,89	2,17	3,29	0,16	1,27	1,76
Trigo - trigo (con N)	1,71	1,98	3,47	0,46	1,26	1,78

En otro experimento de secano hecho en Cauquenes (secano interior de la zona centro-sur de Chile) con aproximadamente 600 mm precipitación anual, se realizó

un estudio de rotación de trigo con lupino, arveja, avena + vicia y avena. Ninguna de estas rotaciones fue fertilizada con nitrógeno y además se incluyó avena con fertilización nitrogenada; los cultivos fueron cosechados y el residuo fue incorporado, mientras que la avena + vicia fue cortada en floración e incorporada como abono verde (5 t MS/ha) al suelo (Espinoza *et al.*, 2012) (Cuadro 3.8.). Se observa un efecto positivo de las leguminosas sobre el rendimiento de trigo y similar a la rotación avena-trigo fertilizada con nitrógeno (160 kg/ha). Se obtuvo un rendimiento de trigo intermedio después del abono verde de avena + vicia.

Cuadro 3.8. Rendimiento de trigo harinero (t/ha) bajo labranza convencional en condiciones de secano en la localidad de Cauquenes. Adaptado de Espinoza *et al.* (2012).

Rotación	2009	2010	Promedio
Lupino (<i>L. angustifolius</i>) - trigo (sin N)	2,96	3,33	3,20
Lupino (<i>L. luteus</i>) - trigo (sin N)	2,76	2,96	2,86
Arveja - trigo (sin N)	2,67	3,21	2,94
Avena+vicia - trigo (sin N)	2,17	1,84	2,01
Avena - trigo (sin N)	1,70	1,24	1,47
Avena - trigo (con N)	3,70	3,03	3,37

3.2.2. Rotación de cultivos en sistemas de cero labranza con rastrojos

En un sistema de cero labranza no hay inversión de suelo, ni rastrajes, y los rastrojos de los cultivos se conservan sobre la superficie de suelo. La cantidad de rastrojos que quedan sobre el suelo tiene un efecto en el cultivo que depende del tipo de cultivo que sigue en la rotación. En este sentido un estudio realizado en suelos trumaos de la precordillera de la Región del Biobío, mostró que el trigo y la avena no cambiaron mayormente su rendimiento al aumentar la cantidad de rastrojo del precultivo dejado sobre el suelo (Vidal y Troncoso, 2003).

En cambio la situación fue distinta cuando el cultivo que seguía era lupino o raps, observándose una disminución del rendimiento en la medida que aumentaba el rastrojo del precultivo sobre el suelo. En el caso de lupino se produjo una muerte de plantas debido probablemente a problemas alelopáticos y ataque de hongos (*Rhizoctonia* y *Fusarium*). La tasa de reducción media de rendimiento de lupino fue de 0,265 t grano/ha por cada tonelada de rastrojo. En el caso de raps, la

reducción en rendimiento puede estar asociada a problemas mecánicos que afectan la germinación, dado el pequeño tamaño de su semilla con bajo contenido de reservas. La tasa de reducción media de rendimiento de raps fue de 0,088 t/ha por cada tonelada de rastrojo (Figura 3.3.).

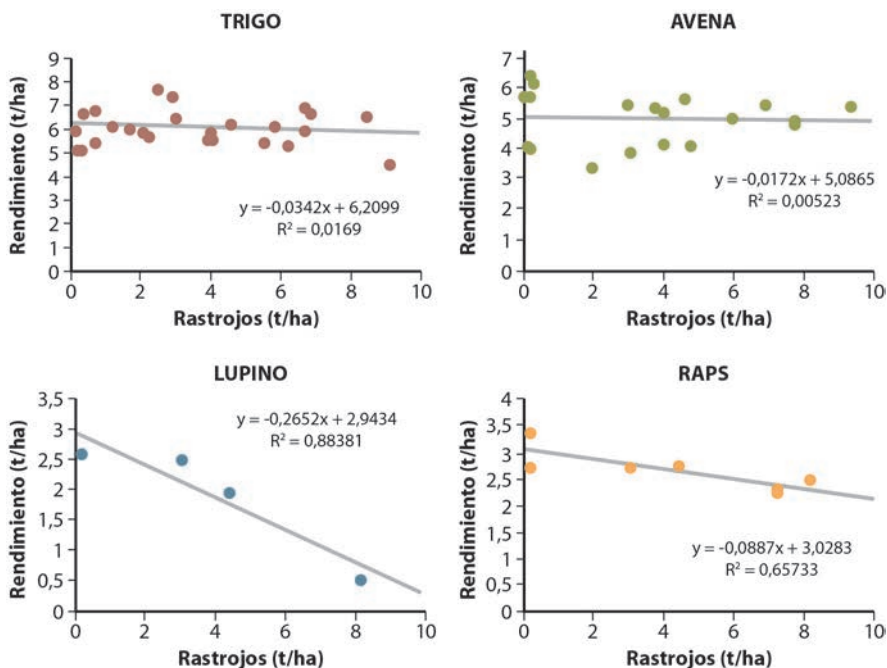


Figura 3.3. Relación entre el rendimiento de trigo, avena, lupino y raps, y la cantidad de rastrojos presentes sobre el suelo.
Fuente: Vidal y Troncoso, 2003.

El rastrojo en descomposición genera compuestos químicos (aleloquímicos) que podrían afectar el establecimiento del siguiente cultivo en la rotación. Los residuos de cereales de invierno (avena, trigo, cebada, centeno) tienen una lenta descomposición durante el verano por la falta de humedad; durante las primeras lluvias del otoño el proceso de descomposición se acelera y se liberan los aleloquímicos. Estos compuestos son lixiviados al suelo provocando problemas de emergencia y muerte de plántulas del siguiente cultivo en la rotación. Este problema disminuye en la medida que la descomposición de residuos y la

liberación de aleloquímicos se acelera antes de la siembra del próximo cultivo (Silva, 2007). Un ejemplo de esto se aprecia en la Figura 3.4., donde a un mayor nivel de precipitación sobre el residuo se logra un mayor establecimiento de lupino.

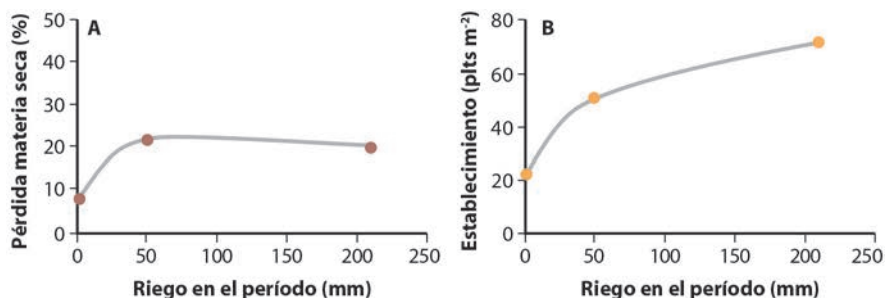


Figura 3.4. Descomposición de rastrojo medida como pérdida de materia seca (A) y establecimiento de lupino (B) en distintos niveles de riego en el periodo previo a la siembra.

Los cultivos pueden mejorar las propiedades físicas de suelo, sin embargo en labranza convencional este efecto no es tan importante, debido a que la inversión y mullimiento del suelo son los factores con mayor efecto sobre estas propiedades. En cambio, en cero labranza el efecto de los cultivos es mayor, siendo la raíz el principal agente estructurante de suelo, junto con los residuos dejados en la superficie (Martins *et al.*, 2009; Milleret *et al.*, 2009). Las raíces estabilizan los agregados del suelo (Hallet *et al.*, 2009), al atrapar partículas (Martins *et al.*, 2009; Milleret *et al.*, 2009), o al exudar compuestos mucilaginosos (Martins *et al.*, 2009; Tracy *et al.*, 2011), alterando con esto la resistencia a la penetración y la densidad aparente del suelo. Una vez que las raíces se degradan dejan en el suelo canales que provocan un aumento en la porosidad total y en la conductividad hidráulica (Huang *et al.*, 2012).

Se realizó un ensayo de secano (aproximadamente 250 mm de precipitación anual, Santiago) en un suelo aluvial de textura franco arcillo arenosa, con el objetivo de evaluar los cambios en la propiedades físicas del suelo asociado a la rotación de cultivos en cero labranza. Las rotaciones fueron trigo con arveja, haba, raps y monocultivo de trigo, donde cada fase de la rotación estuvo presente todos los años teniendo a la fecha 5 años de información.

En cada rotación el cultivo fue cosechado y el residuo fue picado y dejado sobre el suelo, el cultivo de trigo se manejó con y sin nitrógeno para evaluar el efecto de la fijación simbiótica de las leguminosas sobre el cultivo de trigo. Al igual que lo observado en labranza convencional, en esta condición de secano árido ocurrió un efecto contraproducente de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de trigo, una reducción del 29% (Cuadro 3.10.), debido probablemente a un mayor crecimiento del cultivo durante el periodo de invierno que provocó un mayor consumo de agua a inicios de la primavera y un déficit hídrico más temprano en la temporada (“haying-off”) (Angus y van Herwaarden, 2001).

Sólo cuando no se aplicó nitrógeno se observó una mayor rendimiento de trigo en la rotación con leguminosas (15% mayor) que la rotación raps-trigo o el monocultivo de trigo (Cuadro 3.9.).

Cuadro 3.9. Rendimiento de trigo candeal (t/ha) bajo labranza convencional en condiciones de secano (250 mm anuales, Santiago).

Rotación	2010	2011	2012	2013	2014	Promedio
Arveja - trigo (sin N)	2,20	3,25	3,42	1,28	1,84	2,40
Haba - trigo (sin N)	2,40	3,33	3,14	1,87	1,74	2,50
Raps - trigo (sin N)	2,49	2,91	1,78	1,44	1,56	2,04
Trigo - trigo (sin N)	2,63	3,59	2,35	1,13	1,40	2,22
Arveja - trigo (con N)	0,98	2,38	2,49	1,07	1,39	1,66
Haba - trigo (con N)	1,49	1,94	2,53	0,83	0,99	1,56
Raps - trigo (con N)	1,44	2,04	2,13	0,85	1,66	1,62
Trigo - trigo (con N)	1,79	2,62	2,33	0,53	1,28	1,71

El mayor rendimiento de trigo después de una leguminosa se explica principalmente por la capacidad de fijar nitrógeno de las leguminosas, beneficio que se evidenció cuando el N fue limitante. El menor rendimiento de trigo después de raps tiene una causal diferente al menor rendimiento observado en el monocultivo. En cero labranza se observa una mayor compactación de suelo que en labranza tradicional (Figura 3.5.), la cual se acentúa en la rotación raps-trigo con valores sobre 3000 kPa de resistencia a la penetración. Según Taylor y Brar (1991) y Shoeneberger *et al.* (2002) a partir de 2000 kPa se produce un inadecuado crecimiento de las raíces. Esta situación no ocurre en el monocultivo de trigo posiblemente debido

a que es un cultivo con mayor densidad de raíces y mayor densidad de plantas (Fuentes *et al.*, 2009). El menor rendimiento del monocultivo puede deberse a problemas sanitarios.

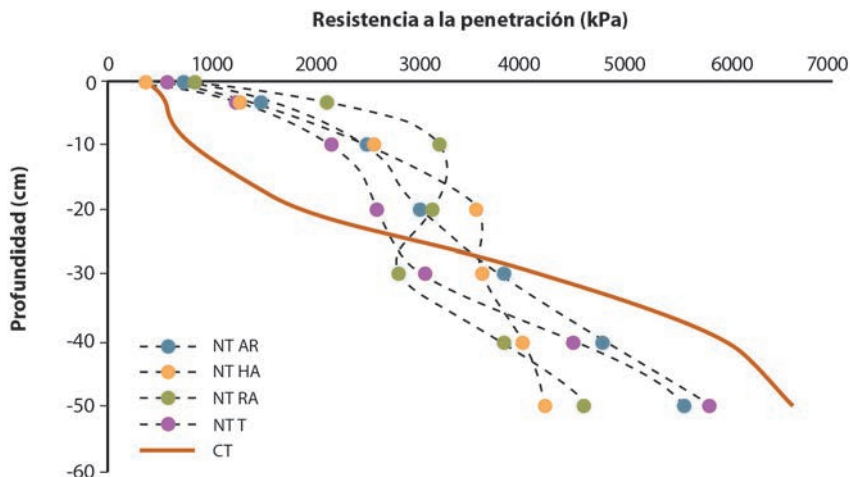


Figura 3.5. Efecto de la rotación de cultivos en la resistencia a la penetración de suelo en un sistema de labranza cero.

Simbología. (NT AR: cero labranza arveja-trigo; NT HA: cero labranza haba-trigo; NT RA: cero labranza raps-trigo; NT T: cero labranza monocultivo de trigo) y efecto de la labranza convencional (CT).

En otro experimento hecho bajo condiciones de riego con 7 años en cero labranza en la misma Estación Experimental (Universidad de Chile, Santiago), las rotaciones estudiadas fueron barbecho-trigo, barbecho-raps-trigo y maíz-trigo (Shertzer, 2013).

En esta zona es común que el trigo se rote con maíz, sin embargo el Cuadro 3.10. muestra que esta rotación provoca una reducción del rendimiento de trigo candeal del 24% comparada con una rotación barbecho-trigo o barbecho-raps-trigo, reducción incluso mayor a la observada en labranza convencional (14%) (Cuadro 3.6.). Posiblemente la mayor compactación del suelo que ocurre en cero labranza, unido a una reducción de la velocidad de infiltración del agua (Martínez *et al.*, 2008) pudieron incrementar el daño en trigo por hipoxia y/o enfermedades radiculares.

Cuadro 3.10. Rendimiento de trigo candeal (t/ha) bajo labranza cero en Santiago.

Rotación	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Promedio
Barbecho - raps - trigo	5,56	4,49	4,64	3,84	3,70	6,68	4,82
Barbecho – trigo	6,54	3,75	3,94	3,88	4,85	5,35	4,72
Maíz – trigo	5,37	3,34	2,09	2,70	3,18	5,16	3,64

Adaptado de Shertzer, 2013.

3.3. Literatura citada

Angus, J.F., and A.F. van Herwaarden. 2001. Increasing water use and water use efficiency in dryland wheat. *Agronomy Journal* 93:290-298.

Apablaza, G. 1999. Patología de los cultivos. Epidemiología y control holístico. 347 p. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

Ayad, J., A. Al-Abdallat, and H. Saoub. 2010. Variation in root water and nitrogen uptake and their interactive effects on growth and yield of spring wheat and barley genotypes. *International Journal of Botany* 6 (4):404-413.

Espinoza, S., C. Ovalle, E. Zagal, I. Matus, J. Tay, M.B. Peoples, and A. del Pozo. 2012. Contribution of legumes to wheat productivity in Mediterranean environments of central Chile. *Field Crops Research* 133:150-159.

Fuentes, M., B. Govaerts, F. De León, C. Hidalgo, L. Dendooven, K.D. Sayre, and J. Etchevers. 2009. Fourteen years of applying zero and conventional tillage, crop rotation and residue management systems and its effect on physical and chemical soil quality. *European Journal of Agronomy* 30:228-237.

Gardner, W.K., Barber, D.A., and Parbery. 1983. The acquisition of phosphorus by *Lupinus albus*. III. The probable mechanism by which movement in the soil/root interface is enhanced. *Plant and Soil* 70:107-124.

Hallet P., D. Feeney, A.G. Bengough, M. Rillig, C. Scrimgeour, and I. Young. 2009. Disentangling the impact of AM fungi versus root on soil structure and water transport. *Plant and Soil* 314(1-2):183-196.

Huang, G., Q. Chai, F. Feng, and A. Yu. 2012. Effects of different tillage systems on soil properties, root growth, grain yield, and water use efficiency of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in Arid Northwest China. *Journal of Integrative Agriculture* 11(8):1286-1296.

Karlen, D.L. Varvel, G.E., Bullock, D.G., and R.M. Cruse. 1994. Crop rotations for the 21st Century. *Advances in Agronomy* 53:1-45.

- Kirkegaard, J., O. Christen, J. Krupinsky, and D. Layzell. 2008.** Break crop benefits in temperate wheat production. *Field Crops Research* 107:185-195.
- Martínez, E., J.P. Fuentes, P. Silva, S. Valle, and E. Acevedo. 2008.** Soil physical properties and wheat root growth as affected by no-tillage and conventional tillage systems in a Mediterranean environment of Chile. *Soil & Tillage Research* 99:232-244.
- Martins, M., J. Cora, R. Jorge, and A. Marcelo. 2009.** Crop type influences soil aggregation and organic matter under no-tillage. *Soil and Tillage Research* 104(1):22-29.
- Mellado, M. 2003.** Rendimiento de trigo en monocultivo y sembrado después de centeno, triticale, cebada y lupino. *Tierra Adentro* 52:43-45.
- Mellado, M. 2006.** El trigo en Chile. Cultura, ciencia y tecnología. 684 p. Colección Libros INIA N°21. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile.
- Mellado, M., y R. Madariaga. 2003.** Avena, arveja y lenteja en rotaciones con trigo ¿Y si no aplicáramos nitrógeno?. *Tierra Adentro* 49:21-23.
- Mera, M., and J.L. Rouanet. 2003.** Contribución de las leguminosas de grano en rotación con cereales: una revisión. p. 135-156. En Acevedo, E. (ed). *Sustentabilidad en cultivos anuales: cero labranza, manejo de rastrojos*. Santiago, Chile.
- Milleret, R., R. Bayon, and J. Gobat. 2009.** Root, mycorrhiza and earthworm interactions: their effects on soil structuring processes, plant and soil nutrient concentration and plant biomass. *Plant and Soil* 316(1-2):1-12.
- Novoa, R., J. Carrasco, y J. García-Huidobro. 1995.** Efecto del cultivo anterior en los rendimientos trigo, papas, porotos, raps, soya, maravilla y maíz. *Tierra Adentro* 4:25-29.
- Peoples, M.B., H. Hauggaard-Nielsen, and E.S. Jensen. 2009.** The potential environmental benefits and risks derived from legumes in rotations. p. 349-385. In Emerich, D.W., Krishnan, H.B. (eds.). *Nitrogen Fixation in Crop Production*. Am. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Am., Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA.
- Rouanet, J.L., E. Acevedo, M. Mera, P. Silva, y S. Ferrada. 2005.** Rotaciones de cultivos y sus beneficios para la agricultura del sur. *Fundación Chile*, Santiago, Chile.
- Ryan, J., M. Singh, and M. Pala. 2008.** Long-term cereal-based rotation trials in the Mediterranean region: implications for cropping sustainability. *Advances in Agronomy* 97:273-319.

- Shertzer, G. 2013.** 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 Magíster en Ciencias Agropecuarias, Mención en Producción de Cultivos. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Shoeneberger, P.J., D.A. Wysocky, E.C. Benham, and W.D. Broderson. 2002.** Field book for describing and sampling soils. Version 2.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, Nebraska, USA.
- Silva, P. 2007.** Cero labranza: Alelopatía del rastrojo de trigo sobre lupino. 99 p. Tesis para optar al grado Académico de Doctor en Ciencias Silvoagropecuarias y Veterinarias. Universidad de Chile; Santiago, Chile.
- Taylor, H.M., and G.S. Brar. 1991.** Effect of soil compaction on root development. Soil and Tillage Research 19:111-119.
- Tracy, S., C. Black, J. Roberts, and S. Mooney. 2011.** Soil compaction: a review of past and present techniques for investigating effects on root growth. Journal of the Science of Food and Agriculture 91(9):1528-1537.
- Unkovich, M.J., J. Baldock, and M.B. Peoples. 2010.** Prospects and problems of simple linear models for estimating symbiotic N₂ fixation by crop and pasture legumes. Plant Soil 329:75-89.
- Vidal, I., y H. Troncoso. 2003.** Manejo de rastrojos en cultivos bajo cero labranza. En E. Acevedo (ed.) Sustentabilidad en Cultivos Anuales: Cero Labranza, Manejo de Rastrojos. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago, Chile, Serie Ciencias Agronómicas N° 8. p. 57-82.
- Vlek, P., R. Fillery, and J. Burford. 1981.** Accession, transformation and loss of nitrogen in soils of the arid region. Plant and Soil 58:133-175.