



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

RASTROJOS DE CULTIVOS Y RESIDUOS FORESTALES

Programa de Transferencia de Prácticas Alternativas
al Uso del Fuego en la Región del Biobío



ISSN 0717-4829

Editor
Carlos Ruiz Sánchez

Ministerio de Agricultura
Instituto de Investigaciones Agropecuarias
Centro Regional de Investigación Quilamapu
Chillán, 2015.

BOLETÍN INIA N° 308



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

RASTROJOS DE CULTIVOS Y RESIDUOS FORESTALES

Programa de Transferencia de Prácticas Alternativas
al Uso del Fuego en la Región del Biobío

Editor

CARLOS RUIZ S.



Centro Regional de Investigación Quilamapu

Chillán, Chile, 2015.

ISSN 0717-4829

BOLETÍN INIA Nº 308

Editor general
Carlos Ruiz S.
Ingeniero agrónomo, DEA.

Director Regional INIA
Rodrigo Avilés Rodríguez

Edición de textos
Hernán Riquelme R.

Boletín INIA N° 308

Este boletín fue editado por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional Quilamapu.

Permitida su reproducción total o parcial, citando la fuente y editor.

Cita bibliográfica correcta:

Ruiz, S. 2015. Rastrojo de Cultivos y Residuos Forestales, Programa de Transferencia de Prácticas Alternativas al Uso del Fuego en la Región del Biobío. Boletín INIA N° 308, 196 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chillán, Chile.

Diseño y diagramación:
Ricardo González Toro

Impresión:
Impresora La Discusión S.A.

Chillán, mayo de 2015.

CONSULTORES TÉCNICOS DE CAPÍTULOS

- CAPÍTULO 1** **Claudio Pérez C.**, Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Ph.D.
INIA Kampenaike.
- CAPÍTULO 2** **Marco Sandoval E.**, Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Dr.Cs.
Universidad de Concepción.
- CAPÍTULO 3** **Pablo Undurraga D.**, Ingeniero Agrónomo, M.Sc..
INIA Quilamapu.
- CAPÍTULO 4** **Edmundo Hetz H.**, Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Ph.D.,
Consultor privado.
- CAPÍTULO 5** **Juan Hirzel C.**, Ingeniero Agrónomo, Dr.
INIA Quilamapu.
- CAPÍTULO 6** **Dalma Castillo R.**, Ingeniero Agrónomo, Dr.
INIA Quilamapu.
- CAPÍTULO 7** **Nelson Espinoza N.**, Ingeniero Agrónomo, M.Sc.
INIA Carillanca.
- CAPÍTULO 8** **Ricardo Ceballos C.**, Dr. Cs.
INIA Quilamapu.
- CAPÍTULO 9** **Germán Klee G.**, Ingeniero Agrónomo,
Consultor Privado.
- CAPÍTULO 10** **Jorge Cancino C.**, Ingeniero Forestal, Dr.
Universidad de Concepción.
- CAPÍTULO 11** **Abelardo Villavicencio P.**, Ingeniero Agrónomo, Mg. Sc.
INIA Quilamapu.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis sinceros agradecimientos a los autores de capítulos y consultores técnicos de este boletín, cuya contribución permite entregar a la comunidad agrícola y forestal de la región y del país información actualizada sobre el manejo sin quema de rastrojos y residuos forestales. Asimismo, deseo dejar expresa constancia y agradecer el apoyo y predisposición de agricultores y productores forestales de la Región del Biobío, que con espíritu propositivo, han contribuido a adaptar y difundir soluciones alternativas a las quemas agrícolas y forestales. También deseo agradecer el aporte del Gobierno Regional de la Región del Biobío, a través de la Corporación Nacional Forestal, Conaf, por la iniciativa impulsada que ha permitido la publicación de este Boletín.

El editor

ÍNDICE

PRÓLOGO	9
Capítulo 1 RASTROJOS DE CULTIVOS ANUALES Y RESIDUOS FORESTALES	11
Capítulo 2 RELEVANCIA DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO	31
Capítulo 3 ROTACIÓN DE CULTIVOS	49
Capítulo 4 MANEJO DE RASTROJOS DE CEREALES	69
Capítulo 5 FERTILIZACIÓN DE CULTIVOS CON MANEJO DE RASTROJOS	85
Capítulo 6 RASTROJOS Y SU RELACIÓN CON LAS ENFERMEDADES DEL TRIGO	107
Capítulo 7 MANEJO DE MALEZAS EN CULTIVOS ANUALES ESTABLECIDOS SOBRE RASTROJOS	121
Capítulo 8 PLAGAS ASOCIADAS A MANEJO DE RASTROJOS	137
Capítulo 9 USO DE PAJAS DE CEREALES EN ALIMENTACIÓN DE VACUNOS	143
Capítulo 10 RESIDUOS DE LA COSECHA FORESTAL: APROVECHAMIENTO	159
Capítulo 11 TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA DE PRÁCTICAS ALTERNATIVAS AL USO DEL FUEGO	173



PRÓLOGO

En los últimos 30 años se ha venido generando en Chile una creciente preocupación por la conservación de los recursos naturales, donde la contaminación ambiental, la conservación de los suelos, los incendios de pastizales y de bosques, y las quemadas registradas de rastrojos agrícolas y residuos forestales, han tenido especial atención de la sociedad.

Con el objeto de promover prácticas alternativas a la quema de los rastrojos agrícolas y residuos de la cosecha forestal, y transformar la utilización de estos recursos en una fuente generadora de bienes útiles para el conjunto de la sociedad, la Corporación Nacional Forestal (Conaf), con recursos provenientes del Gobierno de la Región del Biobío, ejecutó entre los años 2012 y 2015 el Programa de Prácticas Alternativas al Uso del Fuego, a través del Centro Regional de Investigación Quilamapu del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).

Las quemadas registradas por Conaf en Chile durante el periodo julio 2013 – junio 2014 alcanzaron las 243.788 hectáreas (ha) de origen agrícola y 9.578 ha de residuos de origen forestal, mientras que en la Región del Biobío, en el mismo periodo, se registraron 57.211 ha de origen agrícola y 4.041 ha de origen forestal, cifras que en su conjunto representan el 24 % del total de superficie de quemadas registradas del país. Cabe señalar que en el mismo período, se registraron en Chile 17.800 avisos de quemadas, de las cuales un 27 % correspondieron a la Región del Biobío, constituyéndose en la región con mayor número de registros de avisos de quemadas del país.

Este boletín entrega una actualización de los conocimientos existentes sobre el manejo de rastrojos y residuos forestales, que permite contar con una

alternativa para evitar las quemas. En el ámbito de los rastrojos agrícolas estos conocimientos han sido generados por las universidades (de Chile y de Concepción, principalmente), y el INIA.

Es importante mencionar que en el manejo de los rastrojos agrícolas sin quema, algunos agricultores innovadores han hecho notables aportes y están liderando la introducción de nuevas tecnologías.

El contenido de este boletín se presenta en 11 capítulos, estructurados en un capítulo introductorio sobre disponibilidad de rastrojos, residuos forestales y los efectos de las quemas, luego se analiza la relevancia de la materia orgánica, la importancia de la rotación de los cultivos, el manejo de rastrojos, la fertilización de cultivos con manejo de rastrojos, los rastrojos y su relación con las enfermedades, manejo de malezas en cultivos anuales establecidos sobre rastrojos, plagas asociadas a manejo de rastrojos, uso de pajas de cereales en alimentación de vacunos, residuos de la cosecha forestal, y finalmente se entrega un apretado resumen de las principales actividades desarrolladas con productores en el programa.

Al analizar la información que se entrega, se comprueba que se ha realizado un valioso avance técnico en el tema de manejo de los rastrojos y residuos forestales sin quema. Sin embargo, para seguir avanzando, es necesario contar con nuevos conocimientos que permitan consolidar sistemas de manejo sin uso del fuego que confieran mayor seguridad a los productores en cada una de las áreas y micro áreas agroecológicas de la Región del Biobío.

Jorge Morales Gamboni
Director Regional Conaf
Región del Biobío

Rodrigo Avilés Rodríguez
Director Regional INIA Quilamapu

RASTROJOS DE CULTIVOS ANUALES Y RESIDUOS FORESTALES

Carlos Ruiz S.

Ingeniero Agrónomo, D.E.A

Michael Wolff

Ph.D. Suelos y Biogeoquímica

Marcelino Claret M.

Dr. Cs. Ambientales

Investigadores INIA Quilamapu

1

Se denomina rastrojo a todo el residuo que queda en el potrero después de la cosecha de los cultivos, incluidos restos de malezas. La producción de rastrojos se puede obtener estimando la producción de pajas, que se refiere a todos los restos de la estructura de la planta una vez cosechados los granos. La producción de paja está relacionada con la producción de granos; a mayor cantidad de granos, mayor cantidad de pajas.

Actualmente, y debido al gran volumen de producción de paja de los cultivos de cereales, se utiliza la práctica de quema de los rastrojos, para facilitar el establecimiento del cultivo que sigue en la rotación. Sin embargo, esta práctica que presenta ciertos beneficios, está siendo cuestionada debido a que los avances científicos han puesto en evidencia que las quemaduras de los rastrojos y residuos forestales generan daño, por la contaminación atmosférica y las pérdidas de suelo, que al quedar desprotegido sufre la acción erosiva de las aguas lluvias. Esto a su vez disminuye el contenido de materia orgánica, componente esencial de los suelos para mantener su productividad. En consecuencia, las quemaduras de los rastrojos y residuos forestales son el punto de partida de un importante proceso de empobrecimiento y pérdida del suelo y de la contaminación atmosférica.

En este capítulo se analiza la producción y destino de pajas de cereales en Chile, y en particular en la Región del Biobío. Asimismo, se analizan los aspectos favorables y desfavorables que generan las quemaduras agrícolas. Finalmente se entregan alternativas de uso de las pajas, a los productores de la región, y que fueron

seleccionadas en el marco del proyecto “Ejecución programa de transferencia de prácticas alternativas al uso del fuego” que inició INIA Quilamapu el año 2012, en convenio con Conaf y con fondos provenientes del Gobierno Regional del Biobío.

1.1. Producción de paja

La cantidad de paja producida por un cultivo es muy variable, y depende del tipo de suelo del área agroecológica, del manejo del cultivo, de la variedad utilizada y del rendimiento, por lo que existen fluctuaciones en los niveles de producción de acuerdo a las áreas agroecológicas. La cantidad de paja producida puede ser calculada en función de su índice de cosecha (IC); este índice se obtiene de la relación entre el peso del grano y el peso total de la planta a la madurez sin considerar las raíces. Este índice puede variar de acuerdo a la zona, variedad y manejo del cultivo.

Índice de cosecha (IC) = Peso del grano/Peso total planta excepto raíces

En el Cuadro 1.1. se presentan los principales cultivos del país y sus rendimientos estimados para la temporada agrícola 2013/2014. Utilizando un índice de cosecha de referencia, se estimó para cada cultivo la producción de paja por hectárea, tanto a nivel nacional como de la Región del Biobío. Para el cálculo se utilizó la siguiente relación:

Producción de paja (t/ha) = Producción de grano (t/ha) x (1-IC)/IC

La producción más alta de paja por hectárea a nivel nacional la produce el maíz de consumo con 14,2 t/ha. Le sigue el triticale con 12,9 t/ha, y luego el trigo candeal con 8,0 t/ha. La estimación de la cantidad de paja es muy importante para planificar el manejo que se dará a los rastrojos cuando se desea cultivar sin quemarlos.

Cuadro 1.1. Estimación de la producción nacional de paja de los principales cultivos anuales de Chile. Temporada 2013/2014. (Odepa, 2015).

Cultivo	Superficie (ha)	Rendimiento (qqm/ha)	Índice de cosecha	Paja (t/ha)	Producción paja país (t)
Trigo harinero	236.122	52,3	0,45 ¹	6,4	1.510.779
Trigo candeal	18.735	65,1	0,45 ²	8,0	149.156
Avena	136.339	44,7	0,37 ³	7,6	1.038.522
Cebada cervecera	12.289	56,4	0,45 ¹	6,9	84.717
Maíz consumo	92.378	120,8	0,46 ¹	14,2	1.309.773
Maíz semilla	25.040	28,1	0,46 ¹	3,3	82.638
Arroz	22.398	60,2	0,44 ¹	7,7	171.609
Triticale	20.134	51,5	0,29 ²	12,9	258.847
Poroto	14.670	12,3	0,33 ⁵	2,5	36.635
Lenteja	1.061	5,3	0,37 ¹	0,9	948
Raps	37.486	36,4	0,28 ⁴	9,4	350.565
Lupino dulce	6.508	13,8	0,38 ¹	2,3	14.651
Total	623.160	--	--	--	5.008.840

*Fuente: ¹Acevedo E., 2003; ²Mellado M., 2008; ³Rouanet M., 2006; ⁴Escobar M., 2010; ⁵Tay J., comunicación personal.

En la Región del Biobío, la mayor producción de paja estimada para la temporada 2013 – 2014, corresponde al trigo harinero con 463.144 t, le sigue la avena con 203.429 t, el maíz consumo con 203.362 t y el raps con 59.572 t (Cuadro 1.2.).

Cuadro 1.2. Estimación de la producción regional de paja de los principales cultivos anuales en la Región del Biobío. Temporada 2013/2014.

Cultivo	Superficie (ha)	Índice de cosecha	Rendimiento (qqm/ha)	Paja (t/ha)	Paja Región Biobío (t)
Trigo harinero	74.011	0,45	51,2	6,3	463.144
Trigo candeal	9.320	0,45	65,9	8,1	75.067
Avena	30.556	0,37	39,1	6,7	203.429
Cebada cervecera	1.309	0,45	55,9	6,8	8.943
Maíz consumo	14.582	0,46	118,8	13,9	203.362
Maíz semilla	3.333	0,46	33,4	3,9	13.068
Arroz	4.995	0,44	59,6	7,6	37.889
Triticale	2.457	0,29	58,4	14,3	35.130
Poroto	4.382	0,33	12,9	2,6	11.477
Lenteja	523	0,37	6	1,0	534
Raps	6.774	0,28	34,2	8,8	59.572
Total	152.342	--	--	--	1.111.617

Fuente: Elaborado por autores con información Odepa 2015 y Conaf 2015.

1.2. Quema de Rastrojos y Residuos Forestales

La quema de los rastrojos se realiza con el propósito de eliminar los elevados volúmenes de paja que producen los cereales, y otros cultivos, facilitando de este modo el establecimiento del cultivo siguiente. Se citan como ventajas adicionales que la quema de los rastrojos corta el ciclo de enfermedades que afectan a los cultivos, elimina parte de las semillas de malezas que se encuentran sobre el suelo, deja disponible en forma inmediata una parte de los nutrientes provenientes de las pajas para el cultivo siguiente, y finalmente el manejo de los rastrojos mediante la quema es de bajo costo.

Como desventajas se indica que deja el suelo descubierto al inicio de la temporada de lluvias, facilitando el proceso de erosión hídrica y degradación de los suelos; además se emite a la atmósfera una gran cantidad de compuestos como gases de efecto invernadero, gases tóxicos, y material particulado dañino para la salud humana. Adicionalmente, durante el proceso de la quema se libera una importante cantidad de energía que en el futuro podrá ser aprovechada para generar calor o electricidad. Asimismo, la quema de rastrojos afecta negativamente la fauna y la microflora del suelo, debido a la disminución de ingresos de materia orgánica al suelo, que es la principal fuente de alimento y energía para estos organismos; generalmente la pérdida de materia orgánica está asociada con bajos niveles de nutrientes en el suelo.

En relación a los aspectos legales, el uso regulado del fuego en Chile se inició el año 1980, como una consecuencia del gran número de incendios forestales que se producía debido a las quemas de desechos agrícolas y forestales. El Decreto Supremo N° 276 sobre roce a fuego del Ministerio de Agricultura, es un Reglamento del Decreto Supremo N° 4363 de Junio de 1931 del Ministerio de Tierras y Colonización que contiene el texto refundido de la Ley de Bosques.

En esta normativa legal se señalan los objetivos para los cuales se podrá usar el fuego. Se define el concepto de quema controlada y se señalan los procedimientos y gestiones a realizar para efectuar esta práctica. Se faculta a Conaf para publicar un calendario de quemas, estableciendo fechas y horas, y se establecen procedimientos para la fiscalización y el control del uso del fuego reconociendo la existencia de responsabilidades civiles y legales al infringir el D.S. N° 276.

De acuerdo con antecedentes de Conaf, en Chile en el periodo julio 2013 a junio 2014 se quemaron 243.788 ha de rastrojos de origen agrícola y 9.578 ha de residuos de origen forestal. En la Región del Biobío, en el mismo periodo se quemaron 57.210 ha de origen agrícola, 4.041 ha de origen forestal, estas cifras en su conjunto representan el 24,2% del total de superficie de quemas del país. (Cuadro 1.3.). En el país se realizaron 17.800 quemas en el mismo periodo, de las cuales un 27,4% se realizaron en la región del Biobío, constituyéndose en la región con mayor porcentaje de quemas; luego le sigue la Región de la Araucanía con 3.369 quemas y la Región de O'Higgins con 2.142 quemas en el mismo periodo.

Cuadro 1.3. Quema (ha) de residuos agrícolas y forestales en Chile. Periodo julio 2013 a julio 2014.

Región	Agrícolas	Forestales
De Atacama	341	0
De Coquimbo	594	6
De Valparaíso	1.805	322
Del Libertador Bernardo O'Higgins	11.538	216
Del Maule	9.412	1.669
Del Biobío	57.210	4.041
De La Araucanía	136.854	2.424
De Los Ríos	8.203	64
De Los Lagos	13.651	102
De Aysén	1.674	575
De Magallanes y Antártica chilena	5	45
Metropolitana de Santiago	2.501	113
Total	243.788	9.578

Elaborado por autores en base a información de Conaf.

En la Región del Biobío, la provincia de Ñuble concentra el 67% de la superficie de las quemas. Le sigue la provincia del Biobío con el 31% y las provincias de Arauco y Concepción que representan aproximadamente un 4% (Cuadro 1.4.).

De acuerdo a la división de áreas homogéneas de Odepa y la información de superficie y rendimiento de trigo del Censo Agropecuario 2007, se estima que en la provincia de Ñuble el 72% de la paja de trigo se produce en la depresión intermedia y 24% en la precordillera andina, por lo que estas zonas son prioritarias para establecer estudios de prácticas alternativas a la quema de rastrojos. En

base a la información anterior se determinó que los agricultores con menos de 100 ha concentran el 58% de la producción de paja de trigo en la depresión intermedia y en la precordillera solo concentran el 31%.

Cuadro 1.4. Quemadas de residuos agrícolas y forestales, por provincias, en la Región del Biobío, Chile. Periodo julio 2013-junio 2014.

Provincia	Agrícola, ha	Forestal, ha
Concepción	309	397
Arauco	851	1.380
Bio-bío	16.395	951
Ñuble	39.656	1.313
Total	57.211	4.041

Elaborado por autores en base a información de Conaf.

Las comunas, por provincia, donde se realizaron más quemadas agrícolas en la Región del Biobío en el periodo julio 2013-junio 2014 fueron: Cañete en la provincia de Arauco con 822 ha; Mulchén con 4.628 ha, Tucapel con 2.989 ha, Los Ángeles con 924 ha y Quilleco con 839 ha, en la provincia de Biobío. En la provincia de Ñuble destacan las comunas de El Carmen con 4.094 ha, Yungay con 3.506 ha, Coihueco con 3.074 ha, Pinto con 2787 ha, Pemuco con 2.379 ha, San Carlos con 1.492 ha, Bulnes con 1.203 ha y Chillán Viejo con 1.186 ha.

En la Región del Biobío por medio de la quema se eliminan distintas clases de residuos. En base a una muestra de 37.450 ha registradas en el periodo julio 2012-junio 2013 las quemadas de rastrojos de trigo representaron un 78,8% de la superficie sometida a quema en la región, Conaf (Cuadro 1.5.).

Cuadro 1.5. Superficie (ha) de quema por clase en las provincias de la Región del Biobío, Chile. Julio 2012-Junio 2013.

Clase de quema	Ñuble	Concepción	Biobío	Arauco	Total
Desechos de podas agrícolas	27	6	3	2	38
Rastrojos de cebada	256	0	0	4	260
Rastrojos de maíz	936	0	356	0	1.291
Otros rastrojos	1.634	2	939	124	2.698
Rastrojos de trigo	20.360	19	8.500	506	29.384
Desechos explotación eucalipto	5	3	100	91	199
Desechos podas y raleos de Pino insigne	0	11	9	5	25
Desechos explotación Pino insigne	178	94	240	54	566
Desechos podas y raleos Otras especies	0	0	0	0	0
Especies vegetales en plantaciones forestales	11	0	5	0	16
Ramas y material leñosos en terrenos agrícolas	286	122	718	171	1.297
Rastrojos de lupino o raps	265	0	533	2	800
Vegetación en terrenos forestales	49	12	37	30	128
Vegetación viva en terrenos agrícola	419	3	256	71	749
Total, ha.	24.423	272	11.695	1.060	37.450

Elaborado por autores en base a información de Conaf.

1.3. Efecto de las Quemadas

1.3.1. Composición de la atmósfera terrestre

La atmósfera, que es la capa gaseosa que rodea la tierra, es esencial para el desarrollo de la vida, por cuanto contiene el oxígeno para los procesos de respiración y el anhídrido carbónico, CO₂, que es esencial para captar la energía del sol por medio de la fotosíntesis de los vegetales. La práctica de quemar los residuos o rastrojos de cultivos incide directamente en todos los componentes del ambiente, es decir, seres vivos, suelos, agua y también aire. Los principales gases de la atmósfera terrestre se presentan en el Cuadro 1.6.

Cuadro 1.6. Principales gases de la atmósfera terrestre.

Gases	Símbolo químico	Porcentaje, %
Nitrógeno	N ₂	78,080
Oxígeno	O ₂	20,944
Argón	Ar	0,930
Dióxido de carbono	CO ₂	0,042
Metano	CH ₄	0,00018
Óxido nitroso	N ₂ O	0,000033
Otros gases		0,0038

Fuente: Pidwirny, M. 2006.

1.3.2. Gases efecto invernadero

Los gases de efecto invernadero (GEI) son gases que atrapan la radiación emitida por la tierra, que históricamente han estado en una suerte de equilibrio entre consumo y producción, manifestándose como una concentración atmosférica relativamente constante. Las concentraciones de estos gases han venido incrementándose durante el último siglo, como consecuencia, fundamentalmente del aumento de consumo de combustibles fósiles (mayor parte de CO₂) y de la productividad del sector silvoagropecuario (CH₄ y N₂O). Estos últimos dos contribuyen más de 25% del efecto invernadero (EDGAR, 2011).

La quema de residuos agrícolas contribuye al aumento de producción de GEI, exportando carbono del suelo a la atmosfera en la forma de anhídrido carbónico, CO₂. Un efecto menos conocido, pero también muy importante, es que la quema también genera otros gases de efecto invernadero; el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O). Cabe hacer notar que el carbono (C) y nitrógeno (N) que forman parte de estos gases son esenciales para las unidades básicas de las plantas.

Una estimación de los GEI producidos por los cultivos más importantes de la Región del Biobío se presenta en el Cuadro 1.7. Las emisiones por hectárea asumen quema de rastrojos con 10% humedad, 85% eficiencia de quema y coeficientes 0.07 y 2.7 para N₂O y CH₄ respectivamente (FAO, 2013). La información se presenta también en equivalentes de CO₂, para permitir comparación entre la quema de rastrojos de distintos cultivo. Un ejemplo que permite ilustrar la importancia de la emisión de estos gases, es considerar que un vehículo mediano emite 5 toneladas

de CO₂ cuando recorre 20.000 km (EPA, 2014). Esto equivale a la quema de residuos de 9 hectáreas en promedio. Nótese que el maíz emite más que el trigo, debido a que produce mayor biomasa.

Dióxido de carbónico (CO₂). El CO₂ se libera como elemento residual en la combustión de materia orgánica. Este gas ha recibido mucha atención en la opinión pública mundial, por cuanto es un gas con efecto invernadero, su presencia en la atmósfera evita en algún grado la disipación de calor de la tierra. Se afirma que el exceso de este gas en la atmósfera es de exclusiva responsabilidad humana, y su concentración se ha incrementado críticamente desde la era industrial hasta alcanzar niveles que generan un aumento progresivo de la temperatura media de la tierra, fenómeno conocido como calentamiento global. Bajo esta premisa, cualquier aumento de la concentración de este gas en la atmósfera, como los generados por las quemas de rastrojos, contribuye a producir un mayor calentamiento de la tierra.

Metano (CH₄). El metano (CH₄) es también un gas efecto invernadero de mayor efecto por molécula que el CO₂. Se menciona menos pero de la misma manera que el CO₂, es producido en la combustión de rastrojos. Es emitido por la ganadería, directamente por rumiantes e indirectamente por manejo de estiércoles.

Óxido Nitroso (N₂O). También es menos conocido que el CO₂, pero es un GEI importante en la agricultura, ya que se emite por el uso de fertilizantes basados en nitrógeno, el manejo de estiércol, y en las quemas. Estas moléculas atrapan radiación con alta eficiencia y duran más que un siglo en la atmósfera. Por lo tanto, una pequeña cantidad emitida puede causar serios daños.

Cuadro 1.7. Producción de paja y estimación de la emisión de gases de efecto invernadero emitidos por la quema anual de rastrojos en la Región del Biobío.

Clase de quema	Paja (t/ha)	Óxido nitroso N ₂ O (t/ha)	Metano CH ₄ (t/ha)	N ₂ O, equiv. a CO ₂ (t/ha)	CH ₄ , equiv. a CO ₂ (t/ha)
Rastrojos de trigo harinero	6,3	0.0003	0.0130	0.10	0.27
Rastrojos de maíz p/consumo	13,9	0.0007	0.0287	0.23	0.60
Rastrojo de raps	8,8	0.0005	0.0182	0.15	0.38
Rastrojos de cebada	6,8	0.0004	0.0140	0.11	0.29
Otros rastrojos	6,3	0.0003	0.0130	0.10	0.27

1.3.3. Emisiones contaminantes de gases y material particulado

Además de los gases efecto invernadero, las quemas de los rastrojos agrícolas y residuos forestales generan emisiones de gases contaminantes y material particulado, que son la preocupación más inmediata en salud humana. Aunque las fuentes de contaminación del aire más conocidas son el transporte, las industrias, las chimeneas y las estufas, la agricultura a través de las quemas es también una fuente importante de contaminación del aire. En Chile existe escasa información publicada respecto de la contaminación del aire producido por quemas agrícolas. Utilizando datos publicados por Taladriz y Schwember (2012) se estimó la emisión de gases contaminantes liberados y material particulado producidos por la quema de rastrojos en la Región del Biobío (Cuadro 1.8.).

Cuadro 1.8. Estimación de emisión de gases contaminantes y material particulado producido por la quema de 29.384 ha de rastrojos de trigo en la Región del Biobío, Chile.

Algunos gases liberados en las quemas	kg/ha	Total liberados (t)
Monóxido de carbono (CO)	360	10.578
Compuestos nitrogenados (NO ₂)	13,5	397
Hidrocarburos*	63	1.851
Material particulado	45	1.322

*Dhammapala, R., Claiborn, C., Corkill, J., & Gullett, B. (2006).

Compuestos nitrogenados (NO_x). Los compuestos nitrogenados incluyen el óxido nitroso (N₂O), pero las principales formas son el NO y el NO₂. La exposición a esta clase de gases puede causar problemas de salud en el corto y largo plazo. Los NO_x al combinarse con agua se transforman en ácido nítrico, provocando lluvias y neblinas ácidas que dañan el ambiente.

Compuestos de azufre (SO_x). Existen varias formas pero son conocidos principalmente por los efectos del bióxido de azufre (SO₂), que produce smog donde se quema el carbón. En contacto con agua, puede transformarse en ácido sulfúrico, produciendo lluvia y neblina ácida. En quemas agrícolas, la mayoría del azufre contenido en los rastrojos se puede perder al aire, resultando en la emisión de gases compuestos de azufre. Estos se quedan en la atmosfera por semanas, hasta que reaccionan con humedad y precipitan con la lluvia. Mientras están en el aire causan problemas de respiración y enfermedades cardiovasculares.

Monóxido de carbono (CO). La combustión incompleta de los rastrojos produce gran cantidad de CO (Cuadro 8). El CO es un gas muy tóxico para humanos, que puede ocasionar la muerte por asfixia en pocos minutos. Esto se debe a que nuestro organismo, y específicamente la hemoglobina de la sangre, tienen gran afinidad por el CO, que reemplaza al oxígeno. En sitios abiertos esto es poco probable, pero los posibles efectos de este gas en el cuerpo humano siguen siendo un “primer riesgo” de las quemas agrícolas.

Smog fotoquímico. Cuando ocurre combustión de materia orgánica en días soleados, se produce smog fotoquímico, cuyo principal componente es el ozono (O_3). Si bien es cierto este gas es útil en las capas altas de la atmósfera, dado que nos protege de la radiación ultravioleta, en las capas bajas de la atmósfera, donde se puede respirar, es un fuerte irritante ocular y perjudicial para la salud humana al producir estados alérgicos, de asma y enfisemas, produciendo además daños a la vegetación. Los precursores de la formación de O_3 son los hidrocarburos no metánicos (NMHC) y los compuestos nitrogenados (NO_x), que también se producen en la combustión incompleta de rastrojos.

Hidrocarburos. Es una clase amplia de moléculas que incluye las dioxinas y furanos. Estos contaminantes se producen en procesos térmicos de combustión incompleta o en reacciones químicas complejas, que comprenden sustancias orgánicas con presencia de cloro. Tales condiciones se presentan en incendios o quemas de rastrojos de cultivos. Las dioxinas y furanos son compuestos muy estables, persistentes en el medio ambiente, y algunas de sus formas químicas son extremadamente tóxicas para humanos y animales. Además, son bioacumulables en los tejidos grasos de organismos vivos, y por lo tanto son biomagnificables, es decir, aumentan su concentración en la pirámide alimentaria, a medida que se asciende en ella.

Material particulado menor a 10 micrones (MP10). Las quemas de rastrojos originan material particulado microscópico de tamaño menor a 10 micrones (1 micrón es igual a la millonésima parte de 1 metro). Por su tamaño y bajo peso pueden permanecer suspendidos en la atmósfera por largos períodos después de las quemas, frecuentemente por varias semanas. Por su pequeño tamaño, estas partículas se inhalan y pasan directamente a los alvéolos pulmonares, donde se produce el intercambio de gases del organismo, pudiendo a la larga derivar en insuficiencias respiratorias y asma. Estos problemas se agravan,

especialmente en niños y gente mayor, durante la temporada de quema (Cançado *et al.*, 2006). Exposiciones prolongadas a este material pueden causar problemas cardiopulmonarios y varios tipos de cáncer (WHO, 2012).

Es importante comparar la quema de rastrojos con otra fuente importante de emisión de material particulado, como es el consumo de leña en casas. Se estima que Chile se consumen por año 15 millones de metros cúbicos de leña (Biblioteca del Congreso, 2012), con 2,2 millones de metros cúbicos en la Región del Biobío (Conaf, 2013). Asumiendo una densidad máxima de biomasa en esta leña de 4 t/m³, esto implica que aproximadamente 880.000 toneladas de leña son quemadas por año en la Región de Biobío. Del mismo modo, en el sector agrícola de la región se queman del orden de 360.000 toneladas de residuos por año (promedio de 6,3 t/ha de paja entre cultivos listados en Cuadro 1.2. multiplicado por 57.210 ha quemadas en 2013- 2014 en Región del Biobío (Cuadro 1.4.), situación que lleva a concluir que el 29% del material particulado de toda la región es aportado por la quemadas de residuos agrícolas. Además puede aumentar la participación del material particulado proveniente del sector agrícola, toda vez que a nivel de campo se produce una combustión incompleta, que puede emitir más material particulado por kilogramo de biomasa, si se le compara con estufas a leña (Satyendra *et al.*, 2013; Larson and Koenig, 1994).

1.3.4. Pérdida de nutrientes por acción de las quemadas

Además de la erosión por viento y agua, que pueden causar severas pérdidas de nutrientes después de las quemadas, las pérdidas de macronutrientes por efecto directo de la combustión de rastrojo también son altas. Varios estudios muestran pérdidas de C y N entre 80-100%, dependiendo de la magnitud de la combustión. Un estudio en Manitoba, Canadá, examinó rastrojos de varios cultivos, y encontró que en promedio la quema de rastrojos genera pérdidas del 24% del P, 35% del K y 75% del S (Heard *et al.*, 2006). Un reporte de India coincide con el anterior, aunque con pérdidas un poco más bajas, usando combustión completa de trigo: 22%, 21% y 75% de P, K y S, respectivamente (Sharma and Mishra, 2001); otro artículo citando estudios en India sobre combustión al nivel de campo, menciona que aproximadamente 25%, 20% y 50% de P, K y S, respectivamente, se pierde por efecto de esta práctica (Jain *et al.*, 2014).

Se está estudiando en otros países el fenómeno que la mayoría de nutrientes así perdidos se remplazan por nutrientes acarreados de otras quemas y depositados en la región. Estudios de este fenómeno se han iniciado en Brasil, aunque son muy incompletos (Da Rocha *et al.*, 2005), y no midieron la mayoría de los nutrientes descritos. En Florida, EE.UU., se encontró que la mayoría del arrastre de nutrientes originados en quemas de caña de azúcar alcanzó una distancia de 5-8 km (Achteimeier, 1998), lo que sugiere que hay diferencias entre dos fracciones de emisiones, algunos más pesados y otros aptos a mantenerse suspendidos por un mayor tiempo. Dado la forma geográfica del Valle Central de Chile, la dirección de sus vientos y su posición entre montañas y mar, su potencial para la pérdida total de nutrientes por quemas agrícolas es muy alto.

1.4. Alternativas a las Quemas de los Rastrojos

Dentro de las prácticas alternativas al uso del fuego, se consideran el establecimiento de cultivos con manejos de rastrojos, uso de paja en la alimentación de bovinos, uso de pajas en cama animal, elaboración de compost y producción de pellets, aunque también existen otros usos.

1.4.1. Cultivos con manejos de rastrojos

De acuerdo a antecedentes internacionales, en Europa llevan alrededor de 20 años sin quemar los residuos agrícolas, y en muchas zonas productoras de cereales de Australia la educación e investigación han llevado a una disminución fuerte en la quema de residuos, la cual, según el gobierno federal, bajó un 27% en la temporada 2012-2013. En Argentina, Paraguay y Brasil las quemas de residuos agrícolas son menores y no tienen la preponderancia que tienen en Chile. En estos países las condiciones locales de clima, suelo y tecnologías son diferentes que en nuestro país, sin embargo desde hace varios años algunos agricultores chilenos han venido trabajando en manejar sus cultivos sin quemar los rastrojos.

Hasta el momento del inicio de este proyecto “Ejecución programa de transferencia de prácticas alternativas al uso del fuego” prácticamente toda la literatura nacional

estaba enfocada a la recomendación de dejar rastrojo sobre el suelo, basado en el antecedente que los rastrojos alcanzaban un máximo de descomposición de 2,5 a 3 t/ha/año, quedando un excedente de paja anual en el potrero que se proponía hilerar, para luego facilitar la siembra entre estas hileras. Sin embargo producto de las numerosas reuniones de trabajo técnico con profesionales y productores se vio que la alternativa de hilerar el rastrojo sobre el suelo no era del todo conveniente desde el punto de vista del manejo de las enfermedades de los cultivos.

En la Región del Biobío, con antecedentes provenientes de la literatura y de los agricultores de la región, se trabajó en el proyecto con tres sistemas básicos para manejar los rastrojos, en el marco de una rotación de cultivos adecuada: 1) Después de la cosecha enfardar el cordón del rastrojo, dejar como máximo 2,5 a 3,0 t/ha, posteriormente triturar rastrojo remanente y luego sembrar usando cero labranza; 2) Después de la cosecha enfardar el cordón del rastrojo, dejar como máximo 2,5 a 3,0 t/ha, luego pasar un mezclador tipo Rubín y sembrar; 3) En la cosecha picar y desparramar la paja y el capotillo, luego mezclar mecánicamente el rastrojo con los primeros centímetros de suelo. Los productores antes de iniciar en forma extensiva cualquiera de los sistemas antes mencionados deben empezar el trabajo de manejo de rastrojos en superficies menores y ajustar la mejor práctica a sus condiciones agroecológicas y económicas.

En el capítulo 4 de éste boletín se profundiza sobre éstos métodos de manejo de rastrojo sus requerimientos y operación de la maquinaria agrícola.

1.4.2. Uso de paja en la alimentación de bovinos

La paja de trigo representa el mayor volumen de forraje tosco-voluminoso, considerando los cultivos de avena, cebada, arroz y las leguminosas de grano como fréjoles, garbanzos y lentejas en la Región del Biobío.

Si bien la paja de trigo podría denominarse como un forraje tosco y voluminoso con limitaciones en su valor nutritivo y aceptabilidad por los animales, es factible utilizarla como parte de la ración, corrigiendo sus deficiencias. Es un alimento bajo en proteína, alto en fibra y lignina, pobre en minerales, de baja digestibilidad y carente de vitaminas. Por ello, al complementarla con alimentos proteicos,

energéticos, sales minerales y vitaminas, permite mejorar notablemente su comportamiento. Es un recurso alimenticio que permite apoyar la ganadería, principalmente cuando por condiciones severas de clima (sequía, heladas, nieve) u otras (incendio), los forrajes de las praderas o sus recursos conservados se ponen escasos.

Se puede decir que es un recurso estratégico alimenticio a tener presente. Existe bastante información nacional en INIA y universidades en el uso de paja como alimento animal, principalmente en bovinos y ovinos, como también otros estudios relacionados a su manejo. Las alternativas de sistemas de producción de carne bovina para las diferentes áreas agroecológicas de la región deben considerar razas prioritariamente especializadas, plan anual forrajero, granos y subproductos posibles de obtener, etapas de producción (vaca ternero, recría y/o engorda) de los animales, rotaciones de cultivos, ganancias diarias esperadas, disponibilidad de forrajes toscos y voluminosos y relación de precios insumo-productos. Estos factores determinaran el nivel de paja que podría ser factible de utilizar en la producción de carne, (Klee, G., 2008.). En el capítulo 9 de este boletín se analiza en profundidad este tema de uso de paja de cereales en alimentación animal.

1.4.3. Cama animal

La literatura indica que la cama animal a base de paja es beneficiosa para la crianza de terneros nacidos en otoño, y que en general tienen mejor eficiencia de conversión que cuando se les cría en piso enrejado (González, M., 1981).

En un trabajo demostrativo de los beneficios de la cama animal en engorda de terneros realizado el invierno del año 2013, se determinó que para un establo de 48 metros cuadrados eran necesario 18 kg de paja de trigo para 12 terneros de 250 kg durante 2 días, después de este periodo se volvía a reponer la misma cantidad de paja, lo que permitió lograr una adecuada cama animal que alcanzaba una temperatura de 21 a 30 grados Celsius. Después de 45 días se retiraba la cama animal y era enviada a una pila al aire libre para elaboración de compost.

1.4.4. Producción de compost

El compost es el resultado de la fermentación aeróbica, es decir en presencia de aire, de una mezcla de materias primas orgánicas en el periodo invernal. Se logra un producto orgánico estabilizado que tiene varias ventajas para los productores, que además permite aprovechar la paja de trigo después de ser usada como cama animal, que incluye como materias primas la paja propiamente tal y las deyecciones de los animales, que permite reciclar los nutrientes, evitando de esta forma importarlos al predio como fertilizantes. Por lo tanto genera ahorro de dinero por concepto de compras en fertilizantes (Céspedes, C., 2004).

1.4.5. Pellets

Se piensa que en el país se desarrollará un mercado de pellets de la paja para ser utilizados como combustible. Las pajas de trigo son las mejores alternativas para remplazar la combustión de leña (Olson, 2006; Samson *et al.*, 2008). El trigo produce paja más baja en carbón orgánico volátil que la leña (Musialik-Piotrowska *et al.*, 2010). Los pellets para ser usados como combustible presentan un mercado en evolución creciente en Europa y en Canadá (Samson *et al.* 2008).

Un grupo de investigadores cubanos compararon pellets producidos a partir de paja de cereales y de madera de coníferas; indican que el mejor índice de calidad de los pellet producidos de paja lo presentan los pellets de cebada (2,548), los de avena son los de peor calidad (1,759). Los pellets de paja de trigo presentan un índice de calidad ligeramente inferior al de los pellets de paja de cebada (2,492). Además, los pellets de paja presentan un índice de calidad más bajo que los pellets de madera (2,751). Sin embargo, el poder calorífico de los pellet de paja de trigo es similar a los pellet proveniente de madera de coníferas (Martín, F.M., 2004).

1.4.6. Otros usos de las pajas

Las pajas, además de los usos mencionados anteriormente, pueden destinarse a obtención de bioenergía a través de procesos de hidrólisis y fermentación para la

obtención de etanol, a la obtención de calor en calderas y a través de ello obtener electricidad como es el caso de una usina que existe para el efecto en la comuna de Lautaro en la Región de la Araucanía, y otra que está en etapa de proyecto en la comuna de Yungay, Región del Biobío. También se usa la paja de cereales como sustrato para la producción de hongos comestibles; de hecho la producción de más de 4.000 ha de rastrojos de la Región del Biobío son llevados a la zona central del país con éste propósito. Otro uso que se está estudiando es la obtención de materiales para la construcción de marcos de puertas y ventanas. También se podrían usar los residuos de trigo para producir papel, si se logra desarrollar un proceso económico para reducir el contenido de sílica (Atik and Ates, 2012).

1.5. Consideraciones Finales

Las quemas agrícolas constituyen una práctica usual para la eliminación de rastrojos en la Región del Biobío. En el periodo julio 2013 – junio 2014 se quemaron en Chile 243.788 ha de residuos agrícolas y 9.578 ha de residuos forestales, en tanto en la Región de Biobío se quemaron 57.211 ha de origen agrícola y 4.041 ha de origen forestal.

Los productores antes de iniciar en forma extensiva cualquiera de los sistemas de manejo de rastrojos deben empezar el trabajo en superficies menores y ajustar esta práctica a sus condiciones agroecológicas y económicas.

Existe evidencia técnica que los residuos agrícolas como las pajas poseen una amplia gama de utilización: alimentación animal, fabricación de compost, cama de animales, bioenergía, sustrato en la producción de hongos comestible, entre otros usos.

La quema de residuos es generalmente incompleta y genera compuestos contaminantes para el medio ambiente, que influyen negativamente en la salud de la población, como monóxido de carbono (CO), compuestos nitrogenados (NO₂), hidrocarburos y material particulado (MP₁₀). Contribuyen al cambio climático debido a que emiten metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). La pérdida directa de nutrientes y por erosión empobrece el suelo a través de años, aunque es difícil medirlo.

Los daños ocasionados por las emisiones de las quemas de rastrojos a los organismos vivos, suelo, agua, aire y a la salud son evidentes, de manera que en este contexto la disminución de las quemas agrícolas a nivel nacional y regional constituyen una prioridad.

Se ha avanzado en el manejo de los rastrojos del cultivo anterior. Queda por establecer en detalles protocolos con procedimientos a seguir para cada agroecológica y costos asociados.

1.6. Literatura consultada

Acevedo, E. (ed.). 2003. Sustentabilidad en cultivos anuales cero labranza. Manejo de rastrojos. Serie Ciencias Agronómicas N° 8. 184 p. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago, Chile.

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

Australian Bureau of Statistics (ABS). 2014. More farmers keeping their stubble. <http://www.abs.gov.au/ausstats/abs@.nsf/lookup/4627.0Media%20Release12012-13>. (Consultado 11-12-14).

Achtemeier, G. 1998. Predicting dispersion and deposition of ash from burning cane. Sugar Cane. High Wycombe, UK, 1:17-22.

Atik, C., and S. Ates. 2012. Mass balance of silica in straw from the perspective of silica reduction in straw pulp. BioResources 7:3274-3282.

Biblioteca Nacional de Chile. 2012. Historia de La Ley N° 20. Santiago, Chile.

Cançado, J.E., P.H. Saldiva, L.A. Pereira, L.B. Lara, P. Artaxo, L.A. Martinelli, M.A. Arbex, A. Zanobetti, and A.L. Braga. 2006. The impact of sugar cane-burning emissions on the respiratory system of children and the elderly. Environmental Health Perspectives 114(5):725-729.

Céspedes, C., 2004. Bases técnicas para la producción de compost. Revista Tierra Adentro, noviembre- diciembre. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile.

CONAF, 2013. Leña legal y seca promueve CONAF con programa especial. Disponible en <http://www.conaf.cl/lena-legal-y-seca-promueve-conaf-con-programa-especial/> (Consultado 9-12-14).

- Dhammapala, R., Claiborn, C., Corkill, J., & Gullett, B. (2006).** Particulate emissions from wheat and Kentucky bluegrass stubble burning in eastern Washington and northern Idaho. *Atmospheric Environment*, 40(6), 1007-1015.
- Da Rocha, G.O., A.G. Allen, and A.A. Cardoso. 2005.** Influence of agricultural biomass burning on aerosol size distribution and dry deposition in southeastern Brazil. *Environ Sci Technol* 39:5293-5301.
- EDGAR, 2011.** Emission Database for Global Atmospheric Research. Emission Inventory. European Commission. (<http://edgar.jrc.ec.europa.eu/background.php>) (Consultado 17-12-14).
- EPA. 2014.** Environmental Protection Agency (EPA). Washington D.C., USA. Disponible en <http://www.epa.gov/cleanenergy/energy-resources/refs.html> (Consultado 16-12-14).
- Escobar R., 2010.** Adaptación e interacción genotipo x ambiente en raps (*Brassica napus* L.) en la zona Centro Sur de Chile. Tesis de grado, 64 p. Facultad de Agronomía. Universidad de Concepción. Programa de Magister en Ciencias Mención Producción Vegetal. Chillán, Chile.
- González M. 1981.** Comparación entre cama de paja y piso de reja en crianza de terneros nacidos en Otoño. *Boletín Divulgativo - Instituto de Investigaciones Agropecuarias*. no. 86. Estación Experimental Remehue. Osorno. Chile.
- Heard, J., C. Cavers, and G. Adrian. 2006.** Up in smoke-nutrient loss with straw burning. *Better Crops* 90:10-11.
- FAO. 2013.** "Burning - Crop residues." FAOSTAT Emissions Database <http://faostat.fao.org/> (Consultado 13-12-14).
- Jain, N., A. Bhatia, y H. Pathak. 2014.** Emission of air pollutants from crop residue burning in India. *Aerosol and Air Quality Research* 14:422–430.
- Klee G. 2008.** Manejo de los animales durante periodos climáticos críticos en la Región del Biobío. En *Emergencias Climáticas en la Agricultura, Recomendaciones para la Región del Biobío*, Boletín INIA N° 184. Chile, Chile.
- Larson, T.V., and J.Q. Koenig. 1994.** Wood smoke: emissions and noncancer respiratory effects. *Annual Review of Public Health* 15:133-156.
- Martín, F.M., I. Relova D. 2004.** Estudio de pelets de paja de cereales para generar calor en usos domésticos, Universidad de Pinar del Río. Departamento de Producción Forestal. Cuba. En: Tercera Jornadas Abulense de Energía Renovable, 12 p. Agencia Provincial de la Energía de Avila, Avila. España, (<http://www.apea.com.es/info/jornadas/iii-jornadas.html>). Consultado 23-12-2014
- Mellado, M., I. Matus T., R. Madariaga B. 2008.** Antecedentes sobre el Triticale en Chile y otros países. *Boletín INIA – N° 183*, INIA Quilamapu, Chillán, Chile.

- Musialik-Piotrowska, A., W. Kordylewski, J. Ciolek, and K. Mościcki. 2010.** Characteristics of air pollutants emitted from biomass combustion in small retort boiler. *Environment Protection Engineering* 36:123-131.
- ODEPA. 2007.** Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Santiago, Chile. Disponible en <http://www.odepa.gob.cl/odepaweb/jsp/odepad.jsp>. Consultado 17 Abril 2013.
- ODEPA. 2015.** <http://www.odepa.cl/cultivos-anuales-superficie-produccion-y-rendimientos-4/> Consultado 26 Febrero 2015.
- Olsson, M., 2006.** Wheat straw and peat for fuel pellets- organic compounds from combustion. *Biomass and Bioenergy* 30:555-564.
- Pidwirny, M. (2006).** Atmospheric composition. *The Encyclopedia of Earth*. <http://www.eoearth.org/view/article/150296/> (Consultado 8-12-14).
- Rouanet, M., 2006.** Manejo integrado suelo planta y respuestas productivas del cultivo de la avena, en Beratto E. 2006 Cultivo de la avena en Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro de Investigación Carillanca, Temuco, Chile.
- Samson, R., S. Bailey-Stamler, and C. Ho Lem. 2008.** The emerging agro-pellet industry in Canada. 15th European Biomass Conference and Exhibition, Berlin, Germany. http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-8654-0_16, consultado 03 de marzo de 2015.
- Satyendra, T., R.N. Singh, and S. Shaisha. 2013.** Emissions from crop/biomass residue burning risk to atmospheric quality. *Int. Res. Earth Sci.* 1(1):24-30.
- Sharma, P., and B. Mishra. 2001.** Effect of burning rice and wheat crop residues: loss of N, P, K and S from soil and changes in the nutrient availability. *Journal of the Indian Society of Soil Science* 49:425-429.
- Taladriz A., A. Schwember (2012).** Cereales en las zonas centro-sur y sur de Chile, ¿Qué hacer con los rastrojos? *Revista N° 46 - Diciembre – 2012*, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- World Health Organization. 2012.** Health effects of black carbon. World Health Organization - Europe. WHO Regional Office, Copenhagen. Available at http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/162535/e96541.pdf (Consultado 9-12-14).

RELEVANCIA DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

2

Cecilia Céspedes

Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

Paz Millas

Ingeniero Agrónomo, Dr. Cs.

Investigadoras INIA Quilamapu

La materia orgánica del suelo (MOS) está formada por compuestos que provienen de restos de organismos, ya sea plantas y animales, y sus productos de desecho. La naturaleza química de la MOS está constituida por una serie de compuestos de complejidad variable en un continuo estado de transformación, desde los residuos de cultivos y animales recientemente incorporados hasta la compleja estructura del humus alcanzada después de períodos muy extensos de transformación.

La MOS corresponde a materiales carbonados en distintos grados de descomposición. Su permanencia en el suelo es muy variable, desde semanas a siglos. En la medida que la descomposición avanza se van obteniendo fracciones cada vez más resistentes y con características distintas al material original. Es posible separarla de acuerdo a su tamaño y velocidad de descomposición; las fracciones más abundantes en el suelo se descomponen más lentamente, por ello se requieren muchos años para observar diferencias en esta fracción. Por otra parte, los materiales más jóvenes o menos transformados, sean residuos de cultivos o sus productos de transformación, son biológicamente más activos, responsables de la rápida caída del contenido de MOS al cultivar suelos vírgenes ya que son fácilmente afectados por el manejo agronómico.

Según sus características biológicas, la MOS se divide en dos fracciones: una lábil, conformada por material en transición entre los residuos vegetales frescos y la materia orgánica húmica, y una estable, formada por materia orgánica más transformada, constituida principalmente por sustancias húmicas. La fracción estable tiene una relación carbono/nitrógeno (C/N) más estrecha y una densidad específica más alta que la fracción lábil, por lo que también se le denomina fracción pesada de la MO.

La complejidad de la estructura química de la fracción estable, junto con la fuerte asociación con los minerales del suelo, hacen que ésta sea altamente resistente a la descomposición microbiana, teniendo períodos de permanencia en el suelo de cientos de años, por lo que es la fracción que tiene más importancia en determinaciones de secuestro de (C). La fracción estable de la MO tiene una influencia importante en las características físicas y químicas de los suelos, tales como capacidad de retención de humedad, adsorción, densidad aparente, etc.; sin embargo, tiene poca o ninguna influencia en indicadores biológicos tales como actividad y biomasa microbiana.

A diferencia de la fracción estable, la fracción lábil tiene períodos cortos de permanencia en el suelo, que van desde 1 a 10 años. Los cambios inducidos por el manejo agronómico son mucho más notorios en la fracción lábil que en la fracción estable. Variaciones importantes en el sistema suelo, como la conversión desde vegetación nativa a suelos agrícolas, produce cambios en ambas fracciones. Sin embargo, las disminuciones son mucho más marcadas y ocurren primero en la fracción lábil. Por otra parte, la incorporación de materia orgánica al suelo, ya sea como enmiendas orgánicas o residuos, producen cambios muy pequeños en la MO total, pero son rápidamente detectados al medir la fracción lábil, por lo cual puede usarse como indicador del efecto de algunas prácticas sobre la calidad del suelo, como la rotación de cultivos, el sistema de labranza u otras.

La fracción lábil de la MOS representa sólo una pequeña porción de la masa total del suelo; sin embargo, constituye la principal fuente de alimento y energía para la biomasa microbiana del suelo. Dentro de esta fracción se han identificado varias subfracciones: la materia orgánica particulada (MOP), la biomasa microbiana, el Carbono soluble, el Carbono potencialmente mineralizable y el Carbono extractable.

La MOS suele ser separada en sustancias húmicas y no húmicas. Las no húmicas incluyen aquellas cuyas características físicas y químicas pueden ser reconocibles por sus carbohidratos, proteínas, péptidos, aminoácidos, grasas, ceras y ácidos orgánicos de peso molecular bajo. Muchos de esos compuestos son atacados relativamente rápido por microorganismos y tienen, por lo general, un corto periodo de vida en los suelos, y es la fracción lábil de la materia orgánica. Por el contrario, las sustancias húmicas no tienen características físicas y químicas específicas, son de color oscuro, ácidas, predominantemente aromáticas, hidrofílicas y químicamente complejas. Estos materiales se dividen comúnmente en tres fracciones principales: ácidos húmicos (AH), que son solubles en un álcali diluido; los ácidos fúlvicos (AF) que corresponden a la fracción húmica que queda en solución cuando el extracto alcalino es acidificado, y las huminas (H), fracción que no puede ser extraída por una dilución básica o ácida. Estructuralmente las tres fracciones son similares, pero difieren en el peso molecular. La estructura química y propiedades de la fracción húmica es similar a las de los ácidos húmicos, pero la insolubilidad de las huminas se debe a que están firmemente adsorbidas o unidas al suelo inorgánico.

2.1. Formación del suelo y la materia orgánica

Los minerales que constituyen las rocas que dan origen al suelo son inestables bajo condiciones normales de la superficie de la tierra, como temperatura, presión, agua, oxígeno y dióxido de carbono. Las sustancias orgánicas que constituyen las plantas vivas también son inestables después de su muerte. La formación de suelos comienza cuando los organismos vivos colonizan las rocas. La actividad biológica y la humificación de la materia orgánica aceleran la meteorización. De esta forma, la humificación y meteorización son reacciones que permiten estabilizar las rocas meteorizadas y la materia orgánica formando el suelo.

En el proceso de formación de la MOS, la flora y fauna que vive en el suelo juega un rol fundamental. Algunas bacterias y hongos son los microorganismos dominantes al inicio. Ellos dependen de materiales orgánicos como fuente de energía, que si es abundante permite que los microorganismos crezcan rápido. Por ello, al inicio hay un periodo de crecimiento rápido mientras consumen los productos fácilmente metabolizables. Luego le sigue un periodo más lento, donde se consumen los productos residuales menos disponibles.

La formación de la MOS no sólo es un proceso de degradación. Los microorganismos que son muy activos en la descomposición de residuos de plantas y animales, usan una porción de la energía liberada en la construcción de sus propios cuerpos, que pasa a ser una parte considerable de la MOS, conteniendo los mismos elementos que los materiales que le dieron origen, pero muy diferentes desde una perspectiva de sus características físicas y químicas. Así, se produce un proceso de descomposición en primer lugar y luego uno de síntesis. Sin embargo, ambos procesos ocurren en forma simultánea y los factores que afectan a uno también afectan al otro, pero no siempre de la misma manera. Por ejemplo, las temperaturas altas pueden provocar máximas tasas de descomposición, pero una mínima síntesis por unidad de material, y las bajas temperaturas pueden producir el efecto inverso. En el suelo, las porciones de materia orgánica que provienen de residuos de plantas y animales y las que tienen un origen microbiológico están mezcladas, lo que contribuye a la complejidad de su naturaleza.

El origen del suelo tiene gran influencia en el contenido de carbono orgánico. Por este motivo, es posible encontrar marcadas diferencias entre los contenidos promedio de MOS en las distintas áreas agroecológicas y series de suelo dentro de cada área (Cuadro 2.1.).

Cuadro 2.1. Contenido promedio de materia orgánica (MO) (%) de las principales series de suelos de las áreas agroclimáticas de la Región de Biobío.

Precordillera		Valle central		Secano interior		Cordillera de la costa		Secano costero	
Serie	MO	Serie	MO	Serie	MO	Serie	MO	Serie	MO
San Fabián	17,4	Arenales	1,2	Cauquenes	3,3	San Esteban	3,1	Tomé	2,2
Santa Bárbara	17,0	Bulnes	4,5	Pocillas	3,3	Nahuelbuta	5,3	Cobquecura	5,8
Arrayán	12,7	Chacayal	8,6	Quella	5,5	Constitución	4,5	Caripilún	4,8
Coreo	1,5	Mirador	5,3					Merilupo	6,7
Collipulli	5,7	Arrayán	12,7						

Fuente: Stolpe, 2006.

2.2. Efectos de la materia orgánica sobre las características del suelo

Una renovada valoración de la MOS, en toda su asombrosa complejidad, comenzó a fines del siglo 20 y continúa hasta estos días. En la actualidad se valora la influencia de la MOS en las propiedades físicas, químicas y biológicas

del suelo, ya que es un componente clave que afecta muchas reacciones que ocurren en el ecosistema suelo, por ello es un factor importante para realizar la mayoría de las otras funciones específicas fundamentales en la promoción del crecimiento vegetal.

La MOS tiene un efecto positivo en la estructura del suelo, ya que es un componente cementante que permite mantener unidas las partículas primarias del suelo (arena, limo y arcilla), en conglomerados de mayor tamaño, que al unirse dejan poros entre ellos, los que sirven de sitios donde la materia orgánica queda ocluida y los microorganismos del suelo encuentran su hábitat. Esa red de poros interconectados además permite retener agua en cantidades suficientes y con apropiado potencial de energía, para que esté disponible para la absorción por parte de las raíces, de manera casi continua, junto con proporcionar vías de baja resistencia física al crecimiento de la raíz, al suministro de oxígeno, eliminación de dióxido de carbono, gases tóxicos y al almacenamiento, translocación y descontaminación del agua.

Los microorganismos que se alimentan de la MOS son los descomponedores, que participan en la mineralización de compuestos orgánicos, dejando disponibles nutrientes para las plantas, a través del tiempo y espacio. Por ello, al aplicar materia orgánica se incrementa la biomasa microbiana del suelo.

Experimentos realizados por el INIA indican que con aplicaciones periódicas de compost en el mediano plazo se incrementa la cantidad de microorganismos presentes en el suelo. Dichos microorganismos participan en el suelo en los ciclos de los nutrientes que provienen de rocas (geológicos). Cada nutriente tiene su propio y único ciclo químico, pero todos tienen características en común y requieren de organismos (biológicos) para sus transformaciones, por lo cual se los denomina ciclos bio-geo-químicos. Además de estas funciones, existen microorganismos en el suelo que liberan promotores del crecimiento para las plantas, otros que son antagonistas de enfermedades y plagas, por lo que reducen los problemas sanitarios de los cultivos. Todas estas funciones están muy influenciadas por el aumento en el contenido de materia orgánica de los suelos. Los altos niveles de MOS están asociados con el incremento de la agregación, la menor erosión y escorrentía superficial, la mejor infiltración, el movimiento y la retención de agua, la capacidad de intercambio catiónico, la disponibilidad de nutrientes, el vigor de

los cultivos y la reducción de la presión de plagas y enfermedades de plantas (supresión), entre otros factores favorables del suelo.

2.3. Prácticas de manejo que influyen sobre el contenido de materia orgánica del suelo

Las prácticas de manejo agronómico ejercen una influencia considerable en el equilibrio entre entradas y salidas de carbono en el suelo. La materia orgánica se acumula en el suelo en la medida en que las ganancias superan las pérdidas. Excepto en lugares donde los suelos desérticos se someten a la producción de cultivos bajo riego, el cambio de uso de suelo de vegetación natural a agricultura se traduce en una marcada disminución en los niveles de MOS. En general, cuando el suelo es cultivado, disminuye tanto el carbono orgánico como el nitrógeno, conduciendo a la disminución de la fertilidad. En relación a la vegetación natural, los sistemas agrícolas casi siempre provocan mayores pérdidas de carbono que ganancias. La baja entrada de carbono, por lo general, no se debe a la reducción de la productividad primaria neta en la agricultura, sino más bien a su extracción y a la eliminación de gran parte de la biomasa de la planta producida sobre el suelo. Además, las prácticas agrícolas, especialmente la labranza intensiva, aceleran la pérdida de carbono del suelo por la respiración microbiana y la erosión, conduciendo a la degradación de los suelos.

Una forma por la cual los agricultores podrían aumentar la cantidad de carbono en el suelo y mitigar algunas emisiones de CO₂ que contribuyen al cambio climático, podría ser volver a los bosques o vegetación herbácea natural, lo que no es posible, dada la necesidad de producir alimentos. Menos aún si se considera que la restauración de los niveles de MOS es un proceso bastante lento. Así, el 20 a 30% de la MOS se pierde en sólo 2 años de cultivo intensivo, mientras la restauración de esta MOS mediante la vegetación natural puede tardar hasta 35 años.

Sin embargo, existen prácticas que contribuyen a la mantención o al incremento de los niveles de MOS. Se pueden mencionar la aplicación de enmiendas orgánicas como compost (Foto 2.1.), vermicompost, estiércol u otros, prácticas racionales de labranza del suelo o de conservación, incorporación de rastrojos,

mantención de la cobertura del suelo, adecuadas rotaciones de cultivos, establecimiento de praderas y abonos verdes para proporcionar un hábitat que favorezca la actividad biológica y reduzca al mínimo las pérdidas de carbono debidas al manejo intensivo del suelo, que incluye el barbecho, las quemas de rastrojos y la labranza.



Foto 2.1. Elaboración de compost con rastrojos de cereales y cama animal.

Los abonos verdes son cultivos que se incluyen en el sistema de rotación con el fin de producir fitomasa que es incorporada al suelo, aportando nutrientes por el efecto de las raíces, cuando el cultivo está en pie; pero también cuando se incorpora la parte vegetativa al final del periodo de crecimiento. Aportan importantes cantidades de nutrientes, especialmente nitrógeno, cuando el abono verde es una leguminosa o una mezcla que incluye leguminosas (Foto 2.2.). Además movilizan nutrientes de estratas profundas hacia la superficie del suelo, cuando las especies que la conforman son de arraigamiento profundo, mejoran la estructura del suelo, evitan la erosión, controlan malezas y evitan la lixiviación de los nutrientes disponibles.



Foto 2.2. La mezcla de avena con vicia se puede incluir en la en la rotación de cultivos para ser utilizado como abono verde.

El establecimiento de plantas forrajeras o praderas, sobre la superficie del suelo en la rotación de cultivos, o bien entre hileras de cultivos perennes (cultivos de cobertera o cubierta vegetal), es una práctica que permite obtener fitomasa junto con proteger el suelo de la erosión, particularmente en terrenos con pendiente. El establecimiento y mantención de praderas aumenta el contenido de MOS y la disponibilidad de nutrientes, en especial de nitrógeno, cuando se incluyen leguminosas en la pradera. Los cultivos forrajeros mejoran la estructura y porosidad del suelo, su capacidad de infiltración y retención de humedad, disminuyen las poblaciones de malezas, y reducen poblaciones de algunas especies de nemátodos. Para elegir un cultivo forrajero o cubierta vegetal se debe considerar las condiciones de suelo y clima, y sembrar especies adecuadas en cada situación.

La labranza es una práctica que permite incorporar los residuos del cultivo anterior, preparar camas de semillas, incorporar fertilizantes y manejar la presión de las malezas. La labranza convencional consiste en invertir y mullir los 20 a 30 cm superiores del suelo mediante araduras y rastrajes. Este tipo de labranza incrementa la aireación, estimulando la actividad de los microorganismos del suelo, los que oxidan la materia orgánica al utilizarla como fuente de energía y expone el suelo al efecto erosivo del agua y viento. Así, dos grandes procesos destructivos que disminuyen la capacidad productiva del suelo se asocian a

la labranza con inversión del suelo: la erosión y la oxidación de la materia orgánica.

La labranza conservacionista se caracteriza por dejar rastrojos del cultivo anterior sobre la superficie del suelo, mejorando el balance hídrico y nutricional de los cultivos en rotación. Permite reducir los tiempos de recambio de la materia orgánica y representa una alternativa apropiada para el secuestro de carbono en algunos tipos de suelos.

Los residuos vegetales, o rastrojos, son un importante recurso que debe ser aprovechado ya que aportan una cantidad considerable de materia orgánica, lo que mejora la calidad del suelo y su productividad, incrementando la sostenibilidad del proceso productivo. Los residuos picados se descomponen más rápido. Gran parte del carbono es liberado como CO_2 a la atmósfera, por la respiración de los microorganismos, y una fracción es retenida como materia orgánica en el suelo. La cantidad retenida depende del tipo, cantidad y calidad de los residuos y de cómo son manipulados. La calidad de los residuos depende de las especies de plantas (paja de cereales es baja en nitrógeno, leguminosas o praderas son ricas en nitrógeno) y del estado de desarrollo cuando se cortan. Los residuos de cultivos pueden ser cortados, desmenuzados o dejados en pie en el campo, o bien pueden ser triturados y mezclados con el suelo mediante un rastraje. De esta forma son descompuestos por los microorganismos del suelo, mejorando la disponibilidad de nutrientes, la actividad biológica, la estructura y todas las características que esto conlleva. Además, la velocidad de descomposición de los rastrojos depende del tipo y tamaño de las poblaciones de microorganismos del suelo, lo que a su vez depende del pH, temperatura, contenido de humedad, disponibilidad de nutrientes, N disponible, textura, estructura y biomasa microbiana del suelo.

A pesar de que la quema de los rastrojos pareciera ser la forma más fácil de deshacerse de los residuos, no es una alternativa recomendada, ya que se pierden cantidades importantes de nutrientes. Casi la totalidad del carbono, azufre y nitrógeno orgánico se pierde en la combustión, y parte del fósforo y potasio queda en las cenizas que son arrastradas por el viento o agua. Las quemas alteran la dinámica de la MOS, reducen la permeabilidad del suelo y afectan las poblaciones de microorganismos que habitan los primeros centímetros del suelo. Todos los

esfuerzos por mejorar la calidad del suelo, su estructura, actividad biológica y disponibilidad de nutrientes se ven negativamente alteradas por esta práctica, que es fácil de ejecutar en el corto plazo, pero altamente destructiva en el mediano y largo plazo.

Cuando la cantidad de rastrojos es muy alta, se pueden enfrentar problemas para su incorporación en la preparación de suelos, siembra y establecimiento del cultivo siguiente, como es el caso de algunos cereales. En estos casos se recomienda extraer una parte de los residuos antes de mezclar con el suelo, y utilizarlos en la elaboración de compost, en la alimentación animal, o en el establecimiento de acolchados sobre el suelo (mulches) para el control de malezas.

Se denomina compost al abono orgánico resultante de la fermentación aeróbica (en presencia de oxígeno) de una mezcla de materias primas orgánicas, bajo condiciones específicas de humedad y temperatura, cuyo producto es libre de efectos fitotóxicos, aporta nutrientes, microorganismos benéficos y materia orgánica estabilizada. Dado el proceso de elaboración que contempla altas temperaturas, este producto está libre de patógenos y semillas de malezas, y puede ser aplicado al suelo mejorando sus características físicas, químicas y biológicas. Cuando se aplica al suelo un compost terminado, que cumple con los requisitos de la Norma Chilena 2880 “Compost clasificación y requisitos”, lo que se está aplicando es materia orgánica estabilizada, en su fracción lábil, lo que mejora la estructura y porosidad del suelo, con todos los beneficios que eso conlleva. Tiene un efecto tampón del pH del suelo, libera nutrientes, aumenta la capacidad de intercambio catiónico, genera un incremento de las poblaciones de microorganismos del suelo que liberan promotores de crecimiento, y estimulan la supresión de enfermedades y plagas.

La aplicación de materia orgánica al suelo proporciona un efecto integrador, que promueve la salud y la calidad del suelo, con un enfoque preventivo de la gestión agrícola que tiene como objetivo mejorar las propiedades del suelo a fin de que el agro-ecosistema tenga una autorregulación, sea autosuficiente, resistente a la degradación y resiliente¹, evitando problemas de deficiencia de nutrientes y

¹Resiliencia: capacidad de un ecosistema de absorber perturbaciones sin alterar significativamente sus características de estructura y funcionalidad, pudiendo regresar a su estado original una vez que la perturbación ha cesado.

problemas sanitarios. Lo contrario ocurre con el modelo de la revolución verde que busca solucionar, mediante agroquímicos, los problemas que se presentan.

2.4. La materia orgánica y la supresión de enfermedades

Existen suelos en que la incidencia o la severidad de ciertas enfermedades es más baja que en suelos del entorno, y se les conoce como “suelos supresivos”. Por el contrario, a los suelos no supresivos se les denomina “conductivos”. La existencia de suelos supresivos fue descrita hace más de 100 años, para diferentes condiciones edáficas y variados patógenos, entre los que se incluye: *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis* que causa mal del pie en trigo, *Fusarium oxysporum* que causa fusariosis, el nemátodo *Heterodera* spp., y las bacterias *Streptomyces scabies*, *Plasmodiophora brassicae*, *Phytophthora cinnamomi*, *Pythium ultimum* y *Rhizoctonia solani*, entre otras.

La supresión de enfermedades tiene una base microbiana, que puede ser destruida por esterilización con autoclave o fumigación del suelo supresivo, pero puede ser recuperada al adicionar unos pocos gramos de suelo supresivo sin tratamiento biocida. Los suelos supresivos naturales son el mejor ejemplo de que los microorganismos nativos protegen a las plantas contra los patógenos de suelo. Se han realizado muchos estudios para identificar las características químicas y microbiológicas que consistentemente expliquen la supresión, pero la mayoría de ellas lamentablemente no han sido exitosas. Aunque la supresión es difícil de predecir, porque está modelada por interacciones complejas entre las propiedades del suelo y la microbiota, algunos descubrimientos indican que estaría asociada a una alta actividad microbiana total, a la composición de la materia orgánica del suelo, al grado de descomposición de la materia orgánica, a la competencia de los microorganismos por fuentes de carbono, y a la disponibilidad de fuentes de carbono capaz de sostener altas poblaciones de microorganismos.

Se han definido dos tipos de supresión: general y específica. La supresión general está relacionada con la comunidad microbiana total y no a una única especie de microorganismo como responsable de la supresión. Esto explica por qué en algunos estudios un antagonista microbiano colectado desde un suelo supresivo falla en inducir supresión en el nuevo sustrato, al nivel observado en el sustrato original.

La competencia por nutrientes entre el patógeno y microorganismos saprófitos se sugiere como el principal mecanismo responsable de la supresión general. Al contrario, se denomina supresión específica cuando sólo un microorganismo o un grupo de ellos son responsables de controlar una enfermedad. Los mecanismos envueltos en este tipo de supresión son principalmente hiperparasitismo y/o antibiosis. Por ejemplo el hiperparásito *Trichoderma* spp. es el taxón más importante aislado desde medios o sustratos supresivos a *Rhizoctonia solani*.

Para que los agentes biológicos que producen la supresión puedan estar presentes en un suelo o sustrato, la introducción o presencia de materia orgánica es fundamental, independientemente de si se habla de supresión general o específica.

La adición de materia orgánica no sólo contribuye a aumentar la actividad microbiana, sino que incrementa las poblaciones de antagonistas tales como *Trichoderma* y *Pseudomonas*. Por otra parte, la materia orgánica provee de sustrato alimenticio para que los microorganismos mejoren la supresión general a través de la competencia, o para que agentes específicos de control biológico puedan inducir resistencia o producir antibiosis contra los patógenos de plantas. Sin embargo, la efectividad de las enmiendas orgánicas para controlar enfermedades es variable y en algunos casos puede aumentar la severidad de la enfermedad.

Tanto agricultores como investigadores han renovado su interés por usar enmiendas orgánicas para mitigar las enfermedades causadas por patógenos del suelo. Los artículos publicados en este tema han tenido un continuo incremento desde los años 1970. Muchos estudios muestran que la incorporación de materia orgánica puede ser muy efectiva en controlar enfermedades causadas por patógenos que viven en el suelo.

Una revisión de 250 artículos que evaluaron el efecto de enmiendas orgánicas sobre la incidencia de las enfermedades y las poblaciones de patógenos, mostraron que las enmiendas orgánicas fueron supresivas en un 45% de los casos, no tuvieron efectos en un 35%, o incrementaron la incidencia de enfermedades en un 20% de los casos. La supresión es variable y depende de varios factores, tales como tipo de enmienda, tasa de aplicación, tipo de patógeno, condiciones climáticas, etc.

La supresión de enfermedades al aplicar compost es, principalmente, atribuida a las poblaciones microbianas que viven asociadas a la fuente de materia orgánica del compost, ya que al igual que en suelos supresivos, la esterilización con temperatura o con rayos gamma hacen que se pierda la capacidad supresora del compost, y se puede restablecer al inocular algunos gramos del compost sin tratamiento de esterilización.

Se ha determinado que el grado de descomposición de la materia orgánica tiene un fuerte efecto en la tasa de supresión de la enfermedad. Compost inmaduros no pueden suprimir el damping-off² causado por *Pythium aphanidermatum*, en cambio un compost con madurez adecuada suprime la enfermedad. Otro ejemplo es el caso de *Rhizoctonia solani* (un patógeno que es altamente competitivo) y Trichoderma (un biocontrolador de *Rhizoctonia solani* bastante efectivo). Cuando la materia orgánica es fresca o no descompuesta, Trichoderma crece como saprófito y no es capaz de realizar el control biológico de la enfermedad. Sin embargo, cuando estos mismos hongos se encuentran en un compost maduro, donde las concentraciones de nutrientes solubles, como la glucosa, son bajas, Trichoderma actúa como un parásito secretando enzimas líticas que son capaces de matar los esclerocios de *Rhizoctonia solani*. Este fenómeno ocurre porque la materia orgánica fresca tiene altos contenidos de carbono soluble, como la glucosa, que inhiben la producción de enzimas de Trichoderma, y en vez de actuar como parásito alimentándose de otros hongos, vive como saprófito alimentándose de la materia orgánica fresca. Por otra parte, cuando la materia orgánica se encuentra muy estabilizada, como es el caso de algunas turbas, no es capaz de soportar la actividad microbiana y, por lo tanto, son conductivas a las enfermedades.

La materia orgánica particulada (MOP) es una subfracción de la materia orgánica lábil que se encuentra a un nivel de descomposición más avanzado que los residuos vegetales, pero menos descompuesta que la materia orgánica humificada. Los microorganismos se concentran en torno a esta fracción, la que es fuertemente afectada por la cantidad de residuos que ingresan al suelo y la tasa de descomposición de éstos. Suelos de bosques nativos y praderas, generalmente tienen más MOP que los suelos arables. Algunos estudios han demostrado que la MOP se correlaciona bien con la capacidad supresiva de los suelos.

²Marchitamiento generado por hongos.

Esto fue verificado en un ensayo realizado en INIA Quilamapu, donde se evaluó la capacidad supresiva a damping-off causada por *Pythium ultimum*, de tres suelos de bosque nativo, los cuales normalmente presentan altos contenidos de MOP dado el constante ingreso de materia orgánica a través de la caída de hojas. Los resultados mostraron que dos de los tres suelos fueron supresivos a damping off en tomate, y además los suelos que suprimieron la enfermedad mostraron valores más altos de actividad microbiana total. Con este ensayo se pudo demostrar que suelos con alta MOP que presentan alta actividad microbiana, tienen un efecto supresivo frente a damping-off causado por *P. ultimum* en plántulas de tomate.

También se ha observado que existen interacciones entre el tipo de enmienda orgánica y el patógeno a controlar. Las aplicaciones de compost son efectivas para el control de prácticamente todos los patógenos, a excepción de *Rhizoctonia solani*. También se obtiene un muy buen control de *Fusarium* spp. en la mayoría de los casos. Los residuos orgánicos son muy efectivos en el control de *Verticillium dahliae*; sin embargo, tienen efectos variables hacia otros patógenos. Los residuos de cosecha en general suprimen patógenos tales como *Verticillium dahliae*, *Thielaviopsis basicola*, *Fusarium* spp. y *Phytophthora* spp., pero prevalentemente aumentan enfermedades causadas por *Pythium* spp. y *Rhizoctonia solani*. En este contexto, varios estudios muestran que los desechos orgánicos y los residuos de cosecha con baja relación C/N son muy efectivos en el control de *Verticillium* spp., *Thielaviopsis basicola* y *Phytophthora* spp.

La incorporación de residuos de cosechas es favorable para la salud del suelo, ya que el material vegetal aumenta la cantidad de materia orgánica lábil, y devuelve parte de los nutrientes extraídos por el cultivo. Además, se mejora la tasa de infiltración, la porosidad total y la estructura del suelo. Sin embargo, la lentitud de descomposición de los residuos en climas mediterráneos, donde hay altas temperaturas y baja humedad posterior a la cosecha, hace que en la siguiente temporada de cultivo aún quede material vegetal no descompuesto, quedando poco homogénea la cama de siembra. También inmoviliza nitrógeno y genera alelopatías, y es una fuente importante de inóculo de patógenos que quedan en los residuos de cosecha. En sistemas de monocultivo producen ataques severos de enfermedades, como el caso de Septoriosis del trigo causada por el hongo *Mycosphaerella graminicola*.

Una forma de reducir el problema antes indicado, es lograr que la descomposición de los residuos o rastrojos sea más rápida. Algunas de las medidas que se pueden aplicar, idealmente en forma conjunta, son:

- Triturar los residuos, ya que partículas más pequeñas tienen una mayor superficie de contacto en la que pueden actuar de mejor manera los microorganismos descomponedores.
- Mezclar los residuos con el suelo. Esta práctica permite que los organismos descomponedores estén en contacto directo con los residuos, y que éstos mantengan contenidos de humedad más altos y por más tiempo que si están en la superficie.
- Regar. La adición de agua permite aumentar los contenidos de humedad, lo que es fundamental para que los microorganismos descomponedores puedan actuar rápidamente.
- Aplicar nitrógeno inorgánico en residuos con una alta relación C/N, para eliminar la deficiencia de nitrógeno que es un factor limitante para la descomposición en estos casos.
- Incorporar microorganismos que aceleren la descomposición de los residuos que quedan sobre el suelo, tales como bacterias y hongos.

La MOS es la fracción del suelo que juega un rol fundamental en la fertilidad integral del suelo, ya que afecta sus características químicas, físicas y biológicas, mejorando la disponibilidad de nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico, la estructura del suelo y, con ello, su aireación y capacidad de retención de humedad y drenaje, además de la actividad biológica, con todos los beneficios que conlleva.

Algunos de los efectos de la MOS parecen intangibles y generalmente son ignorados, ya que se perciben en el mediano y largo plazo, por lo que no son valorados por quienes acostumbran a tener respuestas inmediatas al manejo agronómico. Sin embargo, los sistemas sustentables de producción agrícola requieren, necesariamente, mejorar la calidad del suelo, lo que significa incrementar el contenido de materia orgánica, y así permitir obtener buenos resultados de cosecha tanto a las generaciones actuales como a las futuras.

2.5. Literatura consultada

- Acevedo, E., y E. Martínez. 2003.** Sistema de labranza y productividad de los suelos. p. 13-25. En Acevedo, E. (ed.). Proceedings Seminario Sustentabilidad en cultivos anuales. Santiago, Chile, 3 y 4 de diciembre, 2002. Serie Ciencias Agronómicas N° 8. Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Allison, F.E. 1973.** Soil organic matter and its role in crop production. 637 p. U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C., U.S.A.
- Avilés, M., C. Borrero, and M.I. Trillas. 2011.** Review on compost as an inducer of disease suppression in plants grown in soilless culture. In A. Sánchez Ferrer (ed.). Dynamic Soil, Dynamic Plant, Compost III. Global Science Books Vol. 5, Special issue 2, p. 1-11.
- Barzegar, A.R., A. Yousefi, and A. Daryashenas. 2002.** The effect of addition of different amounts and types of organic materials on soil physical properties and yield of wheat. *Plant and Soil* 247:295-301.
- Bonanomi, G., V. Antignani, C. Pane, and F. Scala F. 2007.** Suppression of soilborne fungal diseases with organic amendments. *Journal of Plant Pathology* 89:311-324.
- Céspedes, C., I. Díaz, y V. Carrasco. 2012.** Evaluación de dos indicadores de sustentabilidad de suelos en vides para vino y uva de mesa. En 4º Simposio Internacional de Agricultura Orgánica. 11 al 13 de septiembre 2012. Universidad de Talca, Talca, Chile.
- Céspedes, C., C. Ovalle, y J. Hirzel. 2005.** Manejo de la fertilidad del suelo en producción orgánica. En Céspedes, C. (ed.) Agricultura orgánica: Principios y prácticas de producción. Boletín INIA N° 131. Ministerio de Agricultura, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chillán, Chile.
- Espinoza, Y. 2010.** Efecto de la labranza sobre la materia orgánica y tamaño de agregados en un suelo cultivado con maíz en condiciones tropicales. *Bioagro* 22:177-184.
- Galantni, J.A., and L. Suñer. 2008.** Soil organic matter fractions: analysis of Argentine soils. *Agriscientia* XXV(1):41-55.
- Hoitink, H.A.J., and M.J. Boehm. 1999.** Biocontrol within the context of soil microbial communities: A substrate-dependent phenomenon. *Annual Review of Phytopathology* 37:427-446.
- Hu, S., A.H.C. van Bruggen, R.J. Wakeman, and N.J. Grunwald. 1997.** Microbial suppression of in vitro growth of *Pythium ultimum* and disease incidence in relation to soil C and N availability. *Plant and Soil* 195:43-52.

- INN. 2004.** Norma Chilena Oficial NCh 2880. Of 2004. Compost - Clasificación y requisitos. Instituto Nacional de Normalización (INN), Santiago, Chile.
- Kumada, K. 1987.** Chemistry of soil organic matter. 255 p. Japan Scientific Societies Press Elsevier, Tokyo, Japan.
- Madariaga, R.P. 2003.** Rol del rastrojo en los ciclos de vida de importantes patógenos fungosos de los cultivos tradicionales chilenos. Caso de la Septoriosis en trigo. Simposio Manejo Sustentable de Suelos Chilenos. Boletín N° 19. p. 165–174. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, Chillán, Chile.
- Magdoff, F., and R.R. Weil. 2005.** Soil organic matter in sustainable agriculture. 473 p. CRC Press, Boca Raton. Florida, USA.
- Mazzola, M. 2002.** Mechanisms of natural soil suppressiveness to soilborne diseases. *Antonie van Leeuwenhoek* 81:557-564.
- Millas, P. 2013.** Supresividad a *Pythium* sp. de tres suelos de bosque nativo en plantas de tomate. 64º Congreso. 181 p. Sociedad Agronómica de Chile y XXII Congreso Chileno de Fitopatología. 24-26 de septiembre 2013, Viña del Mar, Chile.
- Pérez-Piqueres, A., V. Edel-Hermann, C. Alabouvette, and C. Steinberg. 2006.** Response of soil microbial communities to compost amendments. *Soil Biology and Biochemistry* 38:460-470.
- Sierra, C., C. Céspedes, y A. France. 2008.** Informe Final Proyecto FIA “Incremento selectivo de microorganismos benéficos en compost para mitigar problemas de nematodos fitoparásitos de la vid y aumentar la fijación no simbiótica de nitrógeno. La Serena, Octubre, 2008. Ministerio de Agricultura, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), La Serena, Chile.
- Stolpe, N.B. 2006.** Descripciones de los principales suelos de la VIII Región de Chile. 83 p. Universidad de Concepción, Chillán, Chile.
- Stone, A.G., S.J. Traina, and H.A.J. Hoitink. 2001.** Particulate organic matter composition and *Pythium* damping-off of cucumber. *Soil Science Society of America Journal* 65:761-770.
- Syers, J.K., and E.T. Craswell. 1995.** Soil organic matter management for sustainable agriculture: A workshop. p. 7–14. In Lefroy, R. et al. (eds.) *Role of Soil Organic Matter in Sustainable Agricultural Systems*. ACIAR Proceedings No. 56. Canberra. 24–26 August 1994. Australian Center for International Agricultural Research, Ubon, Thailand.

- Termorshuizen, A.J., E. van Rijn, D.J. van der Gaag, C. Alabouvette, Y. Chen, J. Lagerlöf, A.A. Malandrakis, E.J. Paplomatas, B. Rämert, J. Ryckeboer, C. Steinberg, and S. Zmora-Nahum. 2006.** Suppressiveness of 18 composts against 7 pathosystems: Variability in pathogen response. *Soil Biology and Biochemistry* 38:2461-2477.
- Vaughan, D., and R.E. Malcolm 1985.** Soil organic matter and biological activity. 469 p. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, Boston, Massachusetts, USA.
- Vidal, P. y H. Troncoso. 2003.** Incidencia de la quema y retención de rastrojos en cultivos anuales sembrados bajo cero labranza. p. 68-92. Simposio Manejo Sustentable de Suelos Chilenos. Boletín N° 19. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, Chillán, Chile.
- Weller, D.M., J.M. Raaijmakers, B.B. McSpadden Gardener, and L.S. Thomashow. 2002.** Microbial populations responsible for specific soil suppressiveness to plant pathogens. *Annual Review of Phytopathology* 40:309-348.

ROTACIÓN DE CULTIVOS

3

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

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).

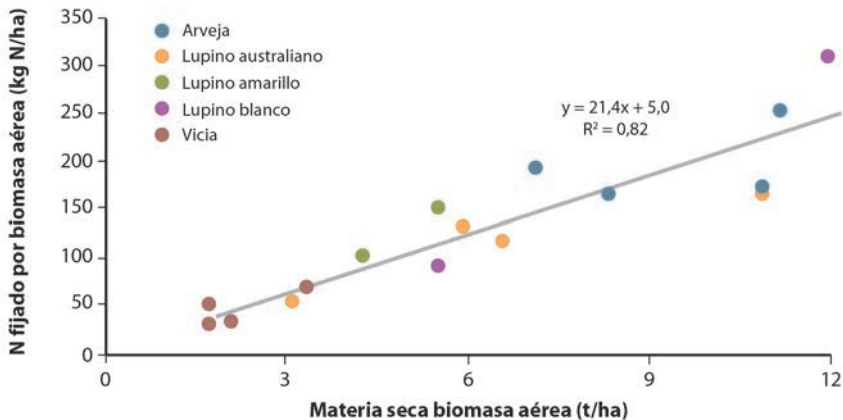


Figura 3.1. Relación entre la biomasa aérea de una leguminosa y el nitrógeno fijado por arveja, lupino australiano, lupino amarillo, lupino blanco y vicia cultivada en dos localidades de la zona central de Chile. Adaptado de Espinoza *et al.*, 2012.

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.

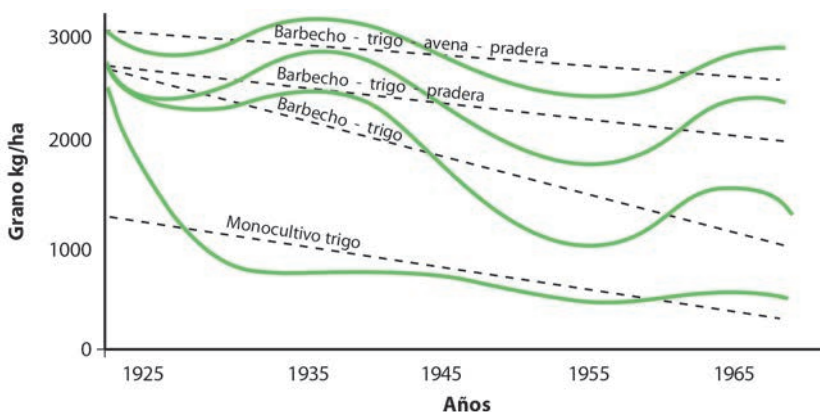


Figura 3.2. Cambios en la productividad de diferentes cultivos y rotaciones en el tiempo Adaptado de Vlek *et al.*, 1981.

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.).

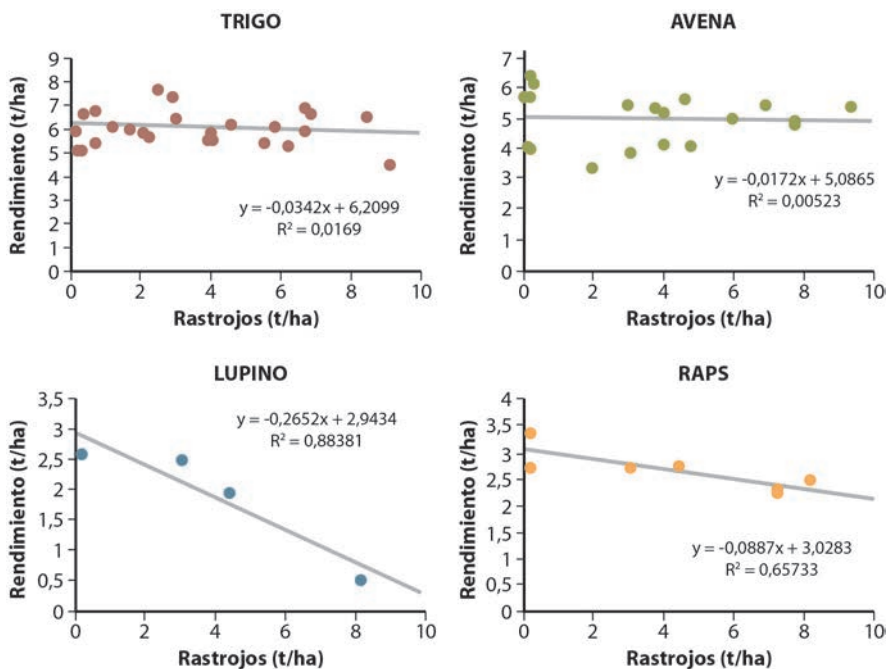


Figura 3.3. Relación entre el rendimiento de trigo, avena, lupino y raps, y la cantidad de rastrojos presentes sobre el suelo.
Fuente: Vidal y Troncoso, 2003.

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.

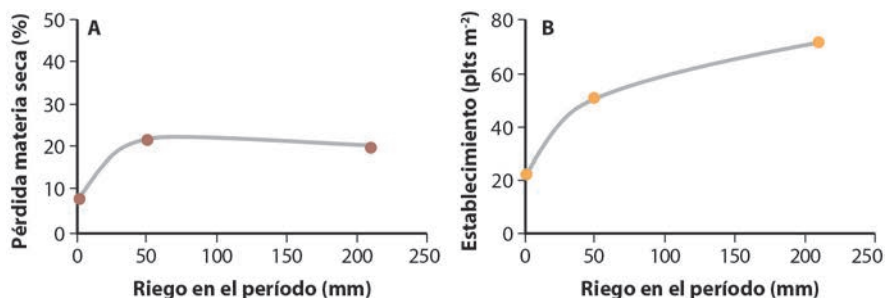


Figura 3.4. Descomposición de rastrojo medida como pérdida de materia seca (A) y establecimiento de lupino (B) en distintos niveles de riego en el periodo previo a la siembra.

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.

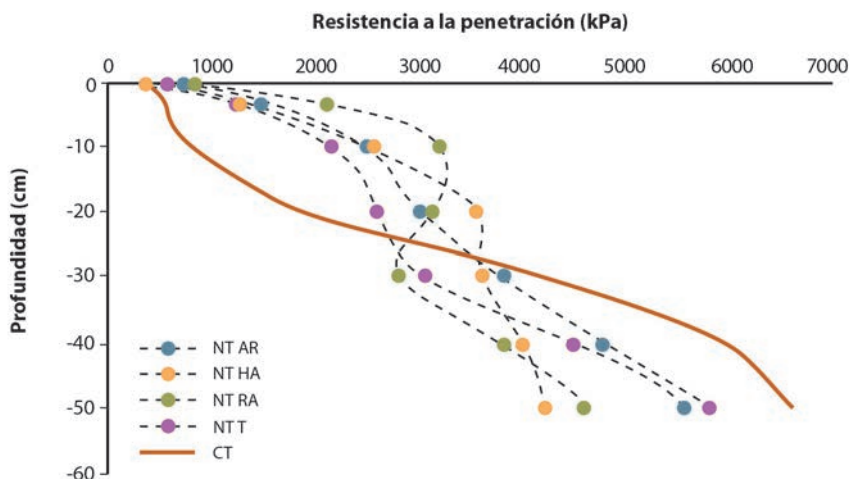


Figura 3.5. Efecto de la rotación de cultivos en la resistencia a la penetración de suelo en un sistema de labranza cero.

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.

MANEJO DE RASTROJOS DE CEREALES

4

Jorge Riquelme S.

Ingeniero Agrónomo, Dr.
INIA Raihuén

Mario Saavedra T.

Ingeniero Agrónomo
INIA Quilamapu

El manejo de rastrojo de cereales en la Región del Biobío ha sido tradicionalmente realizado mediante su eliminación por quema. Sin embargo, cuando éste no se quema y se deja en el suelo, presenta una serie de beneficios como: i) mejora la infiltración de las lluvias (TECA, 2006), ii) aminora los impactos de las gotas de lluvia sobre el suelo, iii) incrementa la retención de humedad en el suelo, iv) evita la acción directa del sol sobre el suelo, v) retarda la germinación de malezas, vi) disminuye la temperatura superficial durante el verano y la incrementa en invierno, evitando los cambios bruscos día y noche, vii) evita la acción erosiva del viento en inviernos y primaveras secas, viii) mejora el ambiente de la micro fauna del suelo, ix) los suelos cubiertos retienen mayor cantidad de humedad y por más tiempo. Sin embargo, cuando el rastrojo se quema se pierden estos beneficios.

Tanto el trigo como el maíz generan una gran cantidad de rastrojos, que deben ser correctamente manejados para asegurar el éxito del establecimiento de los cultivos posteriores.

En general los rastrojos constituyen entre un 55% y un 75% de toda la biomasa aérea del cultivo. La cantidad de residuos que pueden quedar en el suelo después de la cosecha depende del tipo de cultivo, su Índice de Cosecha (IC) y de su rendimiento.

Los rastrojos sobre el suelo se descomponen lentamente, a una velocidad que esta determinada principalmente por tres factores: humedad del rastrojo, temperatura y su relación carbono/nitrógeno (C/N).

A menor relación C/N, mayor es la tasa de descomposición. Debido a la alta relación C/N de los rastrojos de cereales y a los altos volúmenes de producción, sus rastrojos son los de mayor dificultad de descomposición.

4.1. Manejo de los rastrojos durante la cosecha

4.1.1. Rastrojos de maíz

El manejo de los rastrojos debe iniciarse al momento de la cosecha utilizando algunos aditamentos tanto en la salida de los sacapajas como de los harrereros de limpieza.

En el caso del maíz, donde las cañas durante la cosecha no se cortan, sino que las mazorcas son arrancadas de las cañas, la industria de la maquinaria ha ideado un sistema, en que por debajo del cabezal recolector va montado un sistema picador de caña denominado “Hichopper”. Esta tecnología está disponible en Chile; por ejemplo, el prestador de servicios don Heraldo Ojeda (Pinto, Ñuble, Región del Biobío), cuenta con la plataforma marca Geringhoff de origen alemana (Foto 4.1.).



Foto 4.1. Vista invertida de la plataforma de corte maicera con sistema de picado de tallos marca Geringhoff. (Foto Carlos Ruiz).

En la foto 4.2. se observa el trabajo realizado por la plataforma Geringhoff sobre un potrero de maíz.



Foto 4.2. Rastrojo de maíz posterior al paso de la cosechadora de maíz con plataforma de corte Geringhoff. (Foto Jorge Riquelme).

El costo de la cosecha convencional de maíz en la temporada 2014-2015 fue de \$70.000 por hectárea. El uso de plataforma maicera para corte de caña puede costar entre \$14.000 a \$17.000 adicionales.

4.1.2. Rastrojos de cereales de grano pequeño

Para el picado y esparcido de las pajas de trigo, avenas o cualquier cereal de grano pequeño, el mismo prestador de servicios dispone en sus máquinas cosechadoras New Holland CR8070 de flujo axial, con el esparcidor de paja Opti-Spread, que se monta detrás del picador de paja, y responde a cualquier necesidad en materia de ancho de distribución. El sistema se ha potenciado con la incorporación de la tecnología Dual-Chop. Todos los residuos pasan por un rastrillo especial cuyas afiladas cuchillas garantizan el picado muy fino de todo el material. Esto es bueno para los sistemas de mínima labranza o siembra directa. Para pasar de picado a hilerado sólo hay que cambiar la posición de una palanca que es fácil de accionar (Figura 4.1.).

El costo de una cosecha convencional de trigo o avena, temporada 2014 -2015, oscilaba entre \$45.000/ha a \$50.000/ha, y con el sistema de picado y esparcido puede alcanzaba \$15.000/ha más que el sistema convencional.

En el caso de cosechadoras convencionales, donde no se puede regular la altura de corte y las máquinas no cuentan con esparcidor de rastrojo, se puede utilizar la alternativa de enfardar, lo que deja la cola de la máquina. Los costos y tiempo operativo de estas labores se indican en el Cuadro 4.1.



Figura 4.1. Sistema de cambio rápido de acuerdo a la necesidad del manejo de rastrojo. (New Holland Brand Communication, 2007).

Cuadro 4.1. Tiempo operativo y costo de arriendo de equipos para enfardado de rastrojos de trigo para un rendimiento promedio de 48,8 qq/ha y altura de corte de 30 cm.

Equipo	Tiempo operativo (horas/ha)	Costo arriendo (\$/ha)*
Enfardadora convencional fardos de 20 kg.	1	59.000
Enfardadora fardos rectangulares de 500 kg.	0,66	57.000

(*) Costos sin IVA.

4.2. Triturado de los rastrojos después de la cosecha

Algunos productores, como don Santiago Lagos (Coihueco, Ñuble, Biobío), después de la cosecha con aditamento picador y esparcidor de rastrojos, prefieren utilizar un triturador de rastrojos para picar y desmenuzar las cañas que quedan sobre el suelo, para lo cual utilizan una trituradora de rastrojos Marca Becchio-Mandrile Modelo TS320 (Foto 4.3.).

Entre las características técnicas de la máquina, publicadas por la empresa Becchio-Mandrile 2014, están las siguientes: posee un ancho de trabajo de 3,2 metros, demanda la potencia de un tractor entre 90 a 100 HP, pesa 1300 kg, debe ser accionado por el toma de fuerza del tractor (TDF) impulsado a 1.000 rpm alcanzando de este modo las cuchillas en su giro las 2150 rpm, posee en total 72 cuchillas. Esta máquina es particularmente versátil y tiene amplias posibilidades de empleo. Es indicada para triturar hierbas, paja, tallos de maíz, hojas de remolacha, material leñoso (hasta 6 cm de diámetro). A una velocidad de avance de 4 km/hora, funciona a 540 rpm en el TDF, con un rendimiento de 5 ha/día en 8 horas de trabajo diario y se opera con tractor JD7500 (140 HP) a 1.800 rpm en el motor, con un consumo de combustible de 12 L/hora.



Foto 4.3. Tritrador de rastrojos Marca Becchio y Mandrill Modelo TS 320. (Foto Jorge Riquelme).

4.3. Mezclado de los rastrojos con el suelo

Los cultivos de alto rendimiento producen gran cantidad de paja, que contiene valiosos nutrientes que si se liberan en el suelo benefician el crecimiento del cultivo siguiente. La paja se descompondrá más rápidamente si se mantiene en contacto con la capa superficial, en los primeros 5 cm del suelo, donde las bacterias aeróbicas son más activas, por lo tanto la mezcla de paja con el suelo y otros residuos de cultivo en la parte superior del suelo, inmediatamente después de la cosecha, produce liberación de nutrientes en el suelo. Más cerca de la siembra, la paja descompuesta debe mezclarse más profundamente en el suelo, dejando el suelo limpio en la superficie para la germinación de las semillas y el establecimiento de raíces.

En algunos casos los productores prefieren pasar de inmediato luego de la cosecha, picado y esparcido de los rastrojos, un implemento que mezcle éstos con el suelo. Para ello se utilizan implementos como con una rastra marca Lemken modelo Rubin 9 (Foto 4.4.).



Foto 4.4. Rastra mezcladora de rastrojos marca Lemken modelo Rubin 9. (Foto Jorge Riquelme).

4.3.1. Características técnicas de los equipos mezcladores de rastrojos con el suelo

Un ejemplo de estos equipos son las rastras de disco Lemken Rubin. Están diseñadas para mezclar intensamente el suelo con la paja a profundidades de hasta 10 cm. Los discos de gran diámetro pueden garantizar que el implemento pueda incorporar tallos de maíz o cultivos de abono verde de gran altura. En contraste con los cultivadores de dientes convencionales, la rastra de disco compacta Rubin, tiene dos filas de discos cóncavos, con forma de ondas en la periferia, lo que permite mezclar bien el suelo con el material vegetal. El espacio entre las dos filas de discos es de 107 cm. Esto asegura el libre funcionamiento, incluso cuando no son grandes cantidades de material orgánico (Lemken, 2013).

Los discos están espaciados a intervalos de 25 cm a través del ancho de la máquina, para permitir el libre flujo de material entre ellos. El desplazamiento de la fila trasera con respecto a la primera fila es de 12,5 cm. Cada fila de los discos ondulados tiene la altura y el ángulo de rebote ajustable, controlando el flujo de suelo y cuando se trabaja en diagonal a través de las hileras ayuda a completar una distribución de las pajas a fondo. Discos exteriores de nivelación adicional permiten una alineación exacta con el paso anterior sin la formación de crestas. Cada disco está unido al bastidor por un desplazamiento del vástago para permitir un ajuste preciso (Lemken, 2013).

Debido a la combinación de la posición del disco y su ángulo, se maximiza la facilidad de penetración incluso en condiciones de suelo duro. Después de los discos siguen los rodillos, los que a partir de una amplia gama de la fábrica Lemken ofrecen un control de la profundidad exacta (Foto 4.5.).

Las máquinas que utilizan discos más pequeños tienen que trabajar más profundo para alcanzar el suelo completamente. El modelo Rubin tiene la capacidad de mover todo el suelo, incluso trabajando a poca profundidad, ofrece la posibilidad de reducir la necesidad de potencia y el consumo de combustible. Si el ángulo de corte del disco es menor que el del Rubin, puede que no sea posible mover todo el suelo a plena profundidad. Un disco de gran ángulo como el de Rubin permite buena penetración y que el disco mueva todo el suelo, incluso cuando se trabaja tan superficial como a 7 cm. Los discos festoneados cóncavos de Lemken Rubin

tienen un diámetro de 62 cm y un espesor de 6 mm. Esto garantiza una excelente calidad de trabajo. Los discos grandes tienen cuatro veces el área de contacto de los discos más pequeños. Los tiempos muertos se reducen. El tiempo de trabajo en el campo se maximiza y los costos de mantenimiento se reducen.



Foto 4.5. Rodillos posteriores de la rastra Rubin, mullen y controlan la profundidad de trabajo. (Foto Jorge Riquelme).

En los discos cóncavos Rubin se utilizan sólo rodamientos de bolas angulares axiales especiales, las que proporcionan funcionamiento libre de mantención. No hay necesidad de engrasar o ajustarlos. Tapones de rosca externos de cojinetes y un sellado interno aseguran una protección óptima del casete contra el polvo y la humedad (Figura 4.2.).

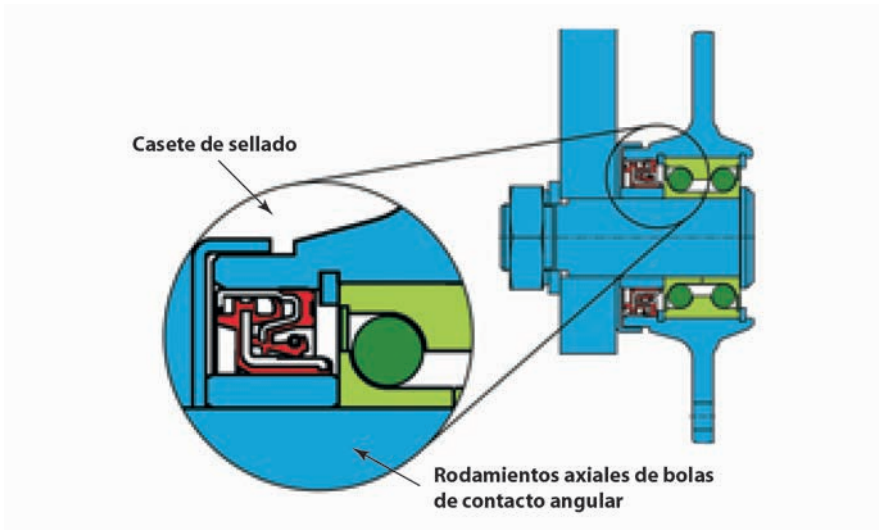


Figura 4.2. Discos con rodamientos sellados de larga duración. (Lemken, 2013).

Los cojinetes se encuentran en el lado trasero del disco, evitando la envoltura de cultivos, y protegidos de esta forma del desgaste por el suelo. Los discos cóncavos en el modelo Rubin se enganchan individualmente utilizando pre-tensión, con elementos de resorte. Con ello se garantiza que la presión óptima se mantenga siempre en los discos, lo que permite alta intensidades de trabajo. El diseño de la suspensión permite que los discos puedan levantarse por encima de obstáculos, pero impide movimiento hacia los lados. Los robustos muelles pretensados aseguran el mantenimiento más preciso de la profundidad de trabajo, incluso en los suelos más pesados y difíciles. Esto ha demostrado ser una importante ventaja en comparación con las almohadillas de goma que son más blandas.

Otra ventaja de esta suspensión es la protección de sobrecargas. Los discos cóncavos individualmente pueden desviarse hacia arriba de forma independiente el uno del otro para evitar los obstáculos, como por ejemplo piedras. Los muelles helicoidales garantizan que los discos cóncavos rápidamente vuelvan a su posición de trabajo una vez que hayan superado el obstáculo (Foto 4.6. y 4.7.).



Foto 4.6. Óptima suspensión de los discos. Lemken, 2013.



Foto 4.7. Mayor detalle del sistema de suspensión individual de cada disco. (Foto Jorge Riquelme).

Las características técnicas de las rastras Lemken Rubin 9 de discos montados, rígidos y plegables se muestran en el Cuadro 4.2.

Cuadro 4.2. Características técnicas de las rastras Lemken Rubin 9 con diámetro de discos de 62 cm.

Demanda de Potencia		Número de discos	Ancho de trabajo (m)	Peso aproximado sin rolos (kg)
(KW)	(HP)			
64 -92	86 -123	20	2,5	1480
77 - 110	103-147	24	3	1640
90 - 129	121-173	28	3,5	1800
103 -147	138 -197	32	4	1960

Fuente: Fabrica Lemken, 2013.

4.3.2. Utilización de equipos para el mezclado de los rastrojos

Don Santiago Lagos, de Coihueco, Ñuble, Región del Biobío, inmediatamente después del triturador, utiliza la rastra Lemken, modelo Rubin 9, tirada por un Tractor JD 6920S, funcionando entre 1.600 a 1.800 rpm en la marcha C4 a una velocidad entre 10 a 12 km/hora con un rendimiento entre 10 a 12 ha/día, en ocho horas de trabajo, con un consumo de petróleo 10 L/hora.

Luego, en febrero utiliza un implemento con mayor capacidad, Lemken Smaragd 9, para profundizar el trabajo mediante unos cultivadores que él mismo modificó. Este implemento va acompañado de unos discos que mejoran el mezclado de la paja con el suelo. Este implemento demanda una mayor potencia del tractor (Lemken, 2010).

La rastra Lemked Smaragd 9 es otra alternativa al manejo de rastrojos, que combina el trabajo de cinceles con escardillos de ala ancha, más un sistema de discos cóncavos que terminan de mezclar el suelo con los rastrojos, seguido por una rastra de dientes que ordena las pajas bajo el suelo, y finalmente un rodillo para compactar el suelo (Figura 4.3.).

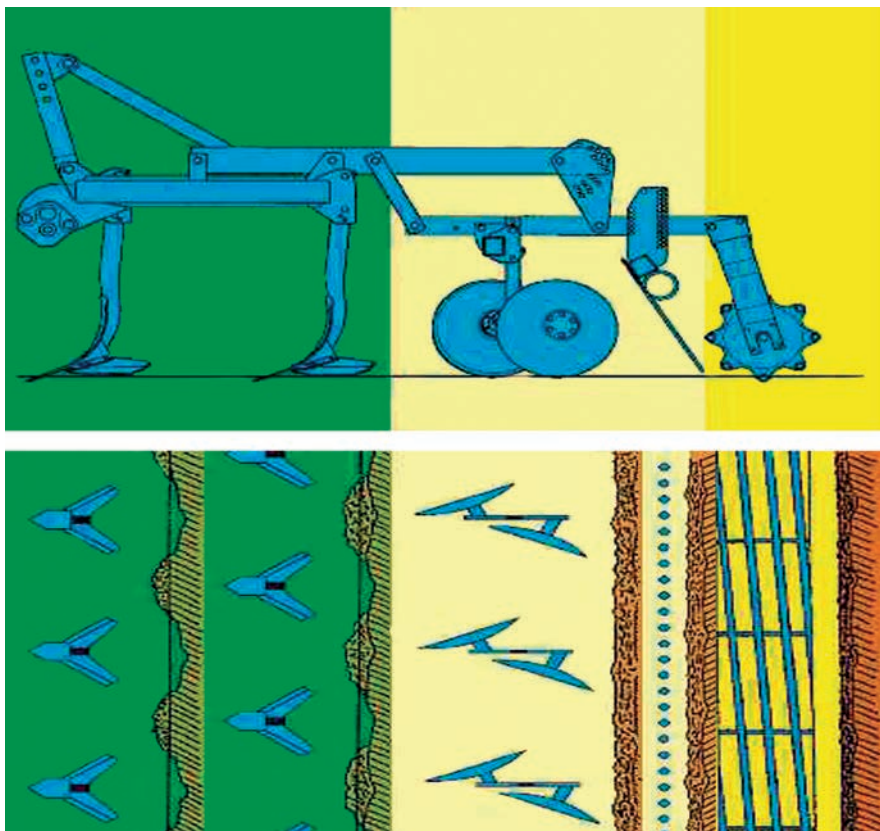
Este implemento se puede utilizar inmediatamente después del triturador de rastrojos (Foto 4.8.), de acuerdo a sus características técnicas (Cuadro 4.3.).

Cuadro 4.3. Características técnicas del cultivador Lemken Smaragd 9.

Demanda de Potencia		Cultivadores/ pares de discos	Ancho de trabajo (m)	Peso aproximado sin rolos (kg)
(KW)	(HP)			
85	114	6 / 2+1	2,6	891
99	133	7 / 3	3	973
132	177	9/4	4	1345

Fuente: Fabrica Lemken, 2013.

El cultivador Lemken Smaragd 9, en comparación a la rastra Lemken Rubin 9 (Cuadro 4.2.), demanda mayor potencia por unidad de ancho en su labor, a pesar de ser el cultivador proporcionalmente más liviano; esto se debe a la forma de trabajo del cultivador, que con un ángulo de ataque reducido, demanda menos peso para mantener los escardillos trabajando bajo el suelo.



<p>Primera línea de acción puntas de acción puntas de alas anchas.</p>	<p>Segunda línea de acción puntas de acción puntas de alas anchas</p>	<p>Discos cóncavos estratégicamente posicionados, en forma triangular.</p>	<p>Rastra para la paja con 10 dientes por metro</p>	<p>Rodillo jaula de 40 cm de diámetro</p>
<p>Puntas con alas de corte ancho y completo, remueve totalmente el suelo aún con poca profundidad de trabajo; trabajo libre debido a la gran distancia y el despeje del bastidor inferior</p>		<p>Nivela y mezcla el suelo removido con el material vegetal.</p>	<p>Nivela y mejora la distribución de la paja</p>	<p>Compactación óptima con exacto control de profundidad</p>

Figura 4.3. Diseño del cultivador Lemken Smaragd 9 y forma de operar.
Fuente: Fábrica Lemken, 2013.



Foto 4.8. Trabajo del cultivador Lemken Smaragd 9 sobre el rastrojo de cereal de grano pequeño. Fuente: Lemken, 2010.

La excesiva cantidad de rastrojos que complica el trabajo de los cultivadores a una mayor velocidad y la mayor demanda de potencia, ha hecho que los productores prefieran pasar primero la rastra Lemken Rubin 9, y luego, más adelante, utilizar el cultivador Lemken Smaragd 9, para mejorar la profundidad del trabajo, como lo asegura el agricultor Francisco Padilla de la comuna de Tucapel, Provincia de Biobío, Región del Biobío.

En general, la mayoría de los productores de la Región del Biobío prefieren pasar dos veces la rastra Lemken Rubin 9. La primera vez muy cerca de la cosecha, y la segunda antes de la siembra. Se considera un costo de arriendo por hectárea de \$30.000/ha, S/IVA, por cada pasada de la rastra.

Como alternativa al cultivador Lemken Smaragd 9, el mercado ofrece el cultivador Maschio Gaspardo Terremoto (Foto 4.9.).



Foto 4.9. Cultivador Maschio Gaspardo modelo Terremoto.

Como alternativa a la rastra Lemken Rubin 9, el mercado ofrece la rastra Maschio Gaspardo UFO. Posee discos cóncavos de 610 mm de diámetro. Es el mayor en su categoría y permite aumentar la profundidad de la labranza en comparación con las gradas de discos tradicionales. Este elemento es muy agresivo debido a sus ángulos pronunciados en la dirección de trabajo (22°) y verticales al suelo (10°). La amplia altura con respecto al suelo y sus hileras bien espaciadas (1 metro) permiten trabajar a velocidades muy elevadas (hasta 15 km/h) con un riesgo mínimo de obstrucción de suelo o residuos (Maschio, 2012). (Foto 4.10.).



Foto 4.10. Rastra incorporadora de rastrojos Marca Maschio Modelo UFO.

En la figura 4.4. se ilustra en detalle el funcionamiento del resorte de sección cuadrada de doble espiral de la incorporadora de rastrojos Marca Maschio Modelo UFO. El resorte de sección cuadrada de doble espiral, ilustración A, posibilita la oscilación tridimensional del elemento que, debido a la elevada velocidad de labranza, se transforma en vibración continua, ilustración B., muy eficaz para mejorar la acción del mullimiento del suelo (Maschio, 2012).

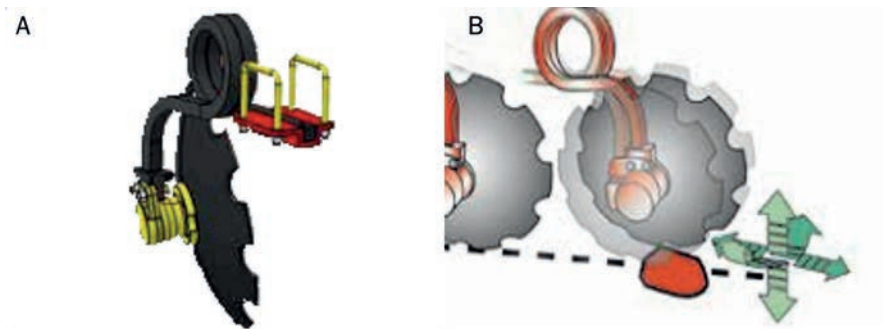


Figura 4.4. Detalle del funcionamiento del resorte de sección cuadrada de doble espiral. Fuente: Maschio, 2012.

En el Cuadro 4.4. se muestran las características técnicas de la rastra Maschio UFO.

Cuadro 4.4. Características técnicas de las rastras Maschio UFO.

Demanda de Potencia		Número de discos	Ancho de trabajo (m)	Peso aproximado con rodillo Packer compactador (kg)
(KW)	(HP)			
81- 103	109 -138	20	2,5	2605
110 - 125	147-168	24	3	3048
132 -147	177 -197	32	4	3980

Fuente: Fábrica Maschio, 2012.

4.4. Consideraciones finales

El manejo de rastrojos presenta una serie de dificultades que han sido resueltas por la industria de maquinaria agrícola europea. En la Región del Biobío, agricultores pioneros han introducido esta tecnología, logrando promisorios resultados. Es importante difundir estos resultados para que productores medianos y pequeños puedan acceder a esta tecnología.

4.5. Literatura consultada

- Becchio-Mandrile. 2014.** Macchine agricole a Savigliano (CN). Milan. Italy.
- Gaspardo. 2005.** Modelo Terremoto. Al Tagliamento Italy . 4 p. Morsano.
- Lemken. 2013.** Compact disc harrow Rubin 9. Weseler Straße 5 D-46519 Alpen, Alemania. 12 p.
- Lemken. 2010.** Smaragd Disc Cultivator. Weseler Straße 5 D-46519 Alpen. Alemania 12 p.
- Maschio. 2012.** PRESTO UFO. Padoba, Italia 20 p.
- New Holland Brand Communications. 2007.** 36 p. Bts Adv. - Printed in Italy - 11/13 - TP01 – Turin, Italy.
- TECAS. 2006.** Manejo de rastrojos y labranza conservacionista. Disponible en <http://teca.fao.org/es/read/3785> (Consultado 3 de febrero 2015).

FERTILIZACIÓN DE CULTIVOS CON MANEJO DE RASTROJOS

5

Erick Zagal V., M.Sc., Ph.D.
Patricia Morales C., M.Sc.
Departamento de Suelos y
Recursos Naturales
Facultad de Agronomía
Universidad de Concepción

En la costa de la Región del Biobío se presentan suelos derivados de terrazas marinas y de relieve plano a ligeramente inclinado, de colores pardo rojizos asociados a otros con menor evolución. Así, están los suelos del orden Ultisoles, los que se encuentran en sus últimos estados de evolución, y se ubican en las serranías interiores entre Los Ángeles y Loncoche y en el sector costero frente a la Isla Mocha. En las partes altas de la Cordillera de la Costa son delgados y presentan problemas de drenaje. En la parte oriental son de colores rojos y pardos rojizos, moderadamente profundos y con elevado contenido de arcilla. En los valles interiores se presentan suelos aluviales, que pertenecen a los órdenes Alfisoles, Mollisoles y Entisoles, con predominio de los primeros. En la zona entre Los Ángeles y Malleco, los Entisoles son suelos aluviales de desarrollo moderado, junto a suelos de texturas gruesas, formados a partir de arenas gruesas basálticas. Presentan una rápida permeabilidad aun cuando hay sectores que muestran un nivel freático alto. También se encuentran los suelos de la Cordillera de los Andes, que se caracterizan porque han derivado de materiales volcánicos vítreos y de texturas gruesas, y están ubicados en los sectores de más fuerte relieve de la Cordillera de los Andes. La presencia de suelos de origen volcánico (trumaos), los que son pertenecientes a los órdenes Andisoles e Histosoles, se encuentran en la precordillera frente a Chillán, Los Ángeles y hasta Temuco (CIREN-CORFO, 1996).

Las condiciones edafoclimáticas diversas implican el desarrollo de distintas áreas agroecológicas (Figura 5.1.), donde se han realizado esfuerzos para reducir las

brechas productivas, enfocándose en transferir en forma efectiva los nuevos conocimientos y desarrollos generados por la I+D+i (Investigación, Desarrollo, innovación) a los productores agrícolas. Las zonas agroecológicas de trabajo con manejo de residuos se indican a continuación:

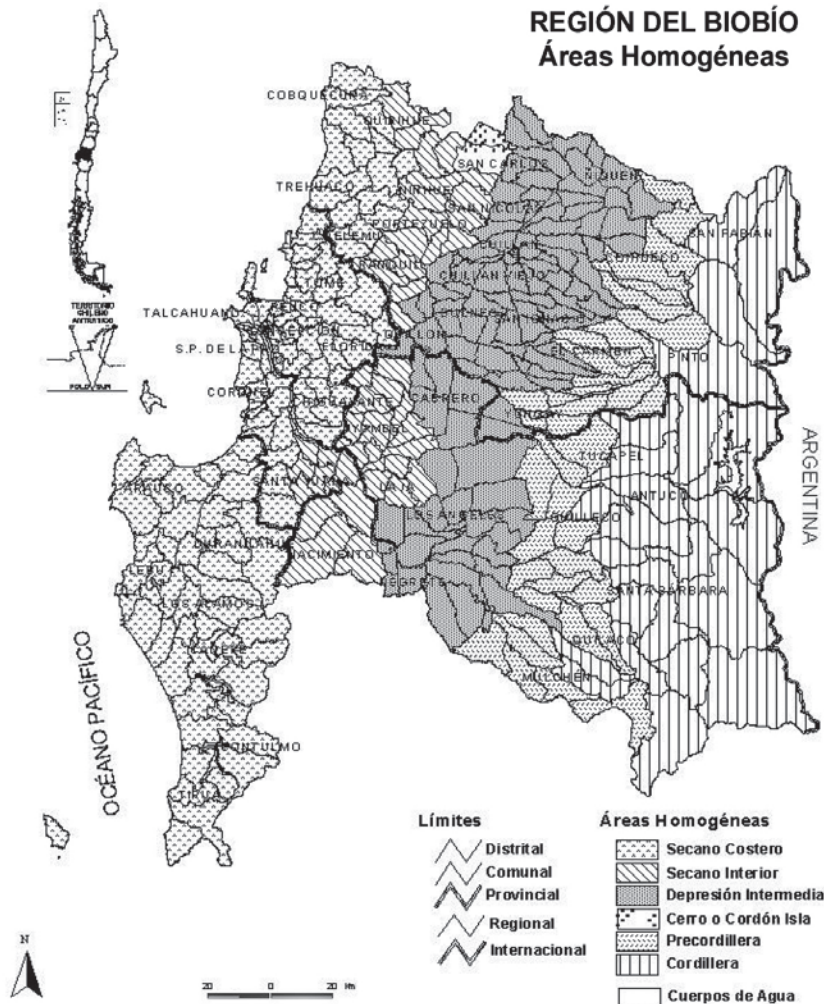


Figura 5.1. Mapa de distribución de áreas homogéneas de la Región del Biobío. Fuente: Odepa, 2000.

Área homogénea secano interior. Se extiende entre las regiones de Valparaíso y de La Araucanía, abarcando fundamentalmente la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa. A nivel nacional comprende un total de 39.799 explotaciones agrícolas, con una superficie agrícola utilizada de 1.523.783 hectáreas.

Área homogénea secano costero. Considera a la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa, a las terrazas litorales y a los distritos con influencia climática costera comprendidos entre las regiones de Atacama y Los Lagos. A nivel nacional comprende un total de 43.727 explotaciones agrícolas, con una superficie agrícola utilizada de 2.182.167 hectáreas.

Área homogénea precordillera. Considera las zonas de pendientes suaves de los contrafuertes de la Cordillera de Los Andes, entre las regiones de Arica y Parinacota y de Los Lagos. En ellas se distinguen 16 sub-áreas, cuyos límites obedecen a sus características climáticas y disponibilidad de agua de regadío. La superficie nacional clasificada dentro de esta categoría corresponde a 28.147 explotaciones agrícolas, con una superficie efectivamente utilizada de 1.933.272 hectáreas. Para efectos del presente estudio las áreas de interés corresponden a la sub-área que abarca la precordillera de las regiones del Maule, Biobío y comuna de Collipulli en La Araucanía.

Las principales características físico-químicas de los suelos representativos de las zonas agroecológicas evaluadas se presentan en los cuadros 5.1 y 5.2.

Cuadro 5.1. Descripción de los suelos representativos de las áreas agroecológicas evaluadas.

Parámetros	Zona agroecológica		
	Secano Costero Cañete	Secano Interior Yumbel	Precordillera San Ignacio
Serie de Suelos predominante	Antihuala y Paicaví	Santa Teresa	Santa Bárbara
Clasificación taxonómica	Humic Hapludults	Typic Endoaquolls	Typic Haploxerands
Textura	Arcilloso	Arenoso	Franco limoso
Arena, % (prom. 0-20 cm)	8	92	8
Limo, % (prom. 0-20 cm)	33	7	66
Arcilla, % (prom. 0-20 cm)	59	1	26

Fuente: Stolpe, 2005.

Cuadro 5.2. Caracterización química de suelos representativos de las áreas agroecológicas evaluadas.

Parámetros	Cañete	Yumbel	San Ignacio
pH	5,0	6,6	6,2
Materia orgánica (%)	7,6	3,2	13,9
N disponible (mg/kg)	67	9	20
Fósforo disponible (mg/kg)	15	11	5
Potasio disponible (mg/kg)	147	250	193
Calcio inter. (cmol/kg)	3,7	6,7	6,3
Magnesio inter. (cmol/kg)	1,30	2,3	0,8
Sodio inter. (cmol/kg)	0,11	0,15	0,05
Azufre disponible (mg/kg)	6,8	1,0	25
Aluminio interc. (cmol/kg)	0,70	0,01	0,03
CICE (cmol/kg)	6,19	9,79	7,70
Hierro (mg/kg)	41,7	48,9	25,0
Manganeso (mg/kg)	121,5	6,1	1,8
Cinc (mg/kg)	1,8	0,5	0,4
Cobre (mg/ kg)	2,8	1,8	1,0
Boro (mg/kg)	0,40	0,10	0,04

Se recomienda tener en consideración las siguientes estrategias generales de manejo bajo un sistema de cero o mínima labranza, considerando solo las características físico-químicas señaladas para cada grupo de suelos:

Cañete. Desde el punto de vista de las características físicas, este suelo posee una textura arcillosa, lo cual le confiere mayor capacidad de retención de agua, lo que sumado a la presencia de una cobertura vegetal que trae consigo un sistema de cero o mínima labranza, favorece la pérdida de nitrógeno (N) a través de la desnitrificación. Este fenómeno se debe a que, en condiciones de mucha humedad en el suelo, la falta de oxígeno obliga a ciertos microorganismos a emplear nitrato como aceptor de electrones, en vez de oxígeno en su respiración. Por otra parte, cabe señalar que esta textura del suelo tiende a proteger la materia orgánica (MO) (protección física); además de que al existir una menor temperatura se produce una menor mineralización, lo que desde el punto de vista de nutrición vegetal implica que se debería aplicar una mayor cantidad de N para lograr similares rendimientos que en un sistema convencional. Las recomendaciones generales fluctúan entre 10-45 kg de N/t de rastrojo. Desde el punto de vista de la fertilidad química, un aspecto muy importante a tener en consideración son los bajos niveles de pH del

suelo (5,0), situación que debe ser mejorada realizando la aplicación de algún material encalante que permita subir significativamente los valores de pH, hasta valores que permitan una mayor disponibilidad de nutrientes (pH cercano a 6). Producto de los bajos valores de pH es posible observar una baja disponibilidad de calcio (Ca), fósforo (P), azufre (S) y boro (B); a la vez se observan niveles excesivos de manganeso (Mn) en el suelo.

Yumbel. Desde el punto de vista de las características físicas, este suelo posee una textura arenosa, lo que le confiere una baja capacidad de retención de agua, alta presencia de macroporos, haciéndolo altamente susceptible a pérdidas de N y en menor medida de potasio (K), a través de la lixiviación ante un evento de lluvia y/o riego excesivo. Las recomendaciones generales en este caso, especialmente respecto del manejo del N, sería aplicar lo que demanda el cultivo a establecer, procurando una adecuada parcialización que permita hacer disponible este nutriente en las etapas fenológicas de mayor demanda. En general, se observan bajos niveles de reserva de P, S, Zn y B. Para el caso del P se debiera aportar nutrientes no tan solo para abastecer la demanda del cultivo, sino también para llevar el suelo donde exploran las raíces a niveles de suficiencia (aproximadamente 15-20 mg/kg), antes de comenzar con un sistema de cero o mínima labranza. Una vez alcanzados los niveles de suficiencia en el suelo solo se debería aportar la demanda según el rendimiento esperado. Finalmente, también es importante la corrección de los niveles de microelementos en el suelo.

San Ignacio. Desde el punto de vista de las características físicas, este suelo posee una textura franco limosa, haciéndolo poco limitante para sistemas de cero o mínima labranza, siempre que no posea problemas de compactación o pie de arado, ante lo cual lo recomendable es realizar un cincelado, aproximadamente cada 4 años, con el objetivo de favorecer la aireación del suelo y mejorar la infiltración de agua. Desde el punto de vista de la fertilidad química, la principal limitante que posee este tipo de suelos es la alta fijación de P, ante lo cual se debe procurar llevar el suelo explorado por las raíces hasta niveles de suficiencia (aproximadamente 15-20 mg/kg), antes de comenzar con un sistema de cero o mínima labranza; esto permitirá que en fertilizaciones posteriores con este elemento solo sea necesario aportar lo que extrae el cultivo a establecer. Otro punto importante, de acuerdo a las características químicas del suelo, es la corrección de los niveles de reserva de los micronutrientes, que en suelo tomado como ejemplo presenta niveles insuficientes de reservas para Mn, Zn y B.

5.1. Sistemas de labranza y su relación con fertilidad del suelo

Actualmente, gran parte de los sistemas de cultivos de Chile se realizan bajo sistemas de labranza tradicional, que consiste en la quema de rastrojos del cultivo anterior y el corte e inversión con arado de los primeros 20 cm del suelo, que corresponde a la zona de crecimiento activo de las raíces de los principales cultivos. Esta labor de labranza de suelo permite una mezcla homogénea de los nutrientes en la capa arable, especialmente de nutrientes inmóviles tales como el P, facilitando el desplazamiento de éste hacia la zona de raíces primarias. Este sistema de labranza facilita la mineralización de nutrientes y permite una disminución del desarrollo de plagas y enfermedades. Sin embargo, se producen pérdidas de suelo, y por ende de elementos nutritivos, principalmente por erosión. Además el suelo se compacta por el tráfico de maquinaria y ocurre una rápida mineralización de la MO, afectando las propiedades físicas del suelo, y perdiéndose una importante cantidad de carbono a la atmósfera.

El contenido de MO disminuye progresivamente en un suelo que es sometido a labranza año tras año; es así como se han encontrado disminuciones de hasta un 50% del contenido de MO en un suelo manejado con labranza continua durante más de 30 años consecutivos (Acevedo y Silva, 2003). A modo de ejemplo, experimentos de largo plazo realizados por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) en condiciones de riego en el valle central de la Región del Biobío, han cuantificado una pérdida de un 1% de la MO del suelo en un periodo de tiempo de 8 a 10 años, para diferentes rotaciones de cultivos, con y sin inclusión de praderas (Informe FONTAGRO, 2014). En contraste de lo anterior, las prácticas de cero o mínima labranza provocan un cambio importante en la disponibilidad y distribución de MO y nutrientes en la capa arable del suelo. En cero labranza prácticamente todo el rastrojo del cultivo anterior queda sobre la superficie, lo que trae consigo efectos importantes sobre algunos parámetros del suelo, como acidificación superficial debido a la aplicación de fertilizantes y enmiendas, MO y mineralización de N, estratificación de nutrientes semi-móviles e inmóviles en la superficie del suelo debido a la no incorporación en el perfil del suelo (Tucker y Messick, 1995; Beegle, 1996; Acevedo y Silva, 2003).

5.1.1. Acidificación superficial del suelo

La acidez del suelo es causada por la presencia de iones (H^+) y aluminio (Al^{++} y Al^{+++}) en la solución de suelo, lo cual se expresa a través de la medición del pH. Los valores de pH en el suelo tienen una gran influencia sobre la disponibilidad de macro y microelementos, así como de la presencia de elementos tóxicos como el aluminio. En general, el valor óptimo de pH donde existe una mayor disponibilidad de nutrientes para los cultivos, fluctúa entre 6 a 7. Con valores de pH bajo este rango óptimo, aumenta la disponibilidad de aluminio, lo cual puede restringir severamente el crecimiento de las raíces y con esto la absorción de agua y nutrientes, afectando también la efectividad de algunos herbicidas.

Existen varios factores que pueden tener influencia sobre la disminución del pH o acidificación del suelo, entre ellos el proceso de descomposición de la MO, y la lixiviación de iones básicos. Sin embargo, la fuente más significativa de acidificación está dada por la utilización de fuentes amoniacales de aporte de N, principalmente la urea. En los suelos agrícolas, la acidez del suelo es manejada mediante la aplicación de materiales encalantes, práctica que consiste en agregar al suelo, compuestos de Ca y/o Mg, que sean capaces de neutralizar la acidez del suelo, elevando de esta forma el pH y bajando los niveles de Al.

En labranza convencional, el efecto de la aplicación de los materiales encalantes es uniformemente distribuido a través de la capa arable, situación que no ocurre especialmente en cero labranza, dado que no hay inversión del suelo, por tanto la recomendación general es normalizar los niveles de pH y reservas nutricionales en la capa arable, previo a comenzar a trabajar bajo un sistema de cero o mínima labranza. La dosis de material encalante a utilizar va a depender de la capacidad tampón que tenga el suelo. Este parámetro consiste en el cambio de pH que se logra con la aplicación de una tonelada de cal en una ha de superficie, considerando los primeros 20 cm de suelo. La capacidad tampón de un suelo está determinada principalmente por la capacidad de intercambio de cationes, Al intercambiable, niveles de materia orgánica, porcentaje de arcilla, tipo de arcilla, entre otros. De esta manera, suelos como los derivados de cenizas volcánicas se modifican solamente 0,12 unidades de pH por tonelada de cal aplicada, presentando en consecuencia menor capacidad tampón y mayor requerimiento de cal para modificar su pH comparado con suelos de alta capacidad tampón como los aluviales de textura arenosa (Ver Cuadro 5.3).

Cuadro 5.3. Capacidad tampón de diferentes grupos de suelo y cantidades de CaCO₃ puro para incrementar el pH en 0,1 unidad.

Grupo de suelos	CTpH [CaCO ₃ (t/ha) 0,2 m]	Cantidad de CaCO ₃ para incrementar 0,1 unidad de pH (kg/ha)
Trumao	0,11	909
Rojo arcilloso	0,15	667

Fuente: Bernier y Alfaro, 2006.

CTpH: Cantidad de CaCO₃ necesaria para subir en 0,1 unidades de pH-H₂O de una hectárea de suelo hasta una profundidad de 0,20m.

La calidad de los distintos materiales encalantes disponibles en el comercio se determina a través de distintos parámetros físico-químicos, que pueden ser cuantificados en un laboratorio especializado, y que dan cuenta de su valor agronómico, lo cual está influenciado por cuan fino es el producto, valor neutralizante y su contenido de humedad (Cuadro 5.4).

Cuadro 5.4. Caracterización físico-química de los principales materiales encalantes disponibles en el comercio.

Producto comercial	Valor agronómico
Soprocal	0,9
Magnecal	0,98
Conchas molidas	0,90-0,95
Fango de cal	0,4-0,6

Fuente: Bernier y Bortolameolli, 2000.

Ejemplo de cálculo de dosis de cal:

Para calcular la dosis de cal necesaria para producir un determinado cambio en el pH del suelo se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$\text{Dosis de cal (ton/ha)} = \frac{(\text{pH final} - \text{pH actual})}{(\text{Capacidad tampón del suelo} \times \text{Valor agronómico de la cal comercial})}$$

donde,

Dosis de cal (t/ha): corresponde a la dosis a aplicar por hectárea de producto comercial.

pH final: corresponde al valor de pH óptimo al cual se desea llegar en el suelo.

pH actual: corresponde al valor de pH que entrega el análisis de suelo.

Capacidad tampón, dependiente del grupo de suelos a corregir el pH (Cuadro 5.3.)
Valor agronómico (Cuadro 5.4.)

Ejemplo:

Un productor de cereales en un suelo trumao de precordillera que tiene un pH de 5,6, desea incrementar el pH a un valor de 5,8. Dispone del producto Soprocal, que tiene un valor agronómico de 0,9. ¿Cuál es la cantidad de Soprocal que debe aplicar por hectárea?

$$\text{Dosis de cal comercial (t/ha)} = \frac{(5,8 - 5,6)}{(0,12 \times 0,9)}$$

$$\text{Dosis de Soprocal} = 1,9 \text{ t/ha}$$

5.1.2. Materia orgánica y ciclo del nitrógeno (N)

Suelos con altos niveles de MO tienen mejor capacidad de retención de agua y nutrientes, resisten mejor la erosión porque tienen una mejor estabilidad de agregados, infiltración de agua, drenaje, además tienen capacidad de sustentar una mayor población de microorganismos del suelo, lo que es importante para el reciclaje de nutrientes. La labranza rompe los agregados del suelo, aumentando con esto su área superficial y aireación, lo cual aumenta la mineralización de N con la consecuente disminución del contenido de materia orgánica, ya que esta es la fuente principal de N mineralizable.

Para aumentar un punto porcentual de MO en los primeros 15 cm de suelo, se requiere aproximadamente 1000 kg de N/ ha (asumiendo una relación C:N = 20:1). Todo lo anterior implica que cuando se practica la cero o mínima labranza, se requiere realizar adecuadas prácticas de fertilización de este nutriente para la optimización de la producción y mantenimiento de la MO del suelo. El N es uno de los nutrientes que las plantas requieren en mayores cantidades, pudiendo ser aportado a través de la fertilización nitrogenada o naturalmente a través de ciertas bacterias del suelo, que tienen la habilidad de sintetizar N mediante la asociación con las raíces de las leguminosas. Solo un 2% de N presente en el suelo está como N-NH_4^+ y N-NO_3^- , que corresponde a las formas minerales directamente disponibles para la absorción por las especies vegetales, en tanto que el otro 98% de N presente en el suelo está relacionado con la materia orgánica del suelo.

Las formas orgánicas de N llegan a ser disponibles para los cultivos sólo cuando son convertidas a N amoniacal (N-NH_4^+) por los microorganismos del suelo, en un proceso llamado mineralización. Posteriormente un proceso llamando nitrificación convierte el N amoniacal a N nítrico (N-NO_3^-), que es la principal fuente de N que utilizan las plantas. En el suelo, el N mineral está expuesto a una serie de procesos debido a la interacción tanto del clima como de los microorganismos presentes. Cabe señalar que la textura de suelo también influye en el proceso de mineralización, es así como en suelos de texturas finas existe una menor mineralización debido a una menor temperatura del suelo, mayor protección de la MO dentro de los agregados del suelo y/o menor aireación. De esta forma, una mayor cantidad de N debería ser aplicada en suelos de texturas finas y medias para lograr rendimientos similares, comparado con sistemas bajo labranza convencional. En relación al efecto del manejo del N en sistemas de cero o mínima labranza, los grandes cambios están dados por el manejo del N.

El efecto protector de dejar residuos en la superficie causa varios cambios que ocurren en el suelo, los cuales afectan la eficiencia de uso del fertilizante nitrogenado. La cobertura reduce la escorrentía, incrementa la infiltración de agua y reduce la evaporación; adicionalmente produce una baja en la temperatura del suelo, lo cual se traduce en altos contenidos de humedad que pueden redundar en alta susceptibilidad a la lixiviación.

A continuación se presenta el comportamiento del N y las prácticas de manejo a tener en consideración bajo sistemas de labranza de conservación:

Mineralización e inmovilización. Bajo condiciones de elevada relación C/N de los residuos que se dejan sobre la superficie, como rastrojo de cereales (relación C/N mayor a 30), se retarda el proceso de amonificación, lo que provoca la inmovilización del N y disminuye la actividad microbiana durante el proceso de descomposición inicial. Esto se debe a que existe muy poco N para satisfacer las demandas de la microflora, y la liberación del N ocurre luego de la muerte y descomposición de los microorganismos.

El N liberado puede ser absorbido por las plantas o nuevamente por otros microorganismos. Con relaciones C/N entre 20 y 30 puede que no haya ni inmovilización ni liberación de N mineral. Con relaciones C/N menores de 20 hay

una liberación de N al principio del proceso de descomposición. Durante las etapas iniciales de la descomposición de los rastrojos existe un rápido aumento de los organismos heterótrofos, acompañado por la producción de grandes cantidades de dióxido de carbono. Al ser la relación C/N alta, hay una inmovilización neta de N. Luego la relación C/N se hace más pequeña y el suministro de C disminuye. Una proporción de los microorganismos muere debido a la disminución del alimento disponible, y se alcanza por último un nuevo equilibrio que va acompañado por la liberación de N mineral. Los procesos anteriormente mencionados ocurren en forma natural en el suelo, sin embargo para favorecer la descomposición de rastrojo lo habitual es agregar N adicional, de esta forma el tiempo requerido para alcanzar este equilibrio va a depender de distintos factores, tales como el clima (humedad y temperatura), cantidad de rastrojo añadido, dosis de N aplicado para acelerar el proceso, resistencia del material vegetal al ataque microbiano y nivel de actividad de la microflora del suelo.

Según Stevenson y Cole (1999), bajo condiciones experimentales de laboratorio favorables para la actividad microbiana, es decir, con temperaturas entre 25-35°C, donde la mineralización es óptima, se estima que la mineralización neta ocurre 4-8 semanas posterior a la aplicación de la fuente nitrogenada. Llevado a las condiciones locales de secano, implica que para cultivos de otoño existe un lapso de tiempo mínimo previo a la siembra, con humedad y temperatura adecuadas, que permita lograr una descomposición suficiente del rastrojo del cultivo anterior, situación que se mejora al incluir como cultivo previo una leguminosa, pues la baja relación C/N en comparación con rastrojo de cereales, implica que ese equilibrio se alcanzará en un tiempo menor. Por otra parte, bajo condiciones del valle central regado, donde mayoritariamente se establecen cultivos de primavera, esto permite la realización de las prácticas agronómicas bajo condiciones climáticas más adecuadas, favoreciendo la descomposición de los rastrojos del cultivo anterior. Lo anterior ha permitido que este tipo de prácticas esté cada vez más masificado entre los productores agrícolas del valle central.

Desnitrificación. Corresponde a la conversión del nitrato en varias formas gaseosas, tales como óxido nitroso (N_2O), N elemental (N_2) y óxido nítrico (NO). Estas formas de N no son disponibles para las plantas, y se pierden fácilmente hacia la atmósfera por volatilización. Este fenómeno se debe a que en condiciones de mucha humedad en el suelo, la falta de oxígeno obliga a

ciertos microorganismos a emplear nitrato como aceptor de electrones, en vez de oxígeno en su respiración. Algunas de las propiedades de los suelos en cero o mínima labranza sugieren que las pérdidas por desnitrificación pudieran ser mayores que en los suelos con labranza convencional, como consecuencia de una mayor cantidad de MO producto de dejar los residuos en la superficie, además de una mayor compactación y menor densidad aparente que pueden tener algunos suelos en labranza de conservación, como ocurre con los suelos de texturas más finas, junto con la mayor humedad presente bajo suelos sometidos a este sistema de labranza.

Lixiviación. La presencia de rastros modifica el balance hídrico, disminuyendo las pérdidas por escorrentía y evaporación, en consecuencia aumentando la infiltración de agua. De esta forma, al tener una mayor capacidad de retención de agua, también son mayores las probabilidades de incrementar la lixiviación, especialmente en suelos con buen drenaje, y que ante un evento de lluvia intensa inmediatamente después de la aplicación de fertilizantes, podría provocar que el N a la forma de nitrato fuera lixiviado a través de los macroporos del suelo (formados en el suelo al no existir labranza convencional), perdiéndose en profundidad. El nitrato es fácilmente lixiviado dado que es altamente soluble en agua y además tiene carga negativa, por lo que no es retenido por las partículas del suelo, que también están cargadas negativamente.

Volatilización. La urea es un fertilizante bastante usado por razones de costo, sin embargo, los fertilizantes amoniacales tienen altas pérdidas de N por volatilización del amoníaco (NH_3) en suelos con pH superiores a 7,0, como podría ser el caso de algunos suelos de textura arenosa. El uso de urea en estos suelos requiere que el rastrojo se riegue o existan posibilidades de lluvia antes o después de la aplicación del fertilizante. Al usar urea en suelos ácidos, se recomienda agregar carbonato de calcio dos meses antes sobre la superficie del suelo para evitar problemas de acidificación. Por cada 100 kg de urea se debe aplicar aproximadamente 160 kg de carbonato de calcio para su neutralización. Existen varias formas para afrontar este problema: utilización de otras formas de N, tales como nitrato de amonio o sulfato de amonio, también prácticas como la mínima labranza permiten la incorporación del N permitiendo una adecuada mezcla del fertilizante con el suelo, reduciendo de esta forma las pérdidas por volatilización.

La volatilización también puede ser disminuida aplicando el fertilizante nitrogenado en banda en vez de realizar aplicaciones al voleo. Otra vía para evitar las pérdidas de N por volatilización es, durante el ciclo del cultivo, retardar la aplicación hasta la época de mayor demanda del cultivo, reduciendo al máximo la cantidad de tiempo que el N está sobre el suelo expuesto a pérdidas (como es el caso de las aplicaciones de N vía fertirriego en algunos cultivos más industrializados), adicionalmente se pueden utilizar fertilizantes nitrogenados que incorporan tecnologías inhibitoras de la volatilización.

En relación a la cantidad de N a agregar al suelo para favorecer la descomposición de rastrojos de cultivos anteriores, esto va a estar relacionado al tipo de cultivo presente en la rotación. De esta forma, rastrojos de leguminosas, capaces de fijar el N atmosférico, tienen una relación C/N más baja en comparación al rastrojo de gramíneas. Un rastrojo de porotos contiene 1,2 a 1,6% de N, el maíz 0,7 a 1,0%, y la caña de trigo 0,2 a 0,6%, por lo tanto el rastrojo de trigo requerirá más N adicional que el de maíz y que el de porotos. Aquellos rastrojos que contengan más de un 1% de N no requieren de aplicaciones adicionales.

En el siguiente ejemplo se presenta una forma de determinar los requerimientos de N según el nivel de rastrojos y la relación C/N de este:

En 7 t/ha de rastrojo de avena, con una relación C/N 80:1, ¿Qué cantidad de N hay que aplicar para que no se produzca inmovilización de N? Expresar en kg de Urea. El C contenido en el rastrojo de avena es aproximadamente el 50% de la materia seca. Entonces en 7 t de rastrojo hay 3.500 kg C y 44 kg N. Luego para lograr una relación 30:1 y evitar la inmovilización de N, debería haber 117 kg N/ha en vez de 44 kg N/ha, por lo que habría que aplicar 73 Kg N/ha. En consecuencia, si la urea tiene 46% de N, habría que aplicar 159 kg/ha de urea.

Una recomendación general de aplicación de N para descomposición de rastrojos sería: en rastrojo de trigo y otros cereales menores agregar de 10 kg de N/ t de rastrojo, en tanto que para maíz agregar 7 kg de N/t de rastrojo. Es posible disminuir los valores antes señalados en la medida que se tenga conocimiento cierto de los aportes de N del suelo y que este N esté disponible para la biomasa microbiana que permite la descomposición del rastrojo.

Estratificación de nutrientes. El P es el nutriente más afectado por el sistema de labranza utilizado, debido a las características de baja movilidad en el perfil del suelo. Desde el punto de vista de la nutrición de los cultivos, el P en el suelo se encuentra dividido en tres fracciones: P lábil, P no lábil y P de la solución suelo. El P lábil corresponde al P adsorbido por la superficie de la fase sólida del suelo y se encuentra en equilibrio con el P de la solución, el P no lábil no está disponible para los cultivos. Respecto del comportamiento del P en el suelo, este se caracteriza por su casi nula movilidad a través del perfil, por lo que las vías de pérdidas de este elemento son principalmente por escorrentía y erosión. En cuanto a las formas químicas del P en el suelo, estas son determinadas por el pH del suelo. La mayor parte del P está disponible para las plantas a un rango de pH entre 6,5-7,0. En soluciones muy ácidas predomina el PO_4H_2^- , forma química susceptible de formar fosfatos hidroxidados insolubles con Fe, Al o Mn, mientras que en soluciones muy alcalinas predomina el anión $\text{PO}_4=$, en este caso se puede producir una precipitación de los fosfatos provocada por los compuestos cálcicos presentes. En niveles intermedios de pH están presentes simultáneamente PO_4H_2^- y PO_4H^- , siendo el primero más aprovechable para la planta.

La habilidad para fijar P varía de acuerdo a los tipos de suelo y está también relacionada con las cantidades de Fe, Al y algunos tipos de arcillas. Las distintas fracciones del P no actúan en forma independiente, más bien lo que ocurre es un equilibrio entre las distintas fracciones. Cuando P soluble es agregado al suelo, el equilibrio se altera y los niveles de P en la solución de suelo se elevan inicialmente, pero en un lapso de 1-2 días, la mayoría del P agregado reacciona con Al, Fe o con las superficies de las arcillas. Durante un periodo de varias semanas ocurrirá una conversión gradual hacia formas menos solubles. Por otra parte, cuando el P es removido desde la solución de suelo por la extracción de un cultivo, una parte del P que había quedado en forma menos soluble se disuelve pasando a constituir parte del P en solución.

En sistemas de conservación de suelos, como la cero y mínima labranza, la baja concentración de P en los residuos y la baja proporción que queda lábil determina que la mineralización del P orgánico no sea significativa. En términos porcentuales, los residuos dejados en la superficie del suelo permiten un reciclaje de alrededor de un 30% del P absorbido por el cultivo. De este total, un 70% del P orgánico de los residuos de cosecha pasa al "pool" orgánico de P estabilizado y un 30% al "pool" de P lábil. En cero o mínima labranza, producto de la escasa movilidad del P,

se produce una estratificación del P. Las mayores concentraciones se encuentran entre 0-5 cm y decrece en profundidad (Cuadro 5.5).

Para un manejo exitoso del P en sistemas de cero y mínima labranza, lo ideal es llegar a niveles de suficiencia en el perfil del suelo antes de realizar el cambio hacia labranza de conservación. Posteriormente, ya operando bajo un sistema conservacionista, en suelos que mantienen niveles óptimos de P en el suelo las aplicaciones al voleo son lo más recomendable. En suelos que tienden a tener bajos niveles de P, las mayores productividades se obtienen utilizando una combinación de aplicación de P tanto al voleo como en banda.

Entre las innovaciones en cuanto al manejo del P, también se puede mencionar el uso de starters o arrancadores, que corresponde a la aplicación de fertilizante en banda al momento de la siembra. Este tipo de práctica tiene la ventaja de que al ir aplicado junto a las raíces de las plántulas, permite un mejor acceso a los nutrientes favoreciendo el vigor inicial de las plantas, lo cual es de importancia, especialmente en condiciones de cero o mínima labranza donde el limitado crecimiento inicial del sistema radicular, sumado a los suelos húmedos y fríos al inicio de la temporada pueden reducir la disponibilidad de P y la habilidad de extracción de nutrientes (Cuadro 5.5.). Algunos experimentos han demostrado el efecto de la utilización de starters sobre el rendimiento de cultivos (Cuadro 5.6.). Esta forma de manejo del P permite al productor agrícola anteponerse ante dos situaciones que podrían suceder, como son: 1) escasez de lluvias que impida el movimiento de nutrientes aplicados al voleo, y 2) condiciones frías del subsuelo provocada por el incremento de residuos en la superficie, que algunas veces puede retardar el establecimiento del cultivo, pudiendo provocar en ambos casos síntomas de deficiencias de nutrientes en forma temprana.

Cuadro 5.5. pH y distribución espacial de los principales nutrientes bajo distintos sistemas de labranza.

Profundidad (cm)	Arado	"0" labranza	Arado	"0" labranza
	P (mg/kg)		K intercambiable (mg/kg)	
0-5	25,5	75,9	132	170
5-15	24,0	23,0	113	104
15-30	17,9*	10,0*	95	86

*Profundidad: 15-20cm
Fuente: Grove et al., 2007.

Cuadro 5.6. Efecto de fertilización starter en el rendimiento de maíz manejado con cero labranza.

N	Starter (kg/ha)		Rendimiento (t/ha)
	P ₂ O ₅	K ₂ O	
0	0	0	8,3
28	0	0	8,7
28	34	0	9,0
28	34	22	9,1

Fuente: Hoeft y Ritchie, 1997.

El K tiene una mayor movilidad en el perfil del suelo comparado con el P. Sin embargo, su movilidad no es tan dinámica como el N. A diferencia del N y el P, el K no presenta grandes modificaciones en cuanto a su comportamiento al cambiar de labranza convencional a cero o mínima labranza, sin embargo este nutriente también está expuesto a un proceso de estratificación en el perfil del suelo, donde los niveles de K extraíble son mayores que en labranza convencional en los primeros 5 cm del suelo. Tanto la mineralización del K orgánico contenido en los rastrojos y la mayor actividad biológica, que tiende a hacer más solubles formas de K no disponibles, conducen a que las principales concentraciones de K se encuentren en la superficie, disminuyendo en profundidad.

El K es un catión monovalente que se desplaza en el suelo por difusión y que se encuentra de distintas formas: K no intercambiable, K intercambiable y el K en solución. El K de la solución es aquel que las plantas utilizan para satisfacer sus requerimientos nutritivos. El K no intercambiable, o de lenta disponibilidad, es aquel retenido fuertemente por minerales primarios y arcillas micáceas, en tanto que el K intercambiable, que es la fracción que se mide en un análisis de suelo, constituye la reserva o reposición cuando el K en solución es absorbido por las plantas. El K intercambiable, tal como otros cationes del suelo (Mg, Ca, Al) es retenido por las cargas negativas de las partículas del suelo. La cantidad de cargas negativas en un suelo es una característica inherente a éste, y es conocida como la capacidad de intercambio catiónico o CIC.

Con el objetivo de atenuar los efectos de la cero labranza sobre los parámetros antes señalados, recientemente se han comenzado a implementar nuevas opciones de manejo de rastrojo, como son la incorporación y el mezclado de

estos. La incorporación de rastrojos consiste en la realización de una labranza de inversión de suelo con el fin de enterrar los residuos de cosecha a una profundidad de 25 a 30 centímetros, dependiendo de las características del residuo, del suelo y del clima; esta labor se realiza una vez realizada la cosecha. El mezclado de rastrojos, en cambio, no utiliza equipos de inversión de suelo, sino que implementos que mezclan el rastrojo con los primeros 10-15 centímetros del suelo, lo que permite una descomposición más rápida del rastrojo debido a la mayor temperatura, humedad y aireación en la capa más superficial del suelo.

5.2. Rastrojos y rotaciones de cultivos, su aporte a la fertilidad del suelo

Durante la planificación de una rotación de cultivos para la agricultura de conservación es necesario alternar un cultivo de granos con uno de leguminosas u oleaginosas, de tal manera de alternar un cultivo que produce gran cantidad de residuos o rastrojos con uno que produce pocos residuos. Con o sin leguminosas, hay evidencia de un beneficio de la rotación para los cultivos que la integran. La eficiencia del uso del N 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.

Según estimaciones del Reino Unido, cultivos de quiebre como el raps o papas aportan alrededor de 50 kg/ha de N al trigo subsiguiente. Tal aporte puede superar al de una leguminosa de grano, sin embargo, a diferencia de las leguminosas, cultivos de quiebre como raps o papas requieren fertilización nitrogenada, de manera que el requerimiento global de N de la rotación generalmente es menor cuando el cultivo de quiebre es una leguminosa. La fijación biológica de N por parte de las leguminosas es considerada como una de las fuentes nativas de N más importantes en los suelos. Muchas recomendaciones de manejo de nutrientes realizan ajustes de la dosis de N para los cultivos en rotación con una leguminosa. Sin embargo, las cantidades de N fijadas y la consecuente disponibilidad de N para el cultivo siguiente, está sujeta a una amplia variación debido a numerosos factores. En el Cuadro 5.7. se muestran rangos estimados de fijación anual de N por algunas leguminosas.

Cuadro 5.7. Rangos estimados de fijación anual de N por algunas leguminosas.

Leguminosa	N fijado (kg/ha/ año)
Alfalfa	150-250
Trébol	100-150
Vicia	50-150
Poroto seco	30-50
Arveja	3-250
Lenteja	3-190

En el cuadro 5.8. se presentan las cantidades de nutrientes que son removidos desde el suelo por los rastrojos de distintos cultivos que habitualmente se utilizan en los programas de rotación. Es posible apreciar que los elementos con mayor concentración en los diferentes residuos de cultivos son K y N, lo que puede significar un aporte importante en la rotación, y lo que implica que estos residuos deberían ser reconocidos como un recurso natural, tomando en cuenta su aporte nutricional. Otros nutrientes esenciales también son removidos en el residuo, estos incluyen Ca y Mg; la remoción de estos cationes junto con el K eventualmente deberían incrementar las necesidades de encalado en algunos suelos.

Sin embargo, los rangos de remoción son pequeños en relación a los niveles de reserva que tiene el suelo. Cabe señalar que bajo sistemas de labranza tradicional, generalmente el rastrojo se quema antes de arar y pasar disco, perdiéndose por volatilización el N y S. Una fracción importante de las cenizas remanentes, que son las que contienen los elementos minerales, son arrastradas por el viento, Cuadro 5.8.

Cuadro 5.8. Cantidad de nutrientes (kg/t) presentes en una tonelada de rastrojo de distintos cultivos utilizados en un sistema de rotación.

Cultivo	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Azufre
Avena	5,5	0,3	15,1	4,2	0,8	1,0
Lupino	7,8	0,4	6	15,6	3,4	2,4
Raps	7,2	0,5	13,8	10	1,2	1,6

Fuente: Acevedo, 2003.

Los nutrientes de la mayoría de los residuos no están inmediatamente disponibles para ser utilizados por los cultivos, y su mineralización ocurre durante un periodo de años. Así, se estima que para los residuos de un cereal, alrededor de un 10-15% de los nutrientes son liberados en la temporada de cultivo, en tanto que para las leguminosas, este porcentaje es de alrededor de un 35%. La rapidez de la mineralización depende de los contenidos de lignina y N (relación C:N), contenido de humedad, temperatura y grado de mezcla con el suelos. El N es liberado rápidamente cuando los residuos tienen más de 1,5% de N (como las leguminosas); por el contrario, bajo un 1,2% de N (como los residuos del cereal), el N disponible es inmovilizado. Al respecto, en la cuadro 5.9 se presentan algunos valores promedio de relación C:N y contenido de N para residuos de los principales cultivos.

Cuadro 5.9. Relación C:N y concentración de N en residuos de rastrojos.

Cultivo	C:N	Nitrógeno (%)
Avena	80:1	0,55
Lupino	30-40:1	0,78
Triticale	80:1	0,31
Raps	40-50:1	0,72
Suelo	10-12:1	--

5.3. Muestreo de suelos bajo cero o mínima labranza

En labranza de conservación, dado la mínima y a veces ausencia de mezcla del suelo, los nutrientes usualmente están concentrados en la superficie. Lo anterior implica que estos sistemas requieren un manejo más cuidadoso de la fertilidad respecto de los sistemas convencionales, debido a la estratificación de nutrientes, especialmente de P y K.

Es así como las recomendaciones generales encontradas en la literatura sugieren tomar muestras de 0-20 cm para verificar el contenido de los nutrientes en la zona de raíces de los principales cultivos; en forma complementaria, se recomienda realizar en forma periódica un muestreo de los primeros 5 centímetros, solo con el objetivo de verificar el pH del suelo y las posibles necesidades de encalado. El

muestreo de suelos bajo condiciones de cero o mínima labranza es particularmente difícil, dado que no solo es importante tomar en consideración la profundidad sino que también la distribución espacial del muestreo. Es así como Kitchen *et al.* (1990) determinaron una relación entre sub-muestras a tomar en la entre hilera, en relación a la sobre hilera del cultivo anterior, para obtener una muestra representativa sin sobre ni subestimar el contenido de nutrientes:

$$N = 8 [DH / (30 \text{ cm})]$$

donde:

N = número de sub-muestras a ser tomadas fuera de la banda de fertilizante.

DH = distancia entre hileras (cm)

Por ejemplo para trigo sembrado a 17,5 cm

$$N = 8 * 17,5 / 30 = 4,67 \approx 5 \text{ sub-muestras.}$$

Así, por cada sub-muestra sobre la hilera debieran tomarse 5 entre hileras, en cada punto de muestreo y luego extraer una muestra compuesta.

5.4. Consideraciones finales

Las nuevas prácticas de manejo de rastrojos en suelos representativos de las áreas agroecológicas evaluadas, como es el mezclado de suelo con el rastrojo, se plantea como una opción más viable que la cero labranza, al permitir una descomposición más rápida del rastrojo debido a mejores condiciones de temperatura, humedad y aireación en la capa más superficial del suelo, para que la biomasa microbiana descomponga los residuos. Sin embargo, es necesario desarrollar más investigación tendiente a demostrar empíricamente las ventajas y condiciones prácticas de implementación de este tipo de manejo.

5.5. Literatura citada

- Acevedo, E., y P. Silva. 2003.** Agronomía de la cero labranza. Serie Ciencias Agronómicas N°10. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Santiago, Chile.
- Beegle, D. 1996.** Nutrient management in conservation tillage systems. College of Agricultural Sciences. Cooperative Extension. Conservation Tillage Series N° 4 The Pennsylvania State University, Pennsylvania, USA.
- Bernier, R., y G. Bortolameo. 2000.** Seminario Taller para productores "Técnicas de diagnóstico de fertilidad del suelo, fertilización de praderas, cultivos y mejoramiento de praderas". Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Osorno, Chile.
- Bernier, R., y M. Alfaro. 2006.** Acidez de los suelos y efectos del encalado. Boletín INIA N° 151. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Osorno, Chile.
- Grove, J., R. Ward, and R. Weil. 2007.** Nutrient stratification in no-till soils. *Leading Edge: The Journal of No-Till Agriculture* 6:374-381.
- Hoeft, R., y K. Ritchie. 1997.** Starter fertilizer boosts yields of no-till corn. *Better Crops* 81:12-13.
- Indurain, I. 2010.** Evaluación de variedades de triticales para distintos aprovechamientos: grano, forraje y biomasa energética y estudio comparativo con variedades de trigo. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Pública de Navarra, Pamplona, España.
- IPNI. 2012.** 4R de la nutrición de las plantas. Un manual para mejorar el manejo de la nutrición de plantas. T.W. Bruulsema, P.E. Fixen, G.D. Sulewski (eds.). International Plant Nutrition Institute, Norcross, Georgia, USA.
- Kitchen, N., J. Havlin, y D. Westfall. 1990.** Soil sampling under no-till banded phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:1661-1665.
- ODEPA. 2000.** Clasificación de las explotaciones agrícolas del VI Censo Nacional Agropecuario según tipo de productor y localización geográfica. Documento de trabajo N° 5. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), Santiago, Chile.
- Smil, V. 1999.** Crop residues: Agriculture's largest harvest. Crop residues incorporate more than half of the world's agricultural phytomass. *BioScience* 49 (4): 299-308. Stevenson, F.J., and M. A. Cole. 1999. Cycles of soil. 2nd. ed. Department of Natural Resources and Environmental Sciences. University of Illinois at Urbana-Champaign, Illinois, USA.

- Stolpe, 2005.** Descripciones de los principales suelos de la VIII Región de Chile. Departamento de Suelos y Recursos Naturales. Universidad de Concepción, Chillán, Chile.
- Tucker, M., J. Messick., B. Yarborough, and T. McBride. 1995.** Soil fertility note 16. Gearing up for conservation tillage. North Carolina Department of Agriculture & Consumer Services. Agronomic Division. Raleigh, USA.
- Unkovich, M., J. Baldock, and M. Forbes. 2010.** Variability in harvest index of grain crops and potential significance for carbon accounting: Examples from Australian Agriculture. *Advances in Agronomy* 105:173-219.

RASTROJOS Y SU RELACIÓN CON LAS ENFERMEDADES DEL TRIGO

6

Ricardo Madariaga B.

Ingeniero Agrónomo; M.Sc.; Ph.D.

Fitopatologo de Trigo

Programa Nacional de Trigos de INIA

El destacable aumento de rendimiento unitario que se ha logrado con el cultivo de trigo en Chile en la década 2004-2014 ha traído la satisfacción de incrementar la oferta de grano disponible, pero junto con ello también ha ocurrido un dramático aumento con el residuo, que se deja cerca, sobre o en el suelo. Bockus (1998) ya anticipaba que la tendencia a establecer los cultivos sobre grandes cantidades de residuos iba a aumentar, y con ello se agudizaría el problema de las enfermedades, cuyos agentes causales sobreviven en los residuos del cultivo del ciclo anterior.



Foto 6.1. Plantas de trigo, sembradas en condiciones de monocultivo, sobre rastrojo sin quemar, severamente infectado por la enfermedad Septoriosis de la hoja, causada por el hongo ascomicete *Mycosphaerella graminícola*. Cauquenes.

Efectivamente, la rotación o secuencia de los cultivos que ocupan el mismo suelo se asocia directamente a la proliferación de microorganismos patógenos, los cuales como regla general, son específicos a cada cultivo. Si bien los organismos que causan enfermedades en las plantas muchas veces tienen la capacidad de moverse con el viento, en epidemiología de plantas cultivadas se ha identificado que la capacidad de infección disminuye a medida que aumenta la distancia desde el foco contaminado hacia el nuevo punto de cultivo. En otras palabras, la probabilidad de que la enfermedad se reinicie con el contacto directo entre residuo infectado y la nueva planta en desarrollo es mayor cuando se dejan los rastrojos. La mayoría de las enfermedades que le ocurren a las plantas cultivadas tienen como origen un agente causal micótico o fungoso, y dentro de estos figuran principalmente los conocidos como ascomicetes. Estos hongos se caracterizan porque en parte de su fenología forman un asco o saco que contiene las esporas (ascosporas) de origen sexuado. De ahí que la permanencia de los residuos vegetales sin descomponer sobre el suelo, determina directamente la sobrevivencia de propágulos infecciosos, aquellas estructuras con que el hongo sobrevive, se disemina y cambia en sus determinantes genéticas. A mayor cantidad de residuos, es de esperar una mayor cantidad de propágulos, y con ello una mayor severidad de la enfermedad en el cultivo.

La quema y rotación de cultivos son prácticas muy antiguas; de hecho, Opazo (1939) ya lo mencionaba. Estas prácticas son parte del tema higiene de los suelos, concepto que engloba tanto la facilitación de las labores de siembra, la reducción de semillas de malezas, la reducción de fases metamórficas de resistencias de insectos, como también la eliminación de los propágulos de hongos, que cumplen la fase de inóculo primario de una enfermedad.

Los agricultores queman los residuos o rastrojos cuando no los necesitan, o bien cuando son un estorbo para establecer el nuevo cultivo. Sin embargo, la estrategia de quemar los residuos, solo como una medida de protección del cultivo ante una enfermedad, probablemente no figura entre las razones primordiales de utilizar esta práctica.

En las próximas páginas se describen las principales patologías del cultivo del trigo y se discute en cada una de ellas la asociación que existiría con la permanencia de rastrojos sobre el suelo.

6.1. Septoriosis de la hoja

La septoriosis de la hoja fue una enfermedad casi desconocida en el mundo antes de la revolución verde. Con la masiva utilización de los genes de enanismo procedente de genotipos japoneses (Norin 10) que se incorporaron en todos los programas de fitomejoramiento del mundo, se introdujo una menor altura a las variedades, y con ello la posibilidad de utilizar grandes cantidades de nitrógeno, requisito básico para la obtención de altos rendimientos de grano. La menor altura y el succulento follaje verde condicionaron para que la enfermedad se convirtiera en una limitante para el cultivo (Cadwell, 1976). La enfermedad se reconoce en el campo por una severa pérdida del color verde normal de las hojas de las plantas de trigo, las cuales al principio muestran manchas amarillas, luego presentan lesiones de color café, y, a medida que progresa la enfermedad, terminan secándose.

La enfermedad progresa aceleradamente cuando el follaje permanece mojado por un periodo prolongado (> 48 hrs de follaje mojado) a temperaturas entre 20 y 25 °C (Formento, 1999). Si las condiciones medio ambientales se presentan favorables, la enfermedad puede reducir significativamente el rendimiento de granos, como se indica en el Figura 6.1. En el estudio de control químico de septoriosis de la hoja que se realiza anualmente en el cv. Lancero INIA en el Campo Experimental Santa Rosa de INIA Quilamapu, el cultivo sin fungicida comparado con el mejor tratamiento realizado tuvo un incremento de rendimiento de grano que fluctuó entre 0,4 y 3,0 t/ha ([significativo con $P < 0,05$). El periodo agrícola 2002 fue el más afectado, lo que se explica por la elevada pluviometría recibida en el ciclo, la que superó en 45% la considerada normal en la zona.

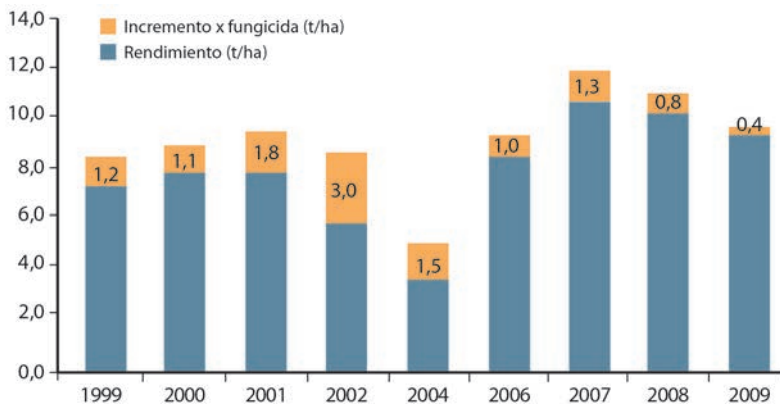


Figura 6.1. Incremento de rendimiento de grano, comparando el testigo sin tratar y el mejor tratamiento fungicida en el cv. Lancero INIA sembrado en la localidad de Santa Rosa en nueve temporadas agrícolas y afectadas por la enfermedad Septoriosis de la hoja.

6.1.1. Agente causal

El hongo ascomicete *Mycosphaerella graminicola*, solo se desarrolla en el rastrojo de trigo infectado en el ciclo agrícola anterior. En las plantas de trigo establecidas próximas a rastrojos infectados se detecta más tarde durante el invierno la fase asexual, conocida como el deuteromicete *Zymoseptoria tritici*, el cual es responsable de la invasión de nuevos tejidos en el cultivo de trigo, pudiendo llegar a afectar la hoja bandera, última hoja del cereal, e incluso a la espiga.

6.1.2. Importancia del rastrojo

Alta. A mayor cantidad de rastrojo infectado mayor será la presión de la enfermedad septoriosis de la hoja en trigos establecidos en áreas expuestas. Como consecuencia de lo anterior se puede postular que el uso de fungicidas en Chile se incrementaría en forma directamente proporcional a la disponibilidad de rastrojos, especialmente al utilizar variedades de origen europeo totalmente susceptibles a Septoriosis como es el caso de la introducción del cultivar Bueno.

6.2. Septoriosis del nudo

La enfermedad fue identificada en Chile por M. Caglevic a comienzos de los años 80's. En países donde el trigo se desarrolla en clima cálido y húmedo, como Brasil y Paraguay, esta enfermedad es más importante que la septoriosis de la hoja. En Chile se ha detectado ocasionalmente, alcanzando niveles de extrema severidad, atacando la espiga en siembras de trigo establecidas en las riberas de los lagos del sur, como Futrono.

6.2.1. Agente causal

El hongo ascomicete *Phaeosphaeria nodorum* en su fase sexuada, el cual se desarrolla en el rastrojo mientras que la fase asexuada *Stagonospora nodorum* se detecta en hojas y nudos del cereal desde inicios de encañado.

6.2.2. Importancia del rastrojo

Alta. Plantas voluntarias, aquellas originadas desde el desgrane del ciclo anterior, que emergen desde rastrojo de trigo infectado muestran síntomas y signos de la enfermedad.

6.3. Fusariosis de la espiga

Por la capacidad de contaminar el grano de trigo, avena, cebada, triticale, y maíz con micotoxinas (veneno de hongos), esta enfermedad es la más grave de un cereal a escala comercial, desde el punto de vista de inocuidad de los alimentos. Ataca las florecillas de las espigas del trigo, las que muestran coloraciones rojizas a blanquecinas, disminuyendo la cantidad y calidad del grano cosechado. Sin embargo lo más grave viene después, dado que las micotoxinas contaminantes pasan desde el grano de trigo a la harina y de esta al pan. En el caso de la cadena cebada – malta – cerveza también estas micotoxinas son detectables en la bebida elaborada. El uso de granos de cereales contaminados en dietas de aves y cerdos pueden causar pérdidas considerables (Vega *et al.* 1998).

6.3.1. Agente causal

En el rastrojo se forma el estado sexuado o teleomorfo descrito como *Giberella zae* del cual solo se tiene una determinación en Chile (Madariaga *et al.*, 2004). Si bien el estado asexuado *Fusarium graminearum* es posible de encontrar en forma frecuente en raíces, la enfermedad en la espiga no existiría en Chile.

6.3.2. Importancia del rastrojo

Muy importante. Desde que se introdujo la práctica de “cero labranza”, siembra directa, mínima labor, etc., que conservan los residuos vegetales sobre el suelo como cubiertas protectoras, la Fusariosis, Giberelosis, *Fusarium Head Blight*, etc., ha sido la enfermedad más limitante en países de habla hispana, portuguesa o inglesa, respectivamente. El ciclo de vida del agente causal sólo se completa al disponer de rastrojo infectado sobre el suelo. Desde el tejido infectado, se desprenden por vía aérea las ascosporas, estructuras de reproducción sexuada, las cuales al entrar en contacto con cereales en antesis, inicia el proceso de infección. Parte del endosperma del grano es reemplazado por micelio y esporas del hongo. Después de la cosecha los tejidos infectados que permanecen en el rastrojo forman el estado sexuado donde el ciclo se inicia nuevamente.

6.4. Punta negra y manchado foliar por *alternaria*

El manchado foliar inducido por especies del hongo *Alternaria* spp. es considerado un problema agrícola menor. Sin embargo, dada su presencia habitual en los granos cosechados se asocia como agente causal de punta o escudete negro, síndrome favorecido por condiciones de alta humedad durante el llenado de grano. Cabe señalar que la literatura moderna atribuye más a la humedad como desencadenante del problema que a la presencia del hongo (Williamson, 2004). Los granos anormales muestran a partir de la zona del embrión un oscurecimiento, el cual puede afectar parte o la totalidad del grano.

En el caso de Chile, la presencia de la enfermedad en la semilla no afecta la siembra ya que estos granos oscurecidos germinan y tienen el mismo vigor que

los granos normales. Sin embargo, a la cosecha, la presencia de granos con punta negra es un problema comercial grave, debido a que reduce el valor comercial, llegando incluso a ser causal de rechazo por parte de la industria cuando la cantidad de grano afectado supera el 8%. Los molineros indican que granos con punta negra producen harinas oscuras que reducen la calidad del producto.

6.4.1. Agente causal

El rol de *Alternaria infectoria* estado asexuado y de *Lewia infectoria* estado sexuado que se desarrolla en el rastrojo de trigo, necesita nuevos estudios para completar el ciclo de vida del organismo en Chile. En Argentina, Perello (2008) no duda en informar de que se trata del agente causal de la enfermedad.

6.4.2. Importancia del rastrojo

Alta. Las especies de *Alternaria* junto con *Cladoporium*, *Stemphylium*, *Epiccocum* y *Nigrospora*, entre otros, son fases asexuales presentes normalmente en el proceso de descomposición de los rastrojos de cereales que se inicia al humedecerse el tejido que ha terminado su senescencia normal. Incluso se ha publicado que la presencia de *Alternaria* es antagónica a la infección por *Fusarium graminearum* (González, 1999).

6.5. Mancha parda o helmintosporiosis

Se caracteriza por la presencia de manchado de color café con un halo amarillo y un punto oscurecido en el centro, inicialmente en las hojas más cercanas al suelo; cuando se detecta en las hojas superiores el problema sanitario puede ser muy importante. En la provincia de Buenos Aires, Argentina, en Uruguay, y en el sur de Brasil, provincia de rio Grande do Sul, esta enfermedad es de gran importancia y se relaciona directamente con la cantidad de rastrojo que proviene de un cultivo infectado que queda localizado sobre el suelo. Al respecto, Rees *et al.* (1982) citados por Carmona *et al.* (1999) indican una estrecha relación entre la cantidad de rastrojo infectado y el número de lesiones por hoja, y el rastrojo infectado y las

pérdidas de rendimiento. Dichos autores informan que con 300 g/m² de rastrojo de trigo infectado se inducen 70 lesiones por hoja, lo que se asocia hasta con un 50% de pérdida de rendimiento de grano. En Chile la enfermedad se detecta anualmente, pero dada la casi ausencia de rastrojos contaminados, la enfermedad no ha prosperado. Recientemente se comprobó la existencia del patógeno en la localidad de Cañete y que existe una alta vulnerabilidad del germoplasma invernal a esta patología (Madariaga, 2011).

6.5.1. Agente causal

En hojas con manchado por la enfermedad se pueden detectar mediante análisis fitopatológico las conidias en forma de cigarro, transparentes, con 4 o 5 septas, que corresponden a la fase asexual *Drechlera tritici repentis*. Al humedecer las hojas y mantenerlas en condiciones de humedad, lavándolas en forma periódica, luego de 45 días es posible inducir la formación del estado sexual conocido como el hongo ascomicete *Pyrenophora tritici repentis* (Madariaga, 1992).

6.5.2. Importancia del rastrojo

Muy alta. En Argentina es considerada la limitante más seria a la producción de trigo en el sistema de siembra directa (Annone J, comunicación personal).

6.6. Mal del pie y el complejo de enfermedades radicales

Uno de los aspectos positivos que trajo la introducción de la cero labranza en Chile, es la reducción de la enfermedad conocida como Mal del Pie. Esta enfermedad, endémica en muchos suelos de Chile, se caracteriza porque su agente causal coloniza las primeras raicillas de la plántula de trigo que se encuentra en emergencia, y ya no la abandona hasta su senescencia natural o muerte prematura, inducida por el avance del hongo en los tejidos. Las plantas afectadas al llegar a macolla muestran sus hojas basales amarillas, débiles, con aspecto de deficiencia de nitrógeno, las cuales avanzan en su desarrollo, mientras cuentan con humedad en el suelo.

Al momento de la espigadura las macollas dañadas son de menor tamaño, frágiles, débilmente arraigadas al suelo. Al iniciarse el llenado de grano, con la mayor evapotranspiración que experimenta la planta, ocurre la muerte de los macollos que sustentan espigas, las cuales toman la coloración transparente conocida como síntoma de “espigas blancas”, que es característico y permite diagnosticar la enfermedad. Los macollos dañados se pueden arrancar fácilmente del suelo, y al desprender la tierra adherida se observan sobre el nudo coronal placas oscuras, de color negro grisáceo, que corresponden a masas de tejido invadido por hifas, descritas como hifas corredizas por su característica de crecimiento en dirección del mismo eje longitudinal del crecimiento del vegetal.

El lavado cuidadoso de las raíces y su observación permite detectar que toda la masa radicular se encuentra dañada. Dada la continuidad hídrica entre raíces y hojas, una mayor cantidad de raíces dañadas se asocia a mayor cantidad de síntomas de amarillez, debilidad y marchitez en las hojas superiores.

El Mal del Pie del trigo es una enfermedad cuyo agente causal se considera un invasor de suelo, de tal manera que la práctica agronómica de rotación de cultivos con especies no susceptibles, permite incluso lograr la erradicación del agente causal, aun en suelos severamente contaminados. La secuencia de cultivos más favorable a la enfermedad es establecer trigo sobre un suelo ocupado anteriormente por una pradera degradada de gramíneas, o después de trigo, sembrar cebada o triticale. El riesgo es menor después de centeno, o suelos barbechados. Por otro lado, el riesgo de Mal del Pie es mínimo al establecer el trigo luego de haber sembrado raps, lino, maíz, remolacha, papas, arvejas, porotos o avena.

6.6.1. Agente causal

El hongo ascomicete *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* el cual ataca trigo y no ataca la avena. Existe una variante *Ggt* var. *avenae* que ataca avena y trigo que fue informada su presencia en Chile (Gutiérrez M. *et al.* 2007).

6.6.2. Importancia del rastrojo

Muy alta. La mayor fuente de inóculo son las estructuras infectivas que inician la enfermedad, y que están precisamente sobre el rastrojo que permanece entre los cultivos de cereales sucesivos (Hornsby *et al.*, 2003). La condición ideal para el desarrollo de la enfermedad se presenta cuando el agricultor practica el monocultivo del cereal, luego pica el rastrojo, lo incorpora y siembra el trigo nuevamente. Observaciones realizadas durante el ciclo de cultivo 2010-2011 indicaron que ninguno de los fungicidas de tratamientos de semilla disponibles en el mercado, de comprobada acción sobre el agente causal en niveles bajos a medios de incidencia de la enfermedad, fue capaz de realizar un control eficaz en condiciones de incidencia severa.

6.7. Otras enfermedades originadas en los rastrojos

Existe un grupo considerable de hongos causantes de enfermedades que parte de su ciclo de vida lo realizan en el rastrojo del cereal, y que bajo determinadas condiciones son capaces de causar daño comercial de importancia a las sementeras de los agricultores.

Entre otros, se puede mencionar el **Manchado foliar por *Cladosporium*** cuyo agente causal fase asexual/sexual son *Cladosporium herbarum*/*Mycosphaerella tassiana*; el **Manchado foliar por *Stemphylium*** originado por *Stemphylium botrysoum*/*Pleospora herbarum*; la **Mancha Ocular**, enfermedad introducida desde Europa a fines de los años 90 cuyo agente causal es *Tapesia yallundae*/*Pseudocercospora herpotrichoides*; la **Mancha Ocular Aguda**, causada por *Waitea* spp./*Rhizoconia cerealis* la cual fue detectada por primera vez en Osorno (Madariaga 2004), y que ha demostrado ser capaz de causar severa tendadura en los trigos del sur; el **Manchado foliar por *Bipolaris*** causada por *Cochliobolus sativus*/*Bipolaris sorokiniana*. Todas ellas, enfermedades que ocasionalmente son detectadas en visitas a siembras afectadas, o identificadas en muestras recibidas en el Laboratorio de Fitopatología de INIA Quilamapu.

Por último, no se puede dejar de mencionar la gran amenaza de *Pyricularia* del trigo, que no ha sido detectada en Chile, enfermedad muy común en arroz y

que está causando estragos en Brasil, Bolivia y Paraguay y que es causada por *Magnaporthe grisea/ Pyricularia grisea*.

6.8. Estrategias para el control de enfermedades originadas en los rastrojos

Al realizar un análisis comparativo del número de enfermedades de los cultivos en el país y de la intensidad con que atacan las siembras de los agricultores, con la situación en países tanto del Cono Sur de América como del resto del mundo, resulta evidente el mejor estado sanitario que se tiene en Chile. La ausencia de rastrojos infectados sobre el suelo, logrado ya sea por la poco recomendable practica de quemar los rastrojos, su retiro o remoción parcial por consumo directo de animales, o bien su incorporación, mediante la inversión de suelos realizada con máquinas tradicionales, explica en parte el buen estado sanitario de nuestros cultivos.

Al respecto, Bockus (1998) ordena las estrategias a usar en cuatro grupos: 1) control químico de enfermedades, 2) control biológico, 3) resistencia en el huésped, y 4) manejo cultural, y luego afirma que “Ninguna de ellas, por si sola es capaz de eliminar completamente el problema de las enfermedades originadas en los rastrojos, pero es precisamente la combinación racional de las cuatro estrategias, la que puede minimizar su efecto detrimental en los cultivos”.

La mantención de rastrojos puede provocar mayor presión de enfermedades, y esta presión un costoso aumento en las aplicaciones de fungicidas. Por lo tanto, la mantención de rastrojos infectados se puede asociar a un mayor uso de fungicidas y a un aumento en los costos de producción del cultivo de trigo. Por otro lado, el mayor uso de fungicidas se asocia a colocar mayor presión sobre las poblaciones de organismos patógenos, los cuales tenderán a generar biotipos con resistencia a los ingredientes activos, experiencia ampliamente demostrada en la presencia de malezas resistentes a herbicidas usados con mayor frecuencia, causando la inactivación del efecto controlador de los pesticidas.

Los organismos que tienen habilidades fitopatógenas tienen una gran ventaja sobre aquellos que solo se limitan a vivir en tejidos senescentes. Los primeros son capaces de introducirse, diseminarse y colonizar tejidos vivos. Los segundos dependen de la muerte del tejido para iniciar su colonización. De esta manera

cultivos sanos, ya sea por contar con buena resistencia genética o por haber sido tratados con fungicidas, generarán rastrojos “sanos”, es decir, libres de estructuras reproductivas (propágulos) de patógenos. Ahora, la incógnita que se nos presenta es en que magnitud alteramos los procesos naturales de descomposición de los rastrojos de trigo, al controlar completamente las enfermedades durante el desarrollo del cereal.

6.9. Literatura citada

- Bockus, W.W. 1998.** Control strategies for stubble-borne pathogens of wheat. *Can. J. Plant Pathol.* 20:371-375.
- Caldwell, R. 1976.** Development of the wheat Septoria blight problems in the USA over the period 1922 to 1975. *Proceedings of the Septoria Disease of Wheat Workshop.* Ed. Cunfer & Nelson L. May 4-6, University of Georgia. Agricultural Experiment Stations Special Publication N° 4. 69 p.
- Formento, N. 1999.** Manejo Integrado de Enfermedades del Trigo en los sistemas Convencional, Siembra Directa y de Alta Producción. INTA EEA Paraná. Serie Extensión N° 17. ISSN:0325-8874.
- Carmona, M., R. Melo Reiss, y P. Contese. 1999.** Manchas Foliare del Trigo. Imp. Gráfica Condal, Buenos Aires, Argentina. ISBN:987-43-1253-X. 32 p.
- Gonzalez L., E.J. Martinez, A. Pacin. and S. Resnik. 1999.** Relationship between *Fusarium graminearum* and *Alternaria alternata* contamination and deoxinivalenol occurrence on Argentinian durum wheat. *Mycopathologia* 144:97-102.
- Gutiérrez, M.; Asenjo, C; Oyarzo, O. y Peña, P. 2007.** Identificación de *Gaeumannomyces graminis var. avenae* (E.M. Turner) Dennis, un nuevo patógeno de avena en Chile. Resumen Congreso Sociedad Chilena de Fitopatología, Concepción.
- Hornby, D., and R. Beale 2003.** Take-all. Management Guide. 39 p. Monsanto Publication, Cambridge, England.
- Madariaga, R., E. Von Baer, M. Vega, R. Villegas, y A. Engler. 2004.** Observaciones realizadas en un trigo con síntomas de Fusariosis de la espiga, de la especie de *Fusarium* encontrada y de la micotoxina DON, producida en los granos enfermos. Resumen XIV Congreso de la Sociedad Chilena de Fitopatología. 30 de Noviembre al 3 de diciembre de 2004, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca, Talca, Chile.

- Madariaga, R.** Identificación de *Rhizoctonia cerealis* agente causal de la mancha ocular aguda del trigo en Chile mediante la tinción de ADN, DAPI. Resumen XIV Congreso de la Sociedad Chilena de Fitopatología. 30 de Noviembre al 3 de diciembre de 2004. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca, Talca, Chile.
- Madariaga, R. 2011.** La enfermedad mancha parda, en trigos de invierno, causada por el hongo *Pyrenophora tritici repentis* en la localidad de Cañete VIII Región. Informe Técnico Proyecto Nacional de Trigo. INIA, CRI Quilmapu, Chillán, Chile.
- Gutiérrez, M., C. Asenjo, O. Oyarzo, y P. Peña. 2007.** Identificación de *Gaeumannomyces graminis* var. *avenae* (E.M. Turner) Dennis. Un nuevo patógeno de avena en Chile. Resúmenes Congreso Sociedad Chilena de Fitopatología. Fecha. Concepción.
- Opazo G., R. 1939.** Agricultura. Monografía cultural de las principales plantas agrícolas susceptibles de cultivarse en Chile. 3ª ed. Talleres Gráficos La Nación, Santiago, Chile.
- Perelló, A. and M. Sisterna. 2008.** Formation of *Lewia infectoria*, the teleomorph of *Alternaria infectoria*, on wheat in Argentina. Australasian Plant Pathology 37:1-3.
- Vega, M., R. Saelzer, E. Hertlitz, G. Ríos, C. Bastías, J. Olavarría, R. Madariaga, y P. Rebuffel. 1998.** Micotoxinas de *Fusarium* spp. en maíz (*Zea mais*) cultivado en Chile, Cosecha 1995-1996. Alimentos 23:43-57.
- Williamson P. 2004.** Black Point. Screening eases the black point headache. GRDC. Grains & Development Corporation, Australian Government. Available at http://grdc.com.au/director/events/groundcover?item_id=publication- (Accessed 16 June 2011). (issue53&article_id=482B98FA0BF92285D3147899A5956E2D

7

MANEJO DE MALEZAS EN CULTIVOS ANUALES ESTABLECIDOS SOBRE RASTROJOS

Alberto Pedreros L.

Ingeniero Agrónomo, Ph.D.
Universidad de Concepción

La siembra con labores reducidas se caracteriza por mover el mínimo de suelo para establecer el cultivo sobre los residuos del cultivo anterior. Entre las ventajas de este sistema, al manejar los rastrojos en forma adecuada, se puede indicar: se reduce la erosión del suelo, mejora la infiltración de agua, aumenta la materia orgánica y los microorganismos, y contribuye de manera importante en la reducción de malezas. En contraste, la falta de labranza, ya sea aradura y/o rastrajes, impide el control de las primeras poblaciones de malezas que emergen en la temporada. A esto se agrega que las máquinas cosechadoras modernas separan internamente el grano de trigo de gran parte de las semillas de malezas, que se cosechan en conjunto, y se tiene que una alta proporción de estas semillas retorna en los residuos que la cosechadora bota por la cola. Esto significa que las hileras de paja o residuos que quedan en el potrero incluyen gran cantidad de semillas de malezas expuesta a la germinación, y muy pocas de estas semillas se pierden consumidas por aves o roedores. Así, la mayoría de las semillas de malezas llega al suelo y forma parte del banco de reserva que germinará durante años.

7.1. Factores a considerar

Las alternativas que se proponen a la siembra con sistema convencional pueden ser cero labranza o mínima labranza. En esta última se mezcla parte de los residuos con el suelo. Además, influye la cantidad de paja posible de sacar como fardo, y por el tipo de cosechera utilizada, ya que pueden picar y esparcir paja.

Cuando se establece un cultivo en forma directa, se evita que las semillas se entierren y/o mezclen con el suelo en el caso de cero labranza, o se mezclen sólo superficialmente con mínima labranza, pero en ambos es factible disminuir la presencia de malezas si se aplican estrategias que evitan que lleguen al estado de producción de semillas. Así, se requiere conocer los factores que influyen en el control de malezas, y que son un poco diferentes a la siembra convencional, por no estar la preparación mecánica de suelos. Todos estos factores están relacionados entre sí, y la falta de alguno, o su aplicación en época no recomendada, tendrá un efecto importante. Todos apuntan a que lo que se haga en una temporada tendrá efecto en el cultivo siguiente de la rotación.

7.1.1. Cultivo anterior

El cultivo anterior de la rotación tiene un efecto directo en varios factores de producción, como agua disponible en el suelo, fertilidad, presencia de plagas y enfermedades y control de malezas. La forma como se hayan controlado las malezas en el cultivo anterior influirá en las malezas que emergerán en el trigo. Por ejemplo, si el cultivo anterior fue avena, una alta proporción de agricultores no controla las malezas gramíneas como avenilla y ballica, ya que hay pocos herbicidas selectivos de fácil aplicación, y los que pueden usarse para disminuir estas malezas son bastante caros. Esto significa que puede presentarse una población alta de malezas gramíneas, ya que además de las semillas que tiene el suelo, el cultivo de avena aporta muchas semillas de malezas gramíneas al suelo. Por otra parte, si se han controlado las malezas de hoja ancha, es esperable una emergencia normal de malezas, que en el secano interior puede variar entre 100 y 400 plantas/m² mientras que en precordillera puede sobrepasar las 1000 malezas emergidas por m². Posteriormente hay una muerte natural de muchas de ellas, ya sea por condiciones climáticas, o por competencia entre ellas o con la población del cultivo.

Por otra parte, la cosecha del cultivo anterior también es importante, ya que el corte debe ser a una altura uniforme, para que los residuos que salen de la cosechera puedan ser desparramados de manera uniforme en el potrero. Es recomendable usar máquinas cosecheras que tengan en lo posible elementos desparramadores y trituradores. Sectores con mayor cantidad de paja disminuyen la emergencia de malezas en comparación a suelo desnudo con preparación tradicional.

Evaluaciones preliminares sobre poblaciones de malezas en dos estados de desarrollo de trigo sembrado a continuación de avena, indican una disminución importante de la población de malezas producida por los residuos de cosechas, pero aún así una buena aplicación de herbicidas pre emergentes al suelo las disminuye aún más (Cuadros 7.1 y 7.2).

Cuadro 7.1. Efecto de los residuos sobre el suelo y uso de herbicidas sobre las poblaciones de malezas a macolla de trigo sembrado después de avena, en tres localidades de la Región del Biobío.

Profundidad (cm)	Yungay			Huépil			Santa Bárbara		
	Gramíneas	Hoja ancha	Total	Gramíneas	Hoja ancha	Total	Gramíneas	Hoja ancha	Total
Suelo sin residuos	42	14	56	44	11	55	58	16	74
Suelo con residuos	14	4	18	9	3	12	7	3	10
Suelo con herbicida	2	2	4	2	1	3	3	2	5

Suelo con residuo y sin residuo no tiene herbicidas. Suelo con herbicida corresponde a promedio con y sin residuo.

Cuadro 7.2. Efecto de residuos sobre el suelo y uso de herbicidas sobre las poblaciones de malezas a floración de trigo sembrado después de avena en tres localidades de la Región del Biobío.

Profundidad (cm)	Yungay			Huépil			Santa Bárbara		
	Gramíneas	Hoja ancha	Total	Gramíneas	Hoja ancha	Total	Gramíneas	Hoja ancha	Total
Suelo sin residuos	78	26	104	114	31	145	72	16	88
Suelo con residuos	40	11	51	44	11	55	40	7	47
Suelo con herbicida	7	3	10	11	1	12	6	2	8

Suelo con residuo y sin residuo no tiene herbicidas. Suelo con herbicida corresponde a promedio con y sin residuo.

Por otra parte, el volumen de paja que dejan cereales como avena y trigo, impide la emergencia de muchas malezas, pero al mantener más humedad sobre la superficie del suelo, facilita la emergencia de malezas que toleran la descomposición de la paja. Así, la presencia de paja disminuye la población total de malezas; sin embargo, a la vez impide una adecuada distribución de los herbicidas que van al suelo.

Si bien es cierto, el cultivo del raps o canola produce gran cantidad de residuos,

éstos son fácilmente mucho más triturados, desparramados y/o degradados, en comparación a los residuos de avena o trigo, por lo que no llegan a acumularse en grandes cantidades en el suelo. Esto facilita el uso de herbicidas que lleguen al suelo, por lo que complementar aplicaciones al suelo con post emergentes es lo más recomendado. Por otra parte, el raps o canola, tiene un adecuado control de malezas de hoja ancha y gramíneas, lo que significa poblaciones normales o menores cuando esta rotación se ha realizado por varias temporadas.

En el caso de las praderas, desde el punto de vista de malezas, hay gran cantidad de especies tanto anuales como bienales y perennes, que al no mover o aplicar herbicidas por años, facilita el establecimiento de especies con mayor periodo vegetativo. A pesar de esto, si se considera el factor residuos, es el cultivo precedente de más fácil manejo, ya que la aplicación de herbicidas en forma oportuna, antes de iniciar la preparación de suelos y de acuerdo a las malezas predominantes, facilita el establecimiento del cultivo. En este caso, el problema principal consiste en elegir el o la mezcla de herbicidas que controle de manera efectiva las malezas presentes, que por lo general incluyen gran cantidad de malezas perennes. Además, debe ser aplicado pensando que las perennes requieren varios días para que sean controladas.

En contraste, a pesar de ser fácil de controlar las malezas, es el menos conveniente, junto al monocultivo, ya que en el caso de trigo, hay mayor probabilidad de presencia de ballica, que es un importante hospedero del hongo causante de la enfermedad conocida como “mal del pie”, que se presenta en mayor importancia en los suelos trumaos.

7.1.2. Presencia de malezas

Las malezas no sólo deben ser controladas durante el cultivo, sino que además es de gran importancia su control durante el periodo de barbecho que hay entre la cosecha y el establecimiento del siguiente cultivo, ya que numerosas especies emergen y se reproducen durante este corto periodo. Entre los objetivos de controlar las malezas en este período está el ahorro de agua del suelo, ya que si hay malezas, éstas consumirán la humedad del suelo que debería quedar para el cultivo siguiente. Otro aspecto es que se requiere evitar el continuo aumento de

nuevas semillas de malezas que caen y forman parte del banco de semillas del suelo, así como evitar que ciertas especies lleguen a estados de desarrollo que se dificulta mucho su control posterior. De esta forma, es importante que durante el periodo de barbecho se considere un sistema de control, porque hay numerosas especies que sólo requieren un poco más de 30 días para reproducirse y cumplir sus ciclos. Además, las malezas perennes comienzan a producir sus propágulos vegetativos y acumular reservas, casi inmediatamente después de la 4ª a 5ª hoja, por lo que si no se controlan también significará un aumento de los propágulos vegetativos bajo el suelo.

En la mayoría de las siembras con cero labranza las semillas de malezas permanecen en la superficie del suelo, o muy poco enterradas, por lo que están muy susceptibles de germinar con las primeras lluvias. Debe haber un continuo control en caso de haber precipitaciones estivales, después de la cosecha del cultivo. De la misma manera, en algunas áreas es factible retrasar levemente la época de siembra, y así esperar que germine la primera generación de semillas de malezas para controlarlas, y sembrar algún cultivar precoz de alto potencial de rendimiento.

7.1.3. Otros factores

Otros factores como la fertilización y la presencia de plagas y enfermedades tienen importancia indirecta en relación a las malezas. La fertilización, por la necesidad de nitrógeno que requieren los microorganismos para descomponer la paja, y las plagas y enfermedades, porque los residuos producen un mejor hábitat para su presencia; en condiciones de cultivo convencional son poco importantes. Ambos factores son muy importantes para evitar un efecto negativo sobre la población adecuada del cultivo, ya que espacios sin plantas son rápidamente ocupados por malezas que están emergiendo. Es necesario ser categórico en que el cultivo debe partir con la mejor población posible, de acuerdo a las recomendaciones para la especie y variedad, ya que ningún manejo posterior podrá reponer esto. Por lo anterior, el uso de semilla de calidad, en lo posible certificada, tiene gran importancia como control cultural de malezas.

7.2. Sistemas de control de malezas

La presencia de alta cantidad de rastrojos y la falta de movimiento del suelo, lleva a la necesidad de preparar químicamente el suelo, lo que significa aumentar el uso de herbicidas. Aun cuando los herbicidas pasan a ser muy importantes, es necesario pensar en el control integrado para no depender exclusivamente de ellos. Así, es aconsejable considerar todas las herramientas posibles para disminuir el efecto negativo de las malezas.

7.2.1. Control cultural

El control cultural es un sistema complementario al control químico, y consiste en favorecer el cultivo para que crezca fuerte y vigoroso, y así pueda competir en mejor forma con las malezas. Entre estas labores está la elección de una rotación adecuada, que incluya cultivos que permitan diversificar tanto los métodos de control como los herbicidas, para no depender en forma exclusiva de pocos grupos químicos. Al tener diferentes sistemas de control, se evita que proliferen especies de maleza que puedan aumentar al tolerar algún método o herbicida específico. Entre otras cosas, permite atrasar o evitar el incremento de la resistencia a herbicidas.

Un segundo aspecto importante en el control cultural, es elegir variedades adaptadas a la zona y sembrarlas en épocas adecuadas para la variedad. Esto va asociado a usar semilla certificada, para obtener altas poblaciones de trigo, y con plantas vigorosas que crezcan rápidamente para sombrear el suelo y de esta manera facilitar el ahogo de las malezas emergentes. Toda norma de manejo recomendada para la especie y variedad es aconsejable cumplirlas en la época que corresponda. Fertilización según requerimientos, uso de variedades tolerantes a enfermedades, riegos cuando correspondan si hay disponibilidad de agua, manejo de plagas, etc., realizadas de la forma recomendada, facilitarán el crecimiento de plantas sanas y vigorosas.

7.2.2. Control químico

El uso de herbicidas es el sistema más utilizado para controlar malezas, no sólo en el cultivo presente, sino que durante las épocas de barbecho, es decir, entre la cosecha del cultivo y la siembra del siguiente. Este control no tiene otra posibilidad cuando se está usando cero labranza, ya que no hay posibilidad de mover el suelo.

Antes de decidir los herbicidas a utilizar, es necesario analizar cada situación, ya que puede haber grandes diferencias entre un potrero y otro, y más aún entre predios, por lo que las recomendaciones para algunos no sirven para todas las condiciones, aunque estén en un mismo sector. Son muchas las causas que permiten una gran variabilidad de especies de malezas entre sectores cercanos; entre ellas están diferentes rotaciones, diferentes sistemas de control, además de heterogeneidad de suelos y medio ambiente que hace que las especies predominantes sean diferentes. Por estas razones, es imprescindible asegurarse una adecuada identificación de las especies de maleza presentes en cada potrero antes de decidir la compra de herbicidas.

Un segundo aspecto a considerar en el uso de herbicidas, es que la actividad de éstos dependerá, principalmente, de factores como condiciones de suelo para los herbicidas que se aplican al suelo, y de condiciones climáticas para los que se aplican al follaje de las plantas. Cualquiera de estas condiciones que no sean adecuadas implicará una menor efectividad de los herbicidas.

Se debe tener presente que la actividad de los herbicidas es un complemento a un buen manejo del cultivo, de manera que una decisión de variedad inadecuada, fecha de siembra no aconsejable, baja población de plantas, mala fertilización, falta de humedad en etapas críticas, etc., no será mejorada con una buena decisión de herbicidas.

7.2.2.1. Herbicidas de pre siembra

Son herbicidas que se aplican durante el período de barbecho, es decir, entre la cosecha de un cultivo y la siembra del siguiente. La mayoría de estos herbicidas

son para controlar malezas emergidas, por lo que deben ser aplicados cuando éstas tengan cierto desarrollo foliar, en especial si hay malezas perennes. Los herbicidas factibles de usar se indican en el Cuadro 7.3.

Por su forma de actuar, estos herbicidas pueden ser sistémicos o de contacto. Los sistémicos serán absorbidos en el área que tocan la planta, y serán translocados a diferentes partes de la planta, pudiendo ser a zonas de crecimiento activo como a zonas de acumulación. Por esta razón son más efectivos sobre malezas perennes, aunque éstas requieren tener cierto desarrollo para absorber suficiente producto que llegue a las zonas de acumulación y crecimiento, como rizomas, estolones, bulbos, tubérculos, etc. Por otra parte, los herbicidas de contacto, no son translocados y sólo afectan la parte de las plantas que es alcanzada por el herbicida. Esto indica que para actuar deben tener muy buen cubrimiento de las malezas. Así, estos herbicidas actúan muy bien en plántulas de malezas anuales, pero las perennes rebrotarán y sería necesario aplicarlo varias veces.

Cuadro 7.3. Herbicidas sistémicos a usar como barbecho químico o antes de la siembra de un cultivo.

Ingrediente activo	Producto comercial	Mecanismo de acción	Modo de acción
Glifosato	Atila; Bingo 48 SL; Faena FG; Panzer gold; Glifosato Du Pont; Glifospec 48% SL; Glifospec 75 SG; Rango 75 WG; Rango 480 SL; Rango full; Roundup amonio; Roundup FG; Roundup ultramax; Titan SG; Touchdown IQ; Touchdown IQ 500 SL; Touchdown IQ 500	Inhibidor enzima EPSPS	Sistémico, no selectivo; controla hoja angosta y ancha
Aminotriazol / Tiocianato de amonio	Azote plus	Inhibidor de carotenoides	Sistémico, no selectivo, controla hoja ancha y angosta
MCPA	MCPA 750 SL	Hormonal	Sistémico, no selectivo, controla hoja ancha
Clethodim	Centurion 240 EC; Centurion super; Aquiles 24 EC	Inhibidor enzima ACCasa	Sistémico, selectivo, controla gramíneas
Quizalofop - etil	Flecha 9.6 EC	Inhibidor enzima ACCasa	Sistémico, selectivo, controla gramíneas
Quizalofop -P-etil	Assure pro	Inhibidor enzima ACCasa	Sistémico, selectivo, controla gramíneas
Quizalofop -P tefurilo	Sector - t	Inhibidor enzima ACCasa	Sistémico, selectivo, controla gramíneas
Tepaloxymid	Aramo	Inhibidor enzima ACCasa	Sistémico, selectivo, controla gramíneas
Fluazifop butil	Hache uno 2000 175 EC	Inhibidor enzima	Sistémico, selectivo, controla gramíneas

Continuación Cuadro 7.3.

Ingrediente activo	Producto comercial	Mecanismo de acción	Modo de acción
Diquat	Reglone	Inhibidor fotosíntesis I	Contacto, no selectivo; controla gramíneas y hoja ancha
Paraquat	Kazaro 276 SL; Nuquat; Paraquat 276 SL; Paraquat 27,6 SL Agrospec; Roaster; Gramoxone super; Paraquat 276	Inhibidor fotosíntesis I	Contacto, no selectivo; controla gramíneas y hoja ancha
Paraquat/Diquat	Farmon	Inhibidor fotosíntesis I	Contacto, no selectivo; controla gramíneas y hoja ancha
Glufosinato de amonio	Basta 14 SL	Inhibidor enzima GS	Contacto, no selectivo; controla gramíneas y hoja ancha

Fuente: Acevedo, 2003.

EPSPS: enzima enolpiruvil shikimato fosfo sintasa; ACCasa: enzima acetil CoA carboxilasa. GS: Enzima glutamino sintetasa. Catalizan reacciones muy específicas en vegetales.

Para evitar o retrasar el aumento de la resistencia, es necesario rotar herbicidas con diferente mecanismo de acción, o aplicar en forma secuencial, eligiendo herbicidas de diferente grupo. Por ejemplo, el uso excesivo de glifosato en aplicaciones continuas dentro de una misma temporada, ha originado resistencia de plantas de ballica (*Lolium multiflorum*). La solución no es aumentar la dosis ni aumentar el número de aplicaciones, sino que cambiar a uno de contacto con posterioridad a la aplicación del glifosato.

Es posible aplicar herbicidas sistémicos que controlen gramíneas, pero algunos de ellos (trepaloxydin y clethodim) pueden disminuir la germinación de cereales si se aplican muy cercanos a la siembra, por lo que conviene dejar al menos tres semanas.



Foto 7.1. Rastrojo alrededor de 20 días después de cosechar un cereal. Se observan abundantes malezas sin controlar produciendo semillas. Esta situación debe impedirse en cualquier sistema de cultivo.

7.2.2.2. Herbicidas de pre emergencia

Se aplican inmediatamente después de la siembra del cultivo, por lo que su uso depende de la selectividad al cultivo y de si están registrados. Como actúan vía suelo, son absorbidos durante la germinación o emergencia de las malezas, aunque algunos ejercen acción después de emergidas.

En este grupo hay herbicidas con diferente efecto residual, por lo que pueden estar controlando en periodos prolongados, 30, 60 y aún más días después de la aplicación, por lo que son una muy buena alternativa; sin embargo, no existe para todos los cultivos una buena oferta de estos herbicidas, aunque el trigo, avena y raps tienen varios. Para que este tipo de herbicidas actúe bien, se requiere humedad en el suelo y que quede bien distribuido, por lo que debe aplicarse sobre un suelo mullido y sin terrones, como normalmente está después de sembrar en sistemas convencionales. En contraste, en las siembras en sistemas cero labranza o labranza mínima, es posible encontrar cantidades variables de residuos sobre el suelo, lo que impide una adecuada distribución y

contacto herbicida-suelo, quedando parte del herbicida sobre los residuos y no con el suelo. En estos casos no habrá un adecuado control de las malezas, y no por falla del herbicida, ni por fallas en la aplicación, sino que por la presencia de paja que afecta el comportamiento y control de los herbicidas al suelo. Por lo anterior, es necesario observar el suelo recién sembrado, y calcular de manera aproximada qué porcentaje de suelo está con residuos, ya que ese porcentaje del suelo quedará sin control. Si hay mucho residuo sobre el suelo, es preferible utilizar herbicidas de post emergencia, pero comprobando que no existan malezas resistentes a este tipo de herbicidas.



Foto 7.2. Suelo con abundante residuo del cultivo anterior. En esta condición no se recomienda usar herbicidas pre emergentes.

Los herbicidas de pre y post emergencia temprana, son más efectivos cuando las malezas aún no emergen, y si han emergido tendrán mejor control mientras más pequeñas estén. Se debe comprobar el estado de desarrollo del trigo, ya que cada herbicida es para cada situación; algunos se recomiendan con trigo de una hoja y otros hasta 2-3 hojas.

Cuadro 7.4. Herbicidas pre emergentes o post emergentes temprano registrados para trigo.

Producto comercial	Ingrediente activo	Malezas controladas	Observaciones
Afalon 50 SC Linurex 50 SC Linuron 500 SC	Linuron	Hoja ancha y gramíneas	Trigos primaverales, Pre y post temprana
Bacara forte 360 SC	Flufenacet + flurtamone + diflufenicam	Hoja ancha y gramíneas	Pre y post temprana
Dazzler 50 SC Diurex 50 SC Diuron 80 WP Dogma 80 WP Karmex 80 WG Karmex 50 SC	Diuron	Hoja ancha	Pre, algunos sólo siembras invernales
Dual gold 960 EC	S-Metolacloro	Gramíneas	Post temprana, antes de emerger malezas
Espada EC Oriol 400 EC	Pendimetalin	Gramíneas y algunas de hoja ancha	Suelos con 7% materia orgánica o más, Pre
Falcon	Prosulfocarb	Gramíneas y algunas de hoja ancha	Pre, post temprana
Falcon gold	Prosulfocarb + S-metolacloro	Gramíneas y algunas malezas de hoja ancha	Post temprana
Finesse	Clorsulfuron + metsulfuron	Hoja ancha y algunas gramíneas	Pre; post desde 3 hojas trigo; malezas gramíneas hasta 1 hoja para controlar
Fuego	Isoproturon	Gramíneas	Pre
Heat	Saflufenacil	Hoja ancha	Pre, o barbecho
Proponit 720 EC	Propizaclor	Gramíneas y algunas hoja ancha	Pre
Pledge	Flumioxazin	Hoja ancha y algunas gramíneas	Pre
Triflurex 48 EC	Trifluralina	Gramíneas y algunas hoja ancha	Suelos con 7% materia orgánica o más, Pre

SAG, 2014.



Foto 7.3. Siembra de trigo recién terminada, sobre suelo con abundantes residuos de avena no incorporada.



Foto 7.4. Siembra de leguminosa recién hecha, sobre suelo con abundante residuo que impide la acción de herbicida pre emergente.

7.2.2.3. Herbicidas de post emergencia

Se aplican después de la emergencia de las malezas y del cultivo, por lo que deben ser selectivos al cultivo, y serán de más utilidad mientras más especies de malezas controlen. La mayoría de estos herbicidas tiene poca actividad a través

del suelo, por lo que son dependientes de las condiciones climáticas durante los días siguientes a la aplicación. En efecto, temperaturas primaverales, o al menos sobre 10°C, favorecen su actividad ya que las plantas están creciendo activamente, y así el cultivo lo metabolizará más rápido y las malezas morirán pronto. Por esta razón, los cultivos no deben estar estresados al momento de aplicarlos.

La elección de los herbicidas depende del cultivo. Entre los cereales, en general, se dispone de suficientes herbicidas para el control de malezas de hoja ancha, como rábano, yuyo, sanguinaria, duraznillo, manzanillón, etc. Sin embargo, para controlar malezas gramíneas, como avenilla y ballica, es más complicado ya que mientras trigo y cebada tienen alternativas, la avena carece de herbicidas selectivos de post emergencia, por lo que su manejo dependerá más de la rotación que del cultivo mismo. Por otra parte, los cultivos de hoja ancha como canola, tiene herbicidas para hoja ancha y gramíneas suficientes para un adecuado control, mientras que arveja o lupino, tienen más para controlar gramíneas que malezas de hoja ancha, por lo que las malezas latifoliadas deben ser controladas con aplicaciones de pre emergencia.

7.3. Consideraciones finales

Establecer un cultivo sobre residuos tiene diferencias con la siembra sobre suelo preparado en forma convencional, ya que los rastrojos del cultivo anterior disminuyen la población inicial de malezas, pero también impiden un adecuado contacto de los herbicidas pre emergentes con el suelo, disminuyendo así el potencial de control sobre malezas resistentes a algunos post emergentes. Esto indica la necesidad de buscar otras formas para disminuir la competencia con malezas, ya que igual emergerán con poblaciones altamente competitivas. Así, adquiere importancia el control cultural y una adecuada rotación de herbicidas de diferentes mecanismos de acción.

La decisión final de qué labores considerar y qué herbicidas elegir, dependerá de cada situación en particular, ya que los factores que influyen son varios, como sistema de siembra (tradicional, mínima o cero labranza), rotación de cultivos, manejo de malezas en el cultivo anterior, cultivares a utilizar (precocidad y

adaptación a la zona), fertilización, calidad de semilla (determina la población inicial), presencia de plagas y enfermedades (debilitan la capacidad competitiva del cultivo), etc. Por estos motivos, no siempre es conveniente copiar totalmente lo que realiza el vecino, sino que primero se debe evaluar la situación del propio predio.

7.4. Literatura citada

Massucati, L.F.P., and U. Köpke. 2010. Weed control with straw residues in occasional direct seeding of faba bean (*Vicia faba* sp.) in organic agriculture. p. 575-584. In European Congress on Conservation Agriculture. 4-7 October 2010. Madrid. España.

Pedrerros L., A., e I. Matus T. 2010. Situación de las malezas en trigo: consideraciones en el uso de herbicidas pre emergentes. Informativo Agropecuario Bioleche-INIA 23 (1):18–22.

Pedrerros L., A. 2004. Malezas gramíneas en trigo. Revista Tattersall 188:10-11.

Pedrerros L., A. 2004. Malezas en producción de trigo. p. 77-102. En Mellado, M. Boletín de trigo: manejo tecnológico. Boletín INIA N° 114. INIA, Chillán, Chile.

Ruiz, C., A. Pedrerros, y S. Yoshikawa. 2004. Producción de trigo en cero labranza en el secano interior. 16 p. Serie cartillas divulgativas Proyecto CADEPA N° 7. INIA, Chillán, Chile.

SAG. 2014. Lista de plaguicidas autorizados en Chile. Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). Disponible en <http://datos.gob.cl/datasets/ver/3716> (Consulta 23 septiembre 2014).

Teasdale, J.R., and C.L. Mohler. 2000. The quantitative relationship between weed emergence and the physical properties of mulches. Weed Science 48:385-392.

Thierfelder, C., and P. Wall. 2009. Effects of conservation agriculture techniques on infiltration and soil water content in Zambia and Zimbabwe. Soil and Tillage Research 105:217-227.

PLAGAS ASOCIADAS A MANEJO DE RASTROJOS



Marcos Gerding P.
Ingeniero Agrónomo, MSc.
Biobichos Ltda.

En Chile no tenemos plagas que sobrevivan un año en las cañas o rastrojo, como ocurre en otros países, en que la destrucción de ella es fundamental para evitar daño de los insectos en el cultivo siguiente. En los cultivos de secano, donde los rastrojos se utilizan para controlar la erosión y la evaporación, se pueden observar la presencia de algunas especies de insectos y babosas.

Los insectos del suelo que son plagas de los cultivos intensivos en Chile, son organismos que sólo pasan parte de su ciclo biológico bajo el suelo, alimentándose de raíces y del cuello de la planta. Su presencia en el cultivo está influenciada, en parte, por la riqueza de materia orgánica en el perfil del suelo. También existen otros organismos que son plaga, pero no insectos, que es el caso de las babosas y caracoles, los cuales incrementan sus poblaciones en presencia de rastrojos, que les dan protección de depredadores y la humedad necesaria para evitar la deshidratación.

En una rotación trigo, raps, lupino, los insectos del suelo son en parte destruidos durante la preparación del suelo en otoño-invierno; sin embargo, los que permanecen en el perfil causarán daño en las semillas, plántulas y plantas desarrolladas. Las principales plagas del suelo que se encuentran en estos cultivos son los gusanos blancos, típulas, larvas de curculiónidos y babosas.

8.1. Gusanos blancos

Los gusanos blancos (*Hylamorpha elegans*, *Phytoloema herrmanni*, *Sericoide viridis*), son larvas de los coleópteros llamados pololos (verde, café, café grande, carmelita, pololito dorado). Estos insectos como adultos son voladores, y por lo tanto su presencia de una temporada a otra puede variar. Los adultos, dependiendo de la especie, tienen su vuelo entre octubre y diciembre, por lo tanto la presencia de las larvas se desarrolla durante el otoño e invierno, coincidiendo con la época de siembra de los cereales y sus rotaciones. Durante la preparación del suelo hay una gran destrucción de los insectos, ya sea por efecto mecánico, desecación por el sol o como alimento de depredadores, principalmente aves.

La incorporación del rastrojo podría incrementar la presencia de larvas de gusanos blancos del pololo café, cuyo alimento principal son vegetales en descomposición. La larva se desplaza verticalmente en el perfil del suelo, hasta la superficie, en busca de materia en descomposición, para introducirla en su túnel. Además, la presencia de rastrojo permite que la superficie del suelo sea más accesible para que las hembras de los pololos puedan penetrar en el suelo a depositar sus huevos.

En general, los rastrojos incorporados o sobre la superficie no influirán en gran medida en la presencia de los gusanos blancos en el cultivo de trigo, raps o lupino.



Foto 8.1. Larva de gusano blanco.

8.2. Larvas de curculiónidos

Las larvas de curculiónidos (*Aegorhinus superciliosus*, *Asynonichus cervinus*, *Naupactus xantographus*, *Othiorhynchus sulcatus*) (burritos, cabritos, capachitos), son en general larvas blancas, sin patas (Foto 8.2.), que se encuentran en las raíces de las plantas. En cultivos anuales no debieran ser problema, pues la preparación de suelo destruye las larvas.

Los adultos no vuelan, por lo tanto, no invaden los cultivos anuales que se desarrollan principalmente en invierno cuando los adultos no están presentes. La presencia de rastrojos no afecta el comportamiento de estos insectos. La excepción es el gorgojo argentino de las ballicas (*Listronotus bonariensis*), cuya larva habita en el interior del tallo de las gramíneas. Al ser levantada la pradera de ballica para realizar siembras de maíz, estas larvas dejan la planta muerta y se mueven en el suelo hacia las plántulas de maíz, horadándolas y produciendo un daño importante.



Foto 8.2. Larva de curculiónidos.

8.3. Típula

Las larvas de típula (*Tipula apterogyne*) corresponden a estados inmaduros del díptero llamado “Zancudo patón”. La larva de este insecto requiere de agua acumulada en la superficie del suelo para su desarrollo, situación muy común en suelos pesados, arcillosos, en donde después de la siembra se producen surcos llenos de agua y desde donde las larvas pueden desarrollarse y dañar fuertemente a las plantas jóvenes o plántulas del cultivo. La presencia de rastrojo sobre el suelo en estas condiciones puede prolongar la presencia del agua superficial y, por ende, prolongar la acción de la típula. La incorporación del rastrojo en estos suelos pesados mejorará la percolación del agua, lo que puede ser beneficioso para el cultivo, pues no se darán las condiciones de acumulación de agua superficial.

En suelos más livianos y aireados la acumulación de agua es muy difícil y, por lo tanto, la presencia de larvas de típulas en los inicios del cultivo será reducida.



Foto 8.3. Larva de típula.

8.4. Babosas

En general las babosas (*Deroceras reticulata*) habitan en ambientes húmedos donde no sufren deshidratación. La presencia de paja superficial incrementa esta situación. En sistemas bajo condiciones de riego se incrementa la humedad del

microambiente y, con ello, se incentiva el desarrollo de las babosas, independiente del cultivo que se trate. El daño que producen las babosas es principalmente sobre las plántulas, pues al rasparlas quiebran el tallo y la planta muere. En los cultivos anuales ya desarrollados, el daño directo por alimentación sólo produce un raspado del material verde, ya sea en hojas o tallos, el cual no tiene la importancia del daño que hacen las babosas a las plántulas.

El control de las babosas es difícil debido a que no hay productos de contacto que las puedan afectar; ellas se protegen con su baba. El uso de atrayentes alimenticios tóxicos es muy efectivo, pero de alto costo.

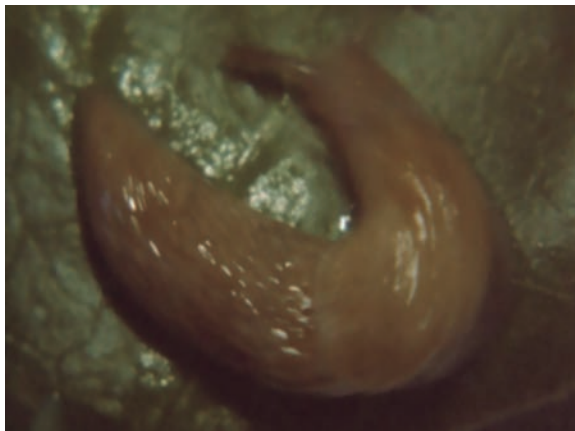


Foto 8.4. Larva de babosa.

8.5. Consideraciones finales

La tendencia de quema de rastrojos de cereales en Chile no tiene gran justificación si se trata de afectar la presencia de insectos plaga para el cultivo siguiente. Quizás la quema de rastrojos afecta más al destruir la vida biológica existente en los primeros centímetros del perfil del suelo, que de alguna manera pudieran estar participando del control natural de los insectos plagas.

En general, en nuestro país la presencia de insectos en los residuos superficiales o incorporados en el perfil del suelo no causan problemas en la rotación de

cultivos. Por el contrario, algunas especies como larvas del pololo café pueden ser beneficiosas.

8.6. Literatura consultada

Artigas J. 1994. Entomología económica, insectos de interés agrícola, forestal, médico y veterinario. Vol II. Universidad de Concepción, Concepción, 943p.

Cisternas E., Carrillo R. 2001. Pololo café de las praderas. Informativo Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Remehue N° 24.

Millas P. y Carrillo R. 2010. Rate of soil egestion by larvae of *Hylamorpha elegans* (Burm.) and *Phytoloema hermanni* Germ. (Coleoptera: Scarabaeidae). Neotropical Entomology vol 39: 5.

USO DE PAJAS DE CEREALES EN ALIMENTACIÓN DE VACUNOS

9

Adrián Catrileo S.

Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Ph.D.
Investigador INIA Carillanca

Los vacunos y otros rumiantes, como ovinos, caprinos y en alguna medida los equinos, tienen la capacidad de consumir y digerir alimentos altos en fibra, como las pajas de los cereales, que son indigestibles para especies animales no rumiantes.

La calidad del forraje ofrecido afecta el consumo y respuesta del animal. La paja como alimento base posee características químicas, físicas y estructurales, que determinan su calidad o la disponibilidad de nutrientes para el ganado. Además de ofrecer proteína, energía, minerales y otros nutrientes, el forraje está compuesto por fibra, con algunos tipos más digestibles que otras. Mientras más digestible es la fibra, existe una mayor posibilidad que los nutrientes ubicados en el contenido celular se encuentren disponibles para el proceso digestivo del animal.

9.1. La fibra como constituyente de la paja

La fibra es una parte de la estructura de la planta, y está compuesta principalmente por una combinación de carbohidratos como la celulosa, hemicelulosa y la lignina, los cuales son degradados por las enzimas de los microorganismos presentes en el rumen. La lignina es el carbohidrato menos digestible, aunque cumple una función importante en la conducción de agua al interior de la planta. La concentración de celulosa es mayor en los estados inmaduros de la planta, y en la medida que la planta madura, aumentan la hemicelulosa y la lignina, con lo que se reduce la digestibilidad del material.

9.1.1. Digestión de la fibra en el rumen

En el rumen, microorganismos como las bacterias y protozoos realizan la digestión del alimento que el animal consume. En general, se asume que un rumiante en condiciones normales utiliza 8 horas en rumia, 8 horas en pastoreo y 8 horas en descansar.

Existe una diversidad de bacterias, algunas de ellas especializadas en degradar la fibra, como las bacterias fibrolíticas, mientras que las bacterias amilolíticas degradan principalmente el almidón de los granos y concentrados. La proporción de estas bacterias es dinámica y cambia de acuerdo al alimento consumido, predominando las fibrolíticas cuando el alimento es rico en forrajes o fibra, y por el contrario, predominan las amilolíticas cuando el alimento es rico en granos. La degradación de la fibra da origen a la formación de ácido acético en el rumen, mientras que el consumo de alimentos más concentrados, promueve la formación de ácido propiónico que es usado como energía por el animal.

9.1.2. pH y tamaño de picado

El proceso digestivo de los microorganismos en el rumen se realiza en un ambiente de acidez neutro, con un pH cercano a 7. Sin embargo, cuando el alimento es bajo en fibra y alto en concentrado, el pH puede bajar, pudiéndose presentar lo que se conoce como acidosis, que es un problema metabólico en el ganado. Por este motivo es importante considerar un mínimo de fibra en la ración, al menos 18%, para promover un buen trabajo del rumen. Se recomienda que los cambios de alimentación, como pasar de un alimento fibroso a uno concentrado, se hagan en forma gradual, dando al menos unos días para que el rumen se adapte a las nuevas condiciones.

Normalmente una ración alta en fibra promueve mayor rumia y salivación en el vacuno, lo cual es normal. Concentrados muy molidos, bajos en fibra y en gran cantidad (sobre 6 kg/animal/día) pueden llevar a la presentación de problemas de acidosis o laminitis (inflamación de la pezuña), por lo que se recomienda en estos casos, parcializar en al menos dos veces la entrega del alimento diario. Por otra parte, el tamaño de picado de forrajes toscos, como las pajas, influye en la digestión de la misma, siendo mejor cuando el tamaño de la partícula suministrada

es menor o se suministra picada a 1-2 pulgadas y se mezcla con los demás componentes de la ración (Manterola y otros, 1992).

9.2. Los residuos de los cultivos y su integración con la ganadería

La complementación de los cultivos con la ganadería surge, en la mayoría de los casos, por la utilización que realizan los animales de los rastrojos que quedan de la cosecha de cereales y leguminosas. De esta forma los productores buscan maximizar el aprovechamiento íntegro del cultivo, y a la vez, suministrar alimento a animales menos productivos en una época del año en que la pradera presenta un bajo crecimiento (Catrileo y Rojas, 1994). Además de los rastrojos, se retira de los potreros un volumen importante de paja, la cual puede ser utilizada en momentos críticos en la alimentación bovina.

Al respecto, la Región del BíoBío tiene potencialmente un volumen de producción de paja del orden de 720.000 toneladas, considerando la superficie sembrada de cereales y leguminosas (Cuadro 9.1.). Esta disponibilidad equivaldría, en términos de materia seca, a la producción anual de 90.000 hectáreas de pradera con rendimientos anuales de 8 toneladas de materia seca por hectárea. Si el total se utilizara con un 50% de eficiencia en producción animal, permitiría la mantención potencial de 45.000 vacunos adultos, durante un año.

Cuadro 9.1. Superficie bajo cultivos y estimación de paja producida. Región del BíoBío, temporada 2012-13.

Cultivo	Superficie (ha)	Rendimiento (qqm/ha)	Coef (*)	Paja Prod. Toneladas
Trigo	83.331	58,6	1	488.319
Avena	32.556	47,7	1,3	201.879
Cebada	1.888	55,0	1,2	12.460
Lenteja	265	6,7	4	710
Triticale	2.457	53,5	1	13.022
Total paja disponible				716.390

(*) Manterola y otros, 1999.

Fuente: ODEPA, 2014.

La paja de cereales, en especial la de trigo, se usa preferentemente como cama caliente en galpones con sistemas de producción animal intensivos, y en menor medida, como alimento. Las pajas se caracterizan por tener una baja digestibilidad (alrededor de 50%), bajo contenido de energía metabolizable (inferior a 1,9 Mcal/kg), bajo contenido de proteína cruda (< 5%) y un bajo aporte de vitaminas y minerales (Cuadro 9.2.). Por lo anterior, cuando se suministra paja como alimento siempre es recomendable complementar la dieta con vitaminas y minerales, en forma inyectable u oral.

Cuadro 9.2. Composición química de paja de diferentes cultivos.

Cultivo	Materia seca %	Proteína total %	E.M. Mcal/kg	Fibra cruda %	Calcio %	Fósforo* %
Trigo	84	2,7	1,73	43,3	0,43	0,06
Avena	86	2,2	1,62	43,7	0,24	0,16
Cebada	86	3,8	1,93	38,5	0,37	0,11
Lenteja	93	5,4	--	49,9	--	--
Poroto	81	8,5	2,19	37,1	1,39	0,23
Arveja	65	7,6	2,03	35,3	1,00	0,11
Lupino	67	13,8	2,07	31,8	---	--

Fuente: Laboratorio INIA.

E.M.: Energía Metabolizable.

(*) Hirsch-Reinshagen, P. 1992.

En la agricultura del sur del país, gran parte de la paja se quema con el objeto de facilitar las labores de preparación de suelos de los cultivos, manejo que cada día se cuestiona más por las implicancias que tiene en el deterioro del medio ambiente, por lo cual debe buscarse otras alternativas de utilización.

9.3. Investigaciones realizadas por el INIA

La suplementación estratégica con pajas a los bovinos de carne, especialmente vacas de crianza y novillos, ha sido investigado por el INIA. El objetivo de estos estudios, realizados en el Valle Central de la región de La Araucanía, ha sido buscar una opción alimenticia para ser utilizada en épocas de baja producción de la pradera (invierno o verano), o cuando se busca mantener el peso de los animales para considerar una venta futura a un mejor precio, o cuando se requiere rezagar

las praderas y utilizar potreros de sacrificio invernal que permitan posteriormente una mejor producción y utilización del forraje en épocas de mayor crecimiento. El uso de las pajas de cereales permite además una reducción de los costos de alimentación invernal de los animales en comparación al uso de ensilaje o heno.

9.3.1. Alimentación de vacas de crianza

Una experiencia realizada en INIA Carillanca, en La Araucanía, evaluó la respuesta productiva de vacas Hereford preñadas a la suplementación invernal con distintos tipos de pajas, mientras están los animales en potreros de sacrificio. Los antecedentes generados en Carillanca, han permitido determinar que las vacas, especialmente de carne, pueden perder hasta un 15% de su peso vivo desde el post destete hasta el parto, sin tener dificultades posteriores, siempre y cuando recuperen su peso y engorden durante la primavera-verano siguiente.

El estudio consideró paja de avena, arveja y lenteja como único suplemento invernal a vacas a pastoreo, más la suplementación con minerales, y se las comparó con ensilaje de pradera como tratamiento testigo. La experiencia tuvo una duración de 70 días, iniciándose después del destete, a partir de mediados de abril, cuando las vacas ingresaron con una condición corporal equivalente a 4 (rango 1 a 5; donde 1= flaca y 5= gorda). Los resultados que se presentan en el Cuadro 9.3. demuestran que en comparación al ensilaje de praderas, los distintos tipos de pajas empleadas tuvieron una menor respuesta; sin embargo, sobresalieron las pajas de leguminosas, cuyo análisis químico reflejó un mejor contenido de proteína total y energía metabolizable (EM) que la paja de avena. Por lo anterior, las vacas suplementadas con ensilaje de praderas tuvieron un mejor comportamiento productivo, dado el mejor aporte nutritivo y el mayor consumo de materia seca que las vacas hicieron de este recurso, en relación a los forrajes toscos ofrecidos.

Cuadro 9.3. Incremento de peso de vacas Hereford, consumo diario de suplementos y disponibilidad de materia seca de la pradera. Región de La Araucanía. INIA Carillanca.

	Ensilaje pradera	Paja avena	Paja arveja	Paja lenteja
Peso inicial, kg	501	517	504	499
Peso final, kg	528	506	511	516
Ganancia peso, kg/an/día	0,301	-0,122	0,077	0,185
Consumo, kg	31,9	5,2	4,3	3,6
Disp. pradera, kg MS/ha	1.560	1.070	1.910	1.120

Fuente: Rojas y Catrileo, 1994.

Otro estudio con vacas Hereford preñadas utilizó paja de trigo, avena, cebada y paja de trébol rosado (el subproducto de la cosecha de semilla), también como único suplemento durante 127 días desde post destete, en praderas establecidas y cargas de 2,0 vacas/ha. Los resultados que se presentan en el Cuadro 9.4. indican pérdidas de peso de las vacas, que fueron mayores cuando fueron suplementadas con las pajas de trigo y avena. Sin embargo, las pérdidas fueron menores con las pajas de cebada y de trébol, que se explican por el mayor consumo que hicieron las vacas de estos materiales.

Cuadro 9.4. Incremento diario de peso de vacas Hereford, consumo diario de suplementos y disponibilidad de materia seca de la pradera. Región de La Araucanía. INIA Carillanca.

	Paja trigo	Paja avena	Paja cebada	Paja trébol rosado
Peso inicial, kg	460	466	445	469
Peso final, kg	419	430	432	457
Ganancia peso, kg/an/día	-0,350	-0,310	-0,110	-0,100
Consumo kg	4,8	4,5	5,9	5,4
Disp. pradera, kg MS/ha	325	306	282	355

Fuente: Rojas y Catrileo, 1998.

De ambas experiencias puede concluirse que las pajas pueden constituir parte de la ración diaria de vacas preñadas en la época de invierno cuando hay escasez de forraje. Si bien no constituyen un alimento de gran valor, se pueden suministrar estratégicamente como suplemento a los animales para mantención de peso, o para sub mantención por períodos cortos, especialmente de vientres que se inician en el sistema con una buena condición corporal (CC= 4), en el período

posterior al destete. Desde este punto de vista, los forrajes toscos provenientes de leguminosas constituyen una alternativa que los animales utilizan mejor, presentando mejor respuesta productiva.

En la medida que se empleen pajas en reemplazo de ensilajes en los sistemas de crianza, se puede aumentar la carga animal, al no tener que rezagar potreros para la conservación de forrajes. De acuerdo con estos trabajos, el reemplazo del forraje conservado de los sistemas de cría intensiva por pajas residuales de cultivos, permitiría incrementar la carga animal por hectárea en más de un 30%. En un sistema de producción que disponga de una carga animal de 1 vaca/ha y destete terneros de 200 kg/vaca, se podría esperar un aumento de producción equivalente a 60 kg de ternero por hectárea.

9.3.2. Alimentación de novillos

Uno de los estudios con esta categoría animal, realizado en INIA Carillanca, evaluó la respuesta productiva de novillos Hereford ante el suministro de diferentes tipos de pajas. El experimento consideró animales estabulados con acceso a una ración diaria de paja sin tratamiento químico, ofrecida a discreción durante 84 días y animales con 212 kg promedio de peso vivo. A la ración se agregó en promedio 1,5 kg de concentrado por animal por día, que contenía además un 2% de sales minerales. Las pajas evaluadas correspondieron a trigo, avena, cebada y trébol rosado, ésta última incluida en atención a la disponibilidad de este recurso en predios dedicados a la producción de semilla y donde la paja es cosechada como un subproducto. En el Cuadro 9.5. que presentan los resultados de la experiencia, se observa que los animales tuvieron una mejor respuesta con la paja de trébol rosado, siendo la paja de trigo la de menor aprovechamiento.

Cuadro 9.5. Comparación de paja de trigo, avena, cebada y trébol rosado (subproducto de la cosecha de semilla) en terneros Hereford. Región de La Araucanía. INIA Carillanca.

	Trigo	Avena	Cebada	T. Rosado
Peso inicial, kg/an	210	218	211	207
Peso final, kg/an	221	239	228	233
Consumo paja, kg/an	3,0	3,1	3,3	3,0
Gan. peso, kg/an/día	0,130	0,250	0,202	0,309
Eficiencia de conversión, kg/kg	36,1	19,0	24,7	15,2

Fuente: Rojas y Catrileo, 1994.

A través de la experiencia, se observó un consumo promedio de alrededor de 3 kg de paja por ternero al día, y ello se tradujo en un aumento de peso en el caso del tratamiento que usó paja de trébol rosado que llegó a los 300 gramos diarios por animal y una eficiencia de conversión de alimento (kg de alimento por kg de ganancia de peso) de 15 por 1, lo cual es muy bueno para el tipo de alimentación suministrada.

9.3.3. Uso de paja de avena en la engorda de novillos

En otro experimento, se evaluó el uso de paja de avena en comparación al ensilaje de praderas y granos en la engorda de novillos, como una forma de disminuir los costos de producción, sin deteriorar la respuesta animal (Rojas y otros, 2012). En el estudio se utilizaron 28 novillos Hereford x Aberdeen Angus de 22 a 23 meses de edad, nacidos en primavera, con 398 kg de peso vivo inicial promedio, para probar cuatro tratamientos correspondientes a dietas de engorda en base a ensilaje de pradera, paja de avena y granos, siendo el tratamiento T1, ensilaje y granos de avena y lupino dulce; el T2, paja de avena y granos de avena y lupino; el T3, paja de avena y granos de cebada y lupino; y el T4, paja de avena y granos de triticale y lupino. En forma adicional a los granos se consideró urea y sales minerales en todos los tratamientos.

El ensilaje utilizado fue de ballica perenne y trébol blanco. La paja de avena utilizada correspondió al subproducto de la cosecha del grano que bota la máquina cosechadora de cereales y enfardada en unidades convencionales de 1 x 0,3 x 0,5 m. El ensilaje y la paja se utilizaron tal como se conservaron, la urea en su

forma comercial, y los granos fueron procesados en un molino de martillo con un tamiz de 10 mm de diámetro. El consumo diario de las dietas, base MS, fue de 8,72; 8,61; 8,53 y 8,07 kg/animal, para los tratamientos 1 al 4, respectivamente. En general, no se observaron diferencias numéricas importantes en el consumo de los animales en los tratamientos 1, 2 y 3, pero sí entre éstos y el T4, que se debió al uso de grano de triticale el cual presentó problemas de palatabilidad al inicio de la engorda.

Los incrementos diarios de peso de los novillos se señalan en el Cuadro 9.6. Éstos indican que no hubo diferencias entre los tratamientos 1 y 3, y tampoco entre los tratamientos 2 y 4. Sin embargo, los incrementos fueron superiores en los T1 y T3 respecto de los T2 y T4. Los incrementos de peso de los T1 y T3 fueron similares a otros trabajos realizados por INIA usando dietas convencionales. La similitud en los incrementos de peso y consumo entre estos tratamientos indicaron las buenas posibilidades de uso que tiene la paja de avena, bajo las condiciones de este estudio, para reemplazar al ensilaje de pradera.

Cuadro 9.6. Respuesta productiva de novillos Hereford x Angus estabulados con dietas de engorda en base a paja de avena y granos. Región de La Araucanía. INIA Carillanca.

	T1	T2	T3	T4
Peso inicial, kg /animal	412	399	387	393
Peso final, kg /animal	504	473	477	469
Incremento diario, kg /animal/día	1,320a	1,059b	1,276a	1,102b
Consumo diario, kg MS /animal	8,72	8,61	8,53	8,07
Conversión alimentos, kg /kg	6,60	8,13	6,68	7,32
Rendimiento centesimal en caliente, %	52,2a	51,7a	52,0a	51,0a
Área de ojo del lomo, cm ²	54,3a	55,2a	53,5a	52,9a
pH 1 - 7	5,6c	5,8ab	5,6bc	5,8a

T1: Ensilaje y granos de avena y lupino. T2: Paja de avena y granos de avena y lupino. T3: Paja de avena y granos de cebada y lupino. T4: Paja de avena y granos de triticale y lupino.
Fuente: Rojas y otros, 2012.

Los incrementos de peso de los tratamientos 2 y 4, que usaron paja de avena como forraje conservado y grano de avena y triticale, respectivamente, si bien fueron más bajos respecto de los otros dos tratamientos, el promedio de 1,080 kg/ animal alcanzado se considera una buena respuesta animal para el tipo, cantidad y calidad de la ración entregada. También se llegó a las mismas conclusiones al relacionarlo con la respuesta animal de otros estudios de engorda invernal de

novillos que usaron ensilaje como forraje conservado y contenidos similares de proteína cruda y energía metabolizable.

La conversión de alimentos siguió la misma tendencia numérica de los incrementos de peso, donde el promedio en los tratamientos 1 y 3 fue de 6,6 kg de alimento consumido por kilogramo de incremento de peso (kg/kg), que fue menor a 8,2 kg/kg que se desprende de las relaciones señaladas en las tablas de requerimientos nutritivos internacionales (AFRC, 1995) y similar a lo obtenido en estudios de engorda realizados en INIA que han usado forrajes conservados de calidad (Rojas y otros, 2011a; Rojas y otros, 2011). En este mismo análisis, la conversión de alimentos de los tratamientos 2 y 4, fue de 7,7 kg/kg, aunque más alta que los otros dos tratamientos, siguen siendo más bajas que lo señalado por la AFRC (1995), lo que indica que todas las dietas permitieron una adecuada utilización del alimento y su transformación en peso vivo.

En cuanto a las características de la canal, una vez faenados los animales, todas ellas obtuvieron cobertura de grasa grado 1, de acuerdo a la tipificación realizada por el frigorífico. El área del ojo del lomo y el rendimiento centesimal no fueron influenciados por los tratamientos, a diferencias del pH. Las diferencias en el pH se debieron a que algunos animales presentaron corte oscuro (pH>6,8), lo cual pudo deberse al estrés del transporte y espera en el frigorífico.

Como conclusión se determinó que la alimentación invernal de novillos estabulados con dietas de engorda formuladas con paja de avena, si bien no alcanzó una adecuada cobertura de grasa, no afectó los incrementos de peso cuando el grano de cereal correspondió a cebada; que el rendimiento centesimal en caliente y el área del lomo no se influenciaron con los tratamientos, a diferencia del pH de la canal, y que la dieta de menor costo por kg de alimento y por incremento de peso vivo fue la que utilizó ensilaje de pradera.

9.3.4. Estudio de alimentación con pajas de cereales en novillos en la Región del Biobío

En el marco del convenio INIA-Conaf que dio origen al proyecto “Ejecución Programa de transferencia de prácticas alternativas al uso del fuego”, se

implementó un programa demostrativo de alimentación de ganado que incluyera el uso de pajas de cereales y granos.

En la demostración de uso de paja en novillos, realizado en Cañete y San Ignacio, el objetivo fue obtener buenas ganancias diarias de peso vivo, usando una ración que considerara alimentos factibles de cultivar en el predio y sólo adquirir las sales minerales y vitaminas en forma externa. La ración de los animales consideraron heno de leguminosas, paja de triticale, avena y lupino, complementada con urea, sales minerales y vitaminas A, D y E (Cuadro 9.7.). El concentrado formulado tenía una composición química con un 20,4% PC y 2,84 McalEM/kg MS. Asumiendo un consumo de paja de triticale aproximado de 3 kg/animal por día, la ración diaria (concentrado y forraje) aportó 13,8% PC y 2,3 McalEM/kg MS. Los requerimientos de los animales, así como el aporte nutritivo de los alimentos entregados, fueron considerados en base a las tablas de requerimientos de los animales (novillos de 300 Kg) y tablas nacionales de aportes de nutrientes de los alimentos para uso animal.

Cuadro 9.7. Mezcla de alimentos usada en la alimentación de novillos en unidad demostrativa de Cañete y San Ignacio. Región del Biobío. INIA Quilamapu.

Alimento	kg/novillo/día	%
Heno	1	20,1
Triticale	1,8	36,2
Avena	0,5	10,1
Lupino	1,42	28,6
Urea	0,044	0,89
Bicarbonato de sodio	0,076	1,53
Vit A, D y E	0,003	0,06
Sales minerales	0,125	2,5
Total mezcla	4,97	100
Paja de trigo (estimado)	3,3	
Consumo total alimento	8,27	

Fuente: Saavedra, M. 2014 (datos no publicados).

Se usaron 12 novillos Aberdeen Angus y Angus x Hereford, que fueron evaluados en una engorda invernal. Tanto en Cañete como en San Ignacio, se sometieron a una alimentación intensiva en corrales rústicos techados con 6 novillos cada uno, con agua de bebida a libre disposición y cama caliente de paja. Los animales previamente desparasitados, con sus vacunas al día y la aplicación de vitaminas,

fueron alimentados diariamente con un concentrado pelletizado (4 kg/animal) y heno de alfalfa (1 kg/animal) suministrados en dos oportunidades, la mitad en la mañana (8 AM) y otra mitad en la tarde (5 PM). Los alimentos se ofrecieron en un comedero de madera y la paja se suministró a libre disposición.

Los incrementos diarios de peso vivo fueron muy similares entre los novillos alimentados en Cañete y los novillos engordados en San Ignacio, alcanzando 1,04 y 0,97 kg/novillo/día, respectivamente (Cuadro 9.8.). Este aumento de peso vivo se mantuvo desde el inicio de la engorda hasta el final del control realizado el día 123. Ambos grupos mantuvieron en parte la diferencia inicial de peso vivo, no alcanzando, en general, un acabado y peso final de sacrificio, condición que se alcanzaría con unos 50 días adicionales de engorda.

9.3.5. Consumo de alimentos de los novillos en la unidad demostrativa

Considerando un suministro diario por novillo de 5 kg de la mezcla de alimentos (tal como se ofreció), constituida por 4 kg de pellet más 1 kg de heno de alfalfa (4,45 kg MS) y el consumo diario estimado de 3,3 kg de paja (2,97 kgMS) por novillo, el consumo total por animal alcanzó a 7,42 kg MS por día (Cuadro 9.8., Foto 9.1.).

Cuadro 9.8. Ganancias de peso vivo, consumo de alimentos, eficiencia y costo de la ración (\$2013) en la unidad demostrativa con paja de cereales en la engorda de novillos. Cañete y San Ignacio. Región del Biobío. INIA Quilamapu.

Items	San Ignacio	Cañete
Días de observación	123	123
Peso inicial, kg/an	292,7	275,5
Peso final, kg/an	411,5	403,3
Gan. peso, kg/an/día	0,970	1,040
Consumo de heno, kg MS/an/día	0,86	0,86
Consumo mezcla, kgMS/an/día	3,59	3,59
Consumo de paja, kgMS/an/día	2,97	*
Consumo total, kgMS/an/día	7,42	*
Efic. conversión, kg/kg	7,6	
Costo ración, \$/kg	721	

(*) no disponible.

Fuente: Saavedra, M. 2014 (datos no publicados).



Foto 9.1. Aprovechamiento de rastrojos de cereales en cama y alimentación animal, suplementando con avena, lupino, sales minerales y agua. San Ignacio, 2013.

Los animales consumieron satisfactoriamente la paja, y de acuerdo a los suministros de alimentos y consumo de paja, el heno representó un 12%, el concentrado un 48%, y la paja de trigo un 40% de la ración diaria total.

En general, las canales se observaron entre bajas y muy bajas en grasa de cobertura, debido principalmente a que faltó mayor tiempo de permanencia de los animales en engorda, para acumular grasa y lograr un mejor acabado. El color de la carne fue rojo cereza claro (en canal caliente). Los rendimientos de las canales, alcanzaron un 63%, aunque este fue un antecedente que correspondió a una muestra de 3 novillos sacrificados, del trabajo que se realizó en San Ignacio, precordillera de Ñuble.

9.3.6. Consideraciones en el uso de pajas de cereales como alimento

Como se mencionó, las pajas de cereales (avena, trigo, cebada, triticale) tienen un bajo valor nutritivo y su inclusión debe corresponder a un análisis estratégico del manejo de la alimentación. En general, los estudios indican que la paja de

cebada es mejor que la de avena, y que la paja de avena es mejor aceptada por el ganado que la paja de trigo y triticale. Dado su alto contenido de fibra, los mejores resultados se encontrarán cuando la paja acompañe a otros alimentos de mejor calidad en la ración, siendo un 30% un nivel apropiado de inclusión. Vacas adultas con insuficiente acceso a forrajes (ubicadas en potreros de sacrificio) pueden consumir hasta 4 kg de paja de avena al día y mantener su condición corporal y peso post destete hasta el parto. El monitoreo de la condición corporal a lo largo de la época de restricción alimenticia, deberá considerar si es necesario reemplazar parte de la paja suministrada por heno, y mantener una proporción de 50% paja y 50% heno es recomendable en esos casos.

En novillos, cuyo objetivo es la engorda, si bien la paja puede ser incluida como parte de la ración en un nivel superior al de las vacas de crianza, ésta deberá ser bien balanceada con otros alimentos para complementar o superar el déficit de proteína, energía y minerales, en especial fósforo, que la paja no contiene en cantidad suficiente. Se debe tener presente que si bien los estudios demuestran una buena ganancia de peso, alrededor de 1,0 kg/animal/día, y una adecuada eficiencia de conversión de alimento (aproximadamente 7,0 kg/kg), la cobertura de grasa en la canal no es suficiente, a menos que el período de engorda se alargue o se incremente el tenor energético de la ración.

El uso de la paja, en especial de cebada y/o avena, en la ración de novillos o vacas, permitirá dar uso a un alimento que por su contenido de fibra no es utilizado por otras especies animales. Su inclusión no sólo permite alcanzar una buena respuesta animal, sino que además contribuye a utilizar una material vegetal del cual existe una gran disponibilidad. Además su utilización como alimento para rumiantes ayuda a bajar los costos de producción, y evitar su quema, contribuyendo de esta forma a disminuir los efectos dañinos sobre el medio ambiente.

9.4. Literatura citada

- AFRC. 1995.** Energy and protein requirements of ruminants. AFRC Technical Committee on Response to Nutrients. CAB International, Wallingford, Oxon, UK.159 p.
- Catrileo, A., y C. Rojas. 1994.** Pajas de cereales y leguminosas en bovinos de carne. Investigación y Progreso Agropecuario IPA Carillanca (Chile) 13(1):6-8.
- Hirsch-Reinshagen, P. 1992.** Tablas de composición de alimentos para ganado de las zonas centro y centro sur de Chile. P. Universidad Católica de Chile. Fundación Fondo de Investigación Agropecuaria, FIA, Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile. 53 p.
- Manterola, H., D. Cerda, y J. Mira 1999.** Los residuos agrícolas y su uso en la alimentación de rumiantes. Fundación para la Innovación Agraria. Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile. 222 p.
- ODEPA. 2014.** Cultivos anuales. Superficie, producción y rendimientos. Región del Biobío. (www.odepa.cl. Estadísticas productivas, leído el 20 de agosto de 2014).
- Rojas C., y A. Catrileo. 1998.** Suplementación de vacas de crianza con pajas de cereales. Informe Técnico Área Producción Animal. INIA Carillanca, Temuco, Chile. Consulta sólo con autorización del autor.
- Rojas, C., A. Catrileo, y W. Hormazábal. 2011a.** Evaluación productiva y económica de urea, grano de lupino, expeller de maní y afrecho de soya en raciones de engorda de vaquillas. Agro Sur 39(1):57-67.
- Rojas, C., A. Catrileo, y T. Grez. 2011.** Evaluación productiva y económica del uso de grano entero de avena (*Avena sativa* L.) y lupino australiano (*Lupinus angustifolius* L.) en raciones de engorda invernal de vaquillas. Agro-Ciencia, Rev. Chil. Cs. Agropec. 27(1):41-48.
- Rojas, C., A. Catrileo, y M. Fernández. 2012.** Evaluación productiva y económica del uso de paja de avena (*Avena sativa* L.) y ensilaje de pradera en la engorda invernal de novillos a corral. Agro-Ciencia, Rev. Chil. Cs. Agropec. 29(2):201-207.

RESIDUOS DE LA COSECHA FORESTAL: APROVECHAMIENTO

Eduardo Peña F.

Ingeniero Forestal, Dr.

Eduardo Acuña C.

Ingeniero Forestal, Dr.

Facultad de Ciencias Forestales
Universidad de Concepción

10

La actividad productiva forestal genera una importante cantidad de residuos, provenientes de aserraderos, de plantas de transformación física de la madera y de plantas de celulosa. Se incluyen también residuos generados al momento del aprovechamiento de los árboles o cosecha forestal y de las intervenciones silvícolas tal como podas y raleos.

Los residuos del aprovechamiento provienen, principalmente, de ramas y fustes descartados por defectos o por estar quebrados, que no tienen uso como materia prima para la industria del aserrío. Tradicionalmente, antes de los años 90, la práctica más común era quemar el desecho o dejar el material en terreno acumulado en hileras y así facilitar las labores de plantación. En la aplicación de las quemas controladas no se consideraba el alto potencial de riesgo de erosión hídrica o eólica de los suelos, ni la contaminación atmosférica o el impacto sobre el ecosistema en general.

Algunas de las razones para quemar los residuos era la alta cantidad de material que quedaba en terreno, que éste se descomponía muy lentamente, que no se integraba oportunamente al suelo y que no existía un mercado o demanda para este tipo de producto. Por otro lado, no eran considerados como combustible para los hogares, especialmente *Pinus radiata* que es de mala calidad comparado a las especies nativas. Sin embargo *Eucalyptus* es una mejor alternativa como combustible, y puede ser similar a algunas especies nativas que se usan como leña en Chile.

Otra razón importante para usar las quemas es que en ecosistemas fríos y lluviosos, como Valdivia al sur, donde la descomposición de los residuos es lenta, el fuego puede acelerar el proceso de degradación de la hojarasca, al incrementar la temperatura del suelo después de la quema, dejando los nutrientes disponibles para las plantas y reduciendo incluso la acidez del suelo. En zonas donde la vegetación es muy cerrada y homogénea, fuegos pequeños de baja intensidad y extensión, pueden aumentar la diversidad al abrir nuevos sitios que son atractivos para especies diferentes a las que dominaban previo al fuego.

A pesar de existir una serie de razones que justificaban quemar los residuos del aprovechamiento forestal, el uso de éstas era muy discutido y rechazado por la mayoría de los profesionales del área agrícola y forestal. Principalmente se asumía que esta técnica de manejo genera altas temperaturas que dañan negativamente el suelo, que reducen la materia orgánica, facilitando los procesos erosivos o volatilizándolo los nutrientes y generando efectos negativos sobre la biodiversidad. A pesar de la visión de que el fuego causaba mucho daño, la realidad mostraba que los efectos negativos eran observables en los primeros años e incluso no se logró demostrar que en algún sitio la producción de las plantaciones decreciera en forma significativa, al menos en el mediano plazo, 12 o más años. Según la literatura científica, el daño al suelo se puede recuperar tan rápido como 3 años en las zonas templadas del sur de Chile, y más tiempo en las regiones más secas. Esto se confirma en la rápida recuperación de las plantas herbáceas y arbustivas observado en el incendio de Quillón y en Torres del Paine (Foto 10.1.).



Foto 10.1. Recuperación de la cubierta herbácea y arbustiva en el Parque Nacional Torres del Paine (izquierda) y Quillón (derecha), 10 meses después de ocurrido los incendios forestales que los afectaron. Ambos incendios ocurrieron en el periodo diciembre-enero de 2011-2012. Las fotos corresponden a octubre de 2012. Fotografía Eduardo Peña.

Con el paso de los años, la preocupación por el destino de los residuos del aprovechamiento forestal adquirió mayor importancia, por la creciente amenaza de los incendios o porque algunas quemas de residuos originaban incendios forestales. Pero también tomó fuerza la visión de especialistas en suelo y de los grupos ambientalistas que consideran las quemas forestales y agrícolas como una importante amenaza para la biodiversidad, generando contaminación atmosférica, pérdida de refugio y sustrato alimenticio, y pérdida de la calidad del sitio. Por estos motivos, en Chile, desde los años 90 en adelante se promovió la idea de sustituir las quemas por otras alternativas de uso de los residuos. A pesar de ello, aún no existe una reducción significativa de la superficie quemada anualmente. Ambas actividades, agrícola y forestal, bajaron levemente la superficie quemada en aproximadamente 50.000 ha y la mayor proporción de ello ocurrió en el sector forestal.

La propuesta de sustituir el uso del fuego generó un mejoramiento de las técnicas de aplicación de las quemas, reduciendo significativamente su contribución como causa de incendios forestales; en efecto, de un 10% de incendios antes de los años 90 bajo a un 3% en los últimos años. También se modificó el periodo de quema, introduciéndolas hacia el final del otoño e inicios del invierno, época en la que el suelo y los residuos tienen un mayor contenido de humedad, obteniendo así una menor intensidad del fuego y por lo mismo un menor impacto. Las quemas forestales son cada vez menos intensas, porque quedan menos residuos en el sitio, o porque se extrae como combustible para las plantas generadoras de energía. En el caso de las quemas agrícolas, éstas son de baja intensidad porque la carga de combustible en muy pocos casos superan las 7 ton/ha, comparado a las quemas forestales que al menos duplican el residuo agrícola.

Por último, la certificación forestal está limitando la aplicación de las quemas en las empresas y propietarios que reciban su sello, y la estrechez energética que sufre el país, generan un nuevo escenario para los residuos del aprovechamiento forestal. Incluso se considera que todos los residuos que están en un radio menor de 80 km de los centros de consumo podrían estar totalmente comprometidos en la producción de energía. Sugiriendo la idea que si una empresa de generación eléctrica quiere instalarse, deberá establecer plantaciones propias para obtener la materia prima.

Considerando lo anterior, este documento tiene como objetivo presentar el desarrollo inicial de las plantaciones en Chile, describir las características de este recurso, discutir las ventajas y desventajas de los residuos forestales, y proponer alternativas de aprovechamiento.

10.1. Desarrollo y características de las plantaciones forestales

La producción y establecimiento artificial de plantas se inicia en el país junto con los albores de la independencia nacional. En 1810 se introduce desde Mendoza, Argentina, el género *Populus*; en 1823 *Eucalyptus globulus*; *Pinus radiata* desde California en 1885; alrededor de 1890 *Pseudotsuga menziesii*, y otras especies que se encuentran principalmente en parques y jardines. En sus inicios tuvieron como propósito proteger el suelo contra la erosión en el territorio que iba desde la Región de O'Higgins hasta la Región del Biobío, con énfasis en la Cordillera de la Costa que estaba severamente erosionada (Foto 10.2.).

En 1974 se promulga la Ley de Fomento Forestal (DL 701), que subsidia las actividades de forestación, administración y manejo, pero sólo en sitios que en los últimos 50 años no estaban cubiertos por bosque y que además fuera terreno de aptitud forestal, dando una fuerte promoción al desarrollo del sector. Se generó así un recurso de gran extensión en la zona centro sur del país, recurso que tiene la capacidad de producir biomasa o materia prima para la industria de la celulosa y la producción de madera aserrada.



Foto 10.2. Erosión de origen hídrico en suelos de la Cordillera de la Costa y Secano Interior de la Región del Biobío, sector de Rafael (izquierda) y Tomeco (derecha). Fotografía Eduardo Peña.

La actividad forestal productiva se transformó en un cultivo intensivo que tiene como uno de sus objetivos maximizar la producción de madera por unidad de superficie. Para ello se trabaja con una sola especie y con una alta densidad de individuos por hectárea de terreno (1.000 a 1.500 árboles). La alta densidad tiene como propósito lograr que la capacidad de producción del sitio se concentre solo en la especie objetivo, generando así una fuerte competencia por uso de luz, agua y nutrientes entre los individuos que componen una plantación y la vegetación natural que pueda crecer bajo la plantación. La alta competencia por luz y agua en las plantaciones no permite que nada crezca en el sotobosque; sin embargo, si se baja la densidad inmediatamente se inicia el establecimiento de hierbas y arbustos bajo ellas (Foto 10.3.).



Foto 10.3. Plantación de alta densidad sin vegetación bajo ella por la alta competencia por luz y agua (izquierda). A la derecha, plantación raleada o de baja densidad con una alta presencia natural de pastos y arbustos bajo los árboles. El raleo libera luz y agua que permite la germinación del pasto y rebrote de arbustos.

En la actualidad, las plantaciones de pino radiata se establecen con material genéticamente mejorado, se prepara el suelo, se controla la vegetación indeseada y se fertiliza. Se poda hasta 5-6 m de altura en etapas sucesivas. Se ralea tempranamente para producir madera libre de defectos. Se realiza un raleo comercial entre los 12-14 años, dependiendo de la calidad del sitio, y se cosecha entre los 22-26 años.

Las plantaciones con eucalipto se manejan intensivamente en rotaciones de 10-14 años, alcanzando a la cosecha volúmenes de 200 a 250 m³ según la calidad de sitio. Se establecen usualmente en suelos de mejor calidad que con pino radiata, ocupando *Eucalyptus nitens* en zonas de mayor altitud que *E. globulus*,

por su mayor resistencia a bajas temperaturas. Ambos géneros, al momento de su aprovechamiento, generan una gran cantidad de residuos (biomasa), compuesto principalmente por ramas, restos de fustes delgados o de árboles de mala forma, además de vegetación natural que crece bajo las plantaciones que son raleadas. En el caso particular de *Eucalyptus* se agregan residuos de corteza, debido a exigencias de los centros de consumo que demanda trozas libres de corteza.

Estos residuos en el pasado eran vistos como un impedimento para la reforestación del área cosechada o una amenaza de incendio forestal, y por esta razón se quemaba o eran acumulados en grandes hileras. La quema repetitiva de los residuos y/o de alta intensidad induce efectos negativos sobre el suelo, porque va reduciendo la materia orgánica y puede generar erosión, perdiéndose así la capacidad de producción del suelo y la capacidad de infiltrar agua y abastecer las napas freáticas. Producto de lo anterior, en los años 90 se generó todo un esquema de manejo destinado a eliminar o reducir el uso del fuego o aplicar otros esquemas de manejo para los residuos de cosecha. Pero en la actualidad, por la fuerte amenaza de ocurrencia de incendios forestales, que ha sido más significativa desde el año 2.000 en adelante, surge la necesidad de manejar los combustibles forestales para reducir el peligro de los incendios, pero con la restricción de no afectar el potencial productivo del suelo.

Para reducir el peligro de incendios surgen varias alternativas de manejo, tal como la tradicional quema prescrita o retirar y acumular el combustible en puntos específicos, picar (chipear) e incorporar el material al suelo, triturar y compactar los residuos, y en el último tiempo nace la opción de utilizarlo como biomasa para generar energía. Desde el punto de vista de mantener la capacidad de producción del suelo, dejar los residuos de la cosecha forestal en el sitio es la mejor opción, y el uso de las quemas o el uso como biomasa para la producción de energía serían las opciones de mayor impacto negativo en la productividad, siendo menor en la producción de energía, porque esta deja en el sitio al menos el 30% de los residuos más finos. Como la amenaza de incendios se ha prácticamente triplicado, tal como ocurrió en la temporada de incendios 2014-2015, la opción de utilizar los residuos forestales en la producción de energía se ha transformado en una opción de manejo bastante aceptada por los propietarios forestales.

Por último, se debe destacar también que existen condiciones diferentes en la producción de residuos a lo largo de Chile. En efecto, desde la Región del Maule hacia el norte, principalmente por ser más seco, los árboles tienden a tener ramas delgadas y de menor volumen, generando así menos residuos al momento de su aprovechamiento. Lo contrario ocurre desde la Región del Biobío al sur, donde los residuos son más abundantes, circunstancia que para algunos silvicultores puede ser la quema o su utilización como biomasa la única alternativa para manejar los residuos. En la zona sur a los residuos de cosecha, se debe sumar el rebrote de especies nativas que suele ser abundante.

10.2. Residuos de la cosecha forestal: ventajas y desventajas

La vegetación que existe en una zona sin intervenciones, agrícola-forestal o ganadera, cada año va aportando al suelo más nutrientes de los que extrae, formándose así un suelo de buena calidad desde el punto de vista de su contenido de nutrientes, profundidad de suelo, capacidad de infiltración y retención de agua, de la vida de los macro y microorganismos del suelo y de la calidad de vegetación que se establece en cada sitio.

Las actividades productivas de carácter intensivo, o solo el hecho de cortar los bosques y matorrales, generan el efecto opuesto porque la materia orgánica se va descomponiendo al recibir la radiación directa del sol, liberando el carbono que contiene. De esta forma, lentamente se va degradando este recurso, siendo cada vez menor la calidad del suelo, perdiendo la capacidad de absorber y retener agua, fenómeno que junto al problema de erosión afectó y afecta a grandes extensiones de suelo a lo largo de Chile. Por lo tanto, la principal responsabilidad de los productores del área silvoagropecuaria es realizar una producción sustentable, sin afectar la calidad del recurso suelo. Así, los residuos generados en actividades productivas son de vital importancia para la sustentabilidad del suelo, y por lo mismo se deben integrar o dejar en las zonas de producción.

Desde inicios del siglo 19 y hasta 1970, aproximadamente, la actividad agrícola, forestal y ganadera en zonas con relieve accidentado (cerros y quebradas), generó mucha erosión y empobrecimiento de los suelos. Éstos posteriormente fueron abandonados por su baja productividad, requiriéndose su recuperación o

al menos protegerlos contra la erosión. Desafortunadamente, cuando los suelos están degradados, las especies nativas no se establecen bien o les toma mucho tiempo para crecer y dar una buena protección al suelo, pero especies como Pino radiata y los Eucaliptos son muy resistentes al estrés ambiental (suelos secos, pobres y de poca profundidad) y por ello se utilizaron en la recuperación de suelos. Esta acción inicial de protección del suelo después generó un negocio forestal que llevó a esta actividad a ser el segundo pilar de la economía nacional.

La gran amenaza para los suelos forestales es la erosión que puede ocurrir posterior a la labor de cosecha y quema de los residuos, porque se pierde la protección de los residuos contra la acción directa de la gota de lluvia que disgrega y arrastra las partículas del suelo. Otra acción fundamental de protección que brindan los residuos de la cosecha forestal es una mejor regulación del ciclo hidrológico, mejor infiltración y menos evaporación.

Desde la Región del Biobío al norte, que se caracteriza por prolongados periodos secos (3 a 7 meses), una mejor conservación del agua es fundamental para el ecosistema en general y para la producción forestal en particular. A lo anterior, se suma otra acción positiva de los residuos de la cosecha forestal que es evitar que el suelo alcance temperaturas extremas en verano.

También, es necesario mencionar algunas desventajas de dejar los residuos de cosecha, siendo algunas de ellas las que justificaron su eliminación en el pasado. Una de las desventajas principales es que la presencia de los residuos de cosecha forestal sin tratamientos en terreno, representa una importante cantidad de combustible que aumenta el peligro e intensidad de los incendios forestales. Esa amenaza puede estar presente en el sitio hasta 5 o 7 años, debido a que los residuos forestales son biomasa de lenta degradación. Una segunda desventaja es que pueden ser un sustrato de sustento de plagas o enfermedades que amenacen el nuevo cultivo.

Por último, se considera que los residuos de la cosecha forestal pueden dificultar los trabajos de plantación y otras intervenciones silvícolas. Incluso, algunos combatientes forestales señalan que cuando combaten incendios en plantaciones jóvenes, donde los residuos de cosecha forestal se han dejado acumulados en hileras, la resistencia al control del fuego aumenta, incrementándose el riesgo

para los combatientes, porque el fuego es más intenso y genera con facilidad focos satélites derivando en un mayor riesgo de entrapamiento de los combatientes. Esta condición se puede mitigar cuando los residuos de la cosecha forestal se dejan dispersos en terreno, o se compactan o trituran. También indican que el daño al suelo será mayor porque en la hilera o ruma de residuos el fuego permanecerá más tiempo ardiendo, afectando las propiedades químicas y físicas del suelo (Foto 10.4.).



Foto 10.4. Residuos de la cosecha forestal de *Pinus radiata* y efectos de una quema de estos residuos. El cambio de color del suelo indica una temperatura superior a 400°C, laterizando el suelo, dañando sus organismos, y facilitando el proceso erosivo. Fotografía, Eduardo Peña.

Actualmente, en las zonas de mayor riesgo de incendios forestales, para evitar que los focos lleguen al bosque o plantación, las empresas y propietarios forestales reducen el combustible, por extracción o modificación de este material, utilizando, ocasionalmente, quemadas. En este último caso, su utilización debe estar muy bien fundamentada debido a que los sistemas de certificación forestal limitan su práctica, salvo por razones muy bien justificadas, tal como es la necesidad de reducir el riesgo y peligro de incendios forestales en las áreas de interfaz urbano-rural.

10.3. Utilización de los residuos de la cosecha forestal

A la fecha, la mayoría de los residuos de cosecha quedan distribuidos o acumulados en el sitio de la plantación cosechada; una porción de ellos son quemados y algunas empresas forestales, como una forma de modificar el comportamiento

del fuego, en el caso que ocurriese un evento, aplican un proceso de trituración y compactación en las áreas de mayor riesgo de incendios forestales.

En los últimos años, una porción importante se está utilizando en la generación de energía eléctrica, lo cual se considera puede generar ingresos adicionales para los productores forestales y reducir significativamente la amenaza de incendios forestales. Algunas estimaciones consideran que los residuos forestales en Chile, utilizándose entre un 60 a 75% de ellos, tienen la capacidad potencial de generar entre 310 a 470 MW de energía (Bertrán y Morales 2008).

Guzmán (1984), en un estudio de disponibilidad de residuos como fuente de energía en base a astillas de madera por región geográfica y tipo de bosque, encontró que en plantaciones de *Pinus radiata* pueden obtenerse entre 23-41 ton/ha de residuos. Cuando se colectan para la producción de energía, se considera que entre un 20 a 25% de los desechos más finos permanecen en el sitio, manteniendo la protección del suelo contra la lluvia y, lo más importante, manteniendo la sustentabilidad del sitio porque contiene principalmente hojas y acículas que son ricas en nutrientes. Este efecto benéfico es aún más importante en la medida que el cultivo forestal reduce sus años de rotación (corta de la plantación). Se puede estimar que el manejo de residuos en la actividad forestal, a pesar del uso masivo del fuego en el pasado, no llevó a un daño al capital de nutrientes, porque aún no requiere realizar grandes aplicaciones de fertilizantes, sino que se aplican en los primeros años de la plantación sólo para facilitar el establecimiento de las plantas. Así, éstas puedan superar rápidamente la competencia de las malezas altas que compiten por luz y agua con el cultivo forestal.

El residuo de la cosecha forestal se puede colectar y enfardar en terreno, lo que hace más fácil su traslado a las plantas de producción de energía. Los fardos compactos miden alrededor de 2,5 a 3 m de largo y 60 a 90 cm de diámetro. Cada fardo libera 1 MWh de energía cuando se consume en una caldera. Otra forma es la colecta y picado en terreno para, posteriormente, trasladar el material para su consumo (Foto 10.5.). Incluso, para facilitar el aprovechamiento del recurso, en algunos casos se han cambiado los sistemas de cosecha, optando por el sistema de madereo del árbol completo, quedando los residuos en la cancha de madereo, facilitando su tratamiento y, posiblemente, una baja en los costos.



Foto 10.5 A) Acopio de residuos de cosecha por excavadora. B) Aprovechamiento de residuos de *Eucalyptus* con enfardadora. C) Astillado de residuos con triturador Peterson 4710 B. D) Astillado de residuos con triturador CBI Magnun Force 8400.

10.4. Otros usos y manejo para los residuos forestales

10.4.1. Sustentabilidad del cultivo forestal

La sustentabilidad depende de la intensidad de manejo de los cultivos forestales, del largo (años) de la rotación, y del manejo de los residuos de la cosecha forestal. Ante rotaciones cortas, como es el actual manejo de las plantaciones de *Eucalyptus* y Pino radiata, el manejo de los residuos de la cosecha forestal se transforma en una decisión fundamental para la sustentabilidad de las plantaciones.

10.4.2. Mantener los residuos

Considerando los beneficios positivos de los residuos de la cosecha forestal, lo más recomendable y como primera opción de manejo para asegurar la calidad del suelo, es mantener los residuos en las zonas donde el bosque o plantación

fueron cosechados. Se debe tratar de acelerar su descomposición, y que en las zonas secas no se transforme en combustible que aumente el peligro y daño de los incendios forestales. En estos casos se requeriría la incorporación o picado de los residuos de la cosecha forestal para acelerar su descomposición, o al menos evitar que el fuego se propague rápido y sea más fácil su control.

10.4.3. Utilización como biomasa para producir energía

Aquellos productores forestales que estén cerca de centros de producción de energía tienen la alternativa de vender los residuos de la cosecha forestal generando ingresos. Sin embargo, se recomienda llevar un buen monitoreo de los efectos negativos que pueden ocurrir por pérdida de los nutrientes contenidos en la biomasa utilizada para producción de energía. Esto podría disminuir la productividad del sitio y generar demanda por un mayor uso de fertilizantes, con todos los efectos negativos que se pueden generar cuando éstos son mal aplicados.

10.4.4. Reducción o modificación de los residuos de la cosecha forestal

En aquellos sitios donde el riesgo de incendios forestales es muy alto, los residuos son un combustible que incrementa el problema de ocurrencia de incendios. Por lo tanto, para reducir ese peligro y no afectar la calidad de los suelos, en especial la protección contra la erosión y la retención de la humedad, la biomasa debiera picarse, triturarse o incorporarse al suelo. En el caso que ocurra un incendio, al estar los residuos triturados o compactados, el fuego tendrá baja altura y reducida velocidad de propagación, siendo más fácil el control de los incendios forestales.

10.4.5. Utilización como “mulch” o residuos protectores

En zonas mediterráneas o secas, los residuos que genera la actividad forestal pueden utilizarse como un medio para proteger el suelo de la radiación directa y altas temperaturas, y para proteger contra el exceso de evaporación, aportando materia orgánica. Incluso se puede utilizar como una cubierta protectora en suelos susceptibles de erosionarse que sean afectados por incendios forestales.

10.5. Literatura consultada

Bertrán S., José; Morales V. Eduardo. 2008. Potencial de biomasa forestal. 56 p. Comisión Nacional de Energía (CNE), Santiago, Chile.

Guzmán A. 1984. Study of wood chip production from forest residues in Chile. Biomass 5(3):167-179.

TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA DE PRÁCTICAS ALTERNATIVAS AL USO DEL FUEGO

11

Carlos Ruiz S.
Mario Saavedra T.
Vilma Carrasco C.
Wladimir Inostroza F.

Ingenieros Agrónomos
INIA Quilamapu

El programa “Transferencia de Prácticas Alternativas al Uso del Fuego” inició sus actividades realizando una recopilación de la información generada, tanto en Chile como en el extranjero. En el país, la Universidad de Concepción, la Universidad de Chile y el INIA, han generado información para contribuir a la práctica de manejo de rastrojos sin uso del fuego, la que permitió formular el programa e iniciarlo. Esto se vio además favorecido porque ya algunos agricultores estaban utilizando y llevando adelante manejo de rastrojos sin quema, como producto de iniciativas personales, con información que habían adquirido en el extranjero en muchos casos, o adopción de estas tecnologías provenientes de las universidades y del INIA. Así, en 2013 algunos agricultores desde la Región de Los Lagos hasta Chile Central estaban llevando adelante el manejo de rastrojos sin quema, muchos de ellos apoyados por incentivos otorgados por el servicio Agrícola y Ganadero, SAG, y por el Instituto de Desarrollo Agropecuario, Indap.

En la Región del Biobío existían experiencias de agricultores que no quemaban sus rastrojos para establecer un cultivo en la temporada siguiente. Todos estos agricultores, producto del conocimiento adquirido de su zona, usaban sistemas de manejo de rastrojos un tanto diferente, desde el sistema de cosechar e hilar la paja para luego sembrar en cero labranza, o de cosechar, hilar, enfardar y retirar toda la producción de paja superior a 2.500 a 3.000 kg/ha, dado que los antecedentes indicaban que ésta era la cantidad máxima de paja que se podía

descomponer sobre el suelo en un año, y que el excedente había que retirarlo del potrero para no tener residuos agrícolas infectados con organismos causantes de enfermedades de los cultivos.

Si bien es cierto que la mayoría de los antecedentes bibliográficos nacionales hacían referencia al manejo de rastrojos sobre el suelo, se vio que la experiencia europea, que decía relación con picar y esparcir el rastrojo y capotillo al momento de la cosecha y luego mezclarlo con el suelo, era una práctica conveniente que facilita, acrecienta y acelera la descomposición de los rastrojos.

Adicionalmente al manejo del rastrojo, se vio que en Chile hay muchos agricultores que utilizan los rastrojos para suministrar alimentación de mantención a sus animales durante el periodo estival, por lo que se decidió incorporar la recomendación de disponer para los animales agua y sales minerales a libre disposición. Asimismo, se propuso utilizar la paja de cereal como cama animal y luego usarlas para la producción de compost. Otro uso que se propuso para estos residuos, dados los altos volúmenes disponibles y su alto contenido energético, fue la producción de pellets como fuente de energía.

En este contexto, se realizó un vasto plan de transferencia tecnológica con apoyo directo a 180 agricultores de la región, a los cuales el programa les financió el manejo de dos hectáreas de rastrojos, y les otorgó asistencia técnica directa a través de 4 visitas individuales sobre temas relacionados con el manejo de los rastrojos. Asimismo, en un esfuerzo adicional, a 20 productores forestales se les dio asistencia técnica sobre la importancia del manejo de residuos forestales sin quema.

La transferencia tecnológica fue complementada con actividades masivas de difusión de tecnologías, en días de campo realizados principalmente en tres módulos demostrativos establecidos en tres áreas agroecológicas de la Región: San Ignacio, en la precordillera de la provincia de Ñuble; Yumbel en el Secano Interior de la provincia de Biobío; y Cañete en la provincia de Arauco. A continuación se entrega un resumen de las principales actividades de transferencia tecnológica que se realizaron y los principales resultados alcanzados.

11.1. Sistemas productivos

El programa consideró la atención directa a 200 productores, 180 de ellos agricultores y 20 productores del sector forestal. Al momento que postularon al programa se les aplicó una encuesta que permitió identificar, en el caso de los agricultores, la participación de los principales cereales en el sistema productivo (Cuadro 11.1.), información de base utilizada para la realización del manejo de dos hectáreas de rastrojo, y asistencia técnica personalizada.

Cuadro 11.1. Agricultores atendidos, superficie predial y superficie con cereales. Programa de Transferencia de Prácticas Alternativas al Uso del Fuego.

Temporada	Agricultores, N°	Total, ha	Trigo, ha	Avena, ha	Cebada, ha
2012/13	49	3.384,8	1.022,5	687,0	146,0
2013/14	104	4.906,3	1.749,4	734,0	136,5
2014/15	27	751,0	272,0	204,8	0,0
Total	180	9.042,1	3.043,9	1.625,8	282,5

En la Figura 11.1. se presenta la participación relativa del trigo, avena y cebada sobre la superficie predial total. Este indicador muestra la presión que estos cultivos tienen sobre el uso del suelo. Así, para los 49 agricultores atendidos en la temporada 2012/2013, la superficie de trigo representaba el 30% de uso del suelo, la superficie de avena el 20% y la superficie con cebada sólo un 4%. En general, en las tres temporadas de trabajo, el trigo representó el 34% del uso del suelo, la avena un 18% y la cebada un 3%, que en conjunto representan el 55% del uso del suelo, y muestra la importancia del cultivo de cereales para los agricultores atendidos por el Programa en las cuatro provincias de la Región del Biobío.

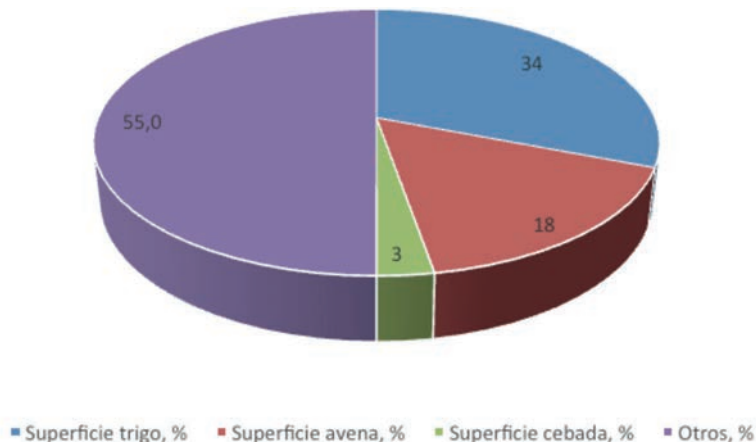


Figura 11.1. Participación relativa del cultivo del trigo, avena y cebada en la ocupación de la superficie predial. Agricultores directos atendidos en Programa de Transferencia de Prácticas Alternativas al Uso del Fuego. Región del Biobío.

En el Cuadro 11.2 se informa la principal rotación de cultivos anuales, trigo-avena, practicada por los productores usuarios directos al momento de incorporarse al Programa. Esta información constituyó una línea de base importante para implementar un sistema de manejo de los rastrojos, toda vez, que de acuerdo a lo recomendado en el Capítulo 3 del presente boletín, se debe incluir al menos un cultivo adicional en la rotación con el propósito de establecer un mecanismo natural de quiebre de enfermedades.

Cuadro 11.2. Rotación principal (trigo–avena) realizada por agricultores (%) durante la temporada de ingreso al programa y tres temporadas anteriores. Agricultores directos atendidos por Programa de Transferencia de Prácticas Alternativas al Uso del Fuego.

Temporada	Agricultores	Rotación trigo – avena. Temporada/ agricultores, %			
		Ingreso	Última	Penúltima	Antepenúltima
2012/13	49	93,8	83,3	77,1	77,1
2013/14	104	100,0	65,4	66,3	75,0
2014/15	27	100,0	96,3	66,7	100,0

Los 20 productores forestales atendidos pertenecían a las comunas de Arauco, Florida, y Tomé, cuyos antecedentes prediales y productivos se presentan en el Cuadro 11.3.

Cuadro 11.3. Productores forestales atendidos, superficie predial total y superficie de pino, eucalipto y bosque nativo. Programa de Transferencia de Prácticas Alternativas al Uso del Fuego. Temporada 2013/14.

Agricultores, N°	Superficie total, ha	Pino, ha	Eucalipto, ha	Bosque nativo, ha
20	1356,2	516,5	324,3	188,3
Total, %	100,0	38,1	23,9	13,9

11.2. Visitas técnicas a usuarios directos

La transferencia de tecnología a los usuarios directos se realizó mediante cuatro visitas técnicas a cada productor, efectuadas por ingenieros agrónomos de INIA Quilamapu. Los temas tratados en las visitas fueron: (i) magnitud, beneficios y efectos negativos de las quemas agrícolas; (ii) manejo de rastrojos, métodos y costos; (iii) rotaciones de cultivos sobre rastrojo de cereales; y (iv) usos alternativos de la paja de cereales en alimentación animal, compost, energía y otros. Un resumen de los aspectos metodológicos y técnicos centrales de éstas visitas se describen a continuación.

Visita 1. Magnitud, beneficios y efectos negativos de las quemas agrícolas. El objetivo fue entregar una visión de los alcances del Programa a través del diálogo con el productor sobre el problema de la quema de rastrojos, haciendo notar que la quema es un sistema que ha aportado algunos beneficios a la agricultura, pero que también genera efectos negativos. Se motivó al productor para que vea por sí mismo la necesidad de, al menos, cuestionar la forma en que se están manejando los residuos. Esta motivación también se entregó a productores forestales.

El tema central se presentó a través de un video de 3 minutos editado por INIA, sobre el manejo de residuos agrícolas y forestales mediante quema en la Región del Biobío. El video muestra la eliminación de rastrojos mediante quemas para establecer cultivos y cortar ciclo de enfermedades, y también muestra los efectos negativos de éstas, como la combustión incompleta de rastrojos, que produce compuestos tóxicos contaminantes negativos para la salud, y además énfasis en que la eliminación del rastrojo facilita la pérdida de suelos por erosión y del carbono orgánico y, con ello, pérdida del potencial productivo de los suelos.

Finalmente, en esta visita se entregaron sugerencias al productor para dar un uso alternativo a los residuos, tales como manejo de rastrojos sin quema para establecer cultivos, uso en alimentación animal, cama animal, producción de compost, mulch en frutales, alternativas industriales como uso de paja para la producción de champiñones, uso en bioenergía de los residuos forestales, todo en función del nivel y capacidad del productor visitado.

Visita 2. Manejo de rastrojos, métodos y costos. El objetivo de esta visita fue dialogar con el productor sobre métodos de manejo de rastrojo sin quema en base a antecedentes provenientes de la literatura y de los agricultores de la región. Se avanzó en este tema y se recomendaron tres sistemas básicos para manejar los rastrojos, en el marco de una rotación de cultivos adecuada: (i) después de la cosecha enfardar el cordón del rastrojo, dejar como máximo 2,5 a 3,0 t/ha, posteriormente triturar rastrojo remanente y luego sembrar usando cero labranza; (ii) después de la cosecha enfardar el cordón del rastrojo, dejar como máximo 2,5 a 3,0 t/ha, luego pasar un mezclador tipo Rubín y sembrar; (iii) en la cosecha picar y desparramar la paja y el capotillo, luego mezclar mecánicamente el rastrojo con los primeros centímetros de suelo.

Antes de iniciar en forma extensiva cualquiera de los sistemas antes mencionados, los agricultores deben empezar el trabajo de manejo de rastrojos en superficies menores, y ajustar la mejor práctica a sus condiciones agroecológicas y económicas. En el caso de los productores forestales, se dialogó sobre los métodos utilizados como la construcción de fajas, el acopio en canchas, la venta para biomasa, el acceso y costo a las nuevas tecnologías.

En la visita se detallaron los sistemas antes descritos que mejor se adaptan a la situación del productor, y se hizo una estimación de los costos operativos involucrados. Se remarcó que la alternativa propuesta en el manejo de los rastrojos es necesario implementarlas en el marco de una rotación amplia de los cultivos; por ejemplo, qué trigo se debe sembrar cada tres a cuatro años en un mismo potrero. En el caso de productores forestales, se compararon los costos de contratar maquinaria versus contratar mano de obra.

Finalmente, durante la visita se sugirió al productor implementar la práctica de no quema en forma gradual en sus predios, de modo que primero la conozcan, la manejen y la perfeccionen, toda vez que los conocimientos en el área de control de enfermedades de los cultivos y de malezas hasta el momento son limitados, y sólo se está trabajando con principios generales que deben ajustarse a las situaciones particulares de cada zona.

Visita 3. Rotaciones de cultivos sobre rastrojo de cereales. El objetivo de esta visita fue dialogar con los productores sobre el sistema de rotación de cultivos y sus beneficios, tales como: i) Control de plagas y enfermedades. Una correcta rotación reduce la incidencia de éstas al incluir un cultivo que no es susceptible a determinadas enfermedades; ii) Control de malezas. Existe una disminución de la incidencia de especies de malezas al utilizar rotación de cultivos y se facilita su control químico; iii) Uso de nutrientes residuales. Existe un mejor y mayor aprovechamiento de los nutrientes en un sistema de rotación, como es el caso de las leguminosas que fijan nitrógeno atmosférico que puede quedar disponible para el cultivo que le sigue en la rotación.

En el caso de los productores forestales, se dialogó sobre los problemas que tienen las actuales plantaciones, que son susceptibles a algunas plagas y enfermedades, y las complicaciones asociadas a una baja biodiversidad del sistema. Además se conversó sobre la necesidad de conservar o aumentar la biodiversidad en los sistemas silvícolas, que permite avanzar para optimizar el uso de los recursos naturales.

Finalmente, se sugirió introducir un sistema de rotaciones en forma gradual y comparar los resultados económicos por sistemas de cultivos.

Visita 4. Usos alternativos de la paja de cereales en alimentación animal, compost, energía y otros. El objetivo de esta visita fue entregar antecedentes al productor sobre los diferentes usos de los residuos agrícolas y/o forestales. Los rastrojos están cada vez siendo más valorados. A nivel intrapredial se pueden manejar de modo que constituyen una fuente de materia orgánica y nutrientes para el suelo. También se pueden utilizar como parte de la dieta de alimentación animal, cama animal y en la elaboración de compost. A nivel extrapredial, en Chile la industria de los hongos ha sido pionera en el uso de las pajas, y son un destino

importante para los rastrojos de trigo de la provincia de Ñuble. Otra alternativa son las termoeléctricas que usan la paja de cereales como biomasa, modalidad que está en expansión. Ejemplo de ello es una empresa en Lautaro, Región de la Araucanía, y una próxima a construirse en la zona de Yungay, Región del Biobío.

En el caso de los productores forestales, los antecedentes indican que el mercado de la biomasa forestal es un mercado en expansión, que el uso de la leña de buena calidad es un mercado importante a tener en cuenta. Finalmente, se sugirió a los productores comenzar a utilizar las pajas y residuos forestales, y que se considere la quema sólo como última alternativa.

11.3. Manejo de rastrojos sin quema

El programa de Transferencia de Prácticas Alternativas al Uso del Fuego consideró el manejo de 2 hectáreas a cada uno de los 180 agricultores beneficiarios directos, con el propósito de promover y capacitar a los productores y a los prestadores de servicios agrícolas en el manejo de los rastrojos. El año 2013 se atendió a 49 productores, el 2014 a 104 y el 2015 a 27 productores en las provincias y comunas de la Región del Biobío (Cuadro 11.4.).



Foto 11.1. Manejo de rastrojos a productores en la comuna de El Carmen, provincia de Ñuble, Región del Biobío, 2014.

Cuadro 11.4. Agricultores directos atendidos con manejo de 2 hectáreas de rastrojos. Programa de Transferencia de Prácticas Alternativas al Uso del Fuego. Temporadas 2012/2013 a 2014/2015.

Provincia	Comuna	Agricultores, N°	Manejo de rastrojo, ha
Arauco	Cañete	8	18,7
	Mulchén	3	7
	Quilleco	7	13
Biobío	Yumbel	8	15,5
	Los Ángeles	8	16
	Tucapel	5	10
	Santa Bárbara	8	16
	Chillán	8	16
	Coihueco	14	28
Ñuble	El Carmen	34	68
	Pemuco	16	32
	Pinto	5	10
	San Ignacio	19	38
	Yungay	10	20
	Bulnes	10	20
	Chillan Viejo	9	18
	San Carlos	4	8
	Ñiquén	4	8
Total		180	362,2

11.4. Módulos demostrativos

Se establecieron módulos demostrativos en diferentes provincias y áreas agroecológicas: San Ignacio, precordillera de la provincia Ñuble; Yumbel, secano interior de la provincia del Biobío; y Cañete, secano costero de la provincia de Arauco.

En cada uno de estos módulos se estableció un sistema de rotación de cultivos y de cultivos con praderas anuales permanentes sobre rastrojos sin quema. Se estableció también un módulo demostrativo de alimentación animal, usando paja como componente de la dieta, con suplementos de preferencia producidos en el mismo predio, y se estableció una unidad demostrativa de elaboración de compost.

11.5. Módulos de cultivos

Los módulos de cultivos se establecieron en suelos trumaos en San Ignacio, suelos graníticos en Yumbel, y en suelos derivados de cenizas volcánicas muy antiguas en Cañete. Las características químicas de estos suelos se describen en el Capítulo 5 de este boletín.

11.5.1. Módulo cultivos San Ignacio

a) Rotación de cultivos anuales. En el módulo demostrativo de esta localidad se sembró, en la temporada 2013/2014, cuatro cultivos después de trigo: avena, triticale, lupino y raps, en dos situaciones de manejo de rastrojos: (i) cosecha, picado con trituradora, enfardado y retiro de los fardos y siembra, y (ii) cosecha, picado con trituradora, enfardado y retiro de los fardos, luego mezcla del rastrojo remanente con el suelo y siembra.

En la temporada 2014/2015 se sacó el triticale e introdujo trigo en la rotación. La variedad, dosis de semilla y época de siembra de los cultivos para las dos temporadas de trabajo se indica en el Cuadro 11.5. El manejo de los cultivos, salvo el de rastrojos, fue el tradicional recomendado por INIA. Se fertilizó de acuerdo al análisis de suelos.

Cuadro 11.5. Variedad, dosis de semilla y época de siembra de cultivos módulo San Ignacio. Programa de Transferencia de Prácticas Alternativas al Uso del Fuego.

Cultivo	Variedad	Dosis semilla, kg/ha	Fecha de siembra	
			2013/2014	2014/2015
Avena	Supernova - INIA	140	8 de agosto	16 de junio
Triticale	Aguacero - INIA	200	8 de agosto	
Lupino	Rumbo Baer	80	15 de julio	6 de mayo
Raps	Nelson	4	6 de mayo	6 de mayo
Trigo	Pantera INIA	200		16 de junio

El manejo de los rastrojos después de la cosecha del trigo con triturado, hilerado y enfardado, no fue todo lo conveniente, provocando problemas en la máquina enfardadora, y no permitió retirar el rastrojo del suelo, quedando en promedio del orden de 6,5 t/ha de rastrojos de trigo. El problema más serio que provocó esta situación fue

que éste no se descompuso totalmente en la temporada 2013/2014, particularmente donde se sembró raps, lo que afectó los rendimientos de trigo en la temporada siguiente, producto de la presencia del hongo del mal del pie (*Gaeumannomyces graminis var. tritici*), que permaneció en los residuos no descompuestos del rastrojo de trigo.

En el Cuadro 11.6. se presentan los rendimientos de cultivos establecidos con manejo de rastrojo remanente sobre el suelo. En el Cuadro 11.7. se entregan los resultados de rendimientos de los mismos cultivos indicados en el cuadro anterior, con la diferencia que los rastrojos se mezclaron previamente con el suelo. Se puede apreciar que, en general, los rendimientos en la segunda situación son menores, salvo en el cultivo del lupino. Esto llevó a diseñar e implementar en la temporada 2014/2015 una parcela de observación de 0,5 ha con cultivo de trigo, después de avena, cosechada con máquina tradicional sin picador y desparramador de paja y capotillo. Se obtuvo una producción de 7 t/ha de rastrojos, al que se agregó 25 unidades de nitrógeno por hectárea al momento de mezclar el rastrojo con el suelo en abril, y se sembró el trigo a mediados de junio de 2014. Los resultados de la producción de trigo se indican en el Cuadro 11.8.

Cuadro 11.6. Rendimientos de cultivos módulo demostrativo San Ignacio con remanente rastrojo sobre el suelo. Programa de Transferencia de Prácticas Alternativas al Uso del Fuego.

Temporada 2013/2014		Temporada 2014/2015	
Rotación	qqm/ha	Rotación	qqm/ha
Avena Supernova INIA - (trigo)	61	Avena Supernova INIA -(lupino)	43
Triticale Aguacero INIA - (trigo)	53	Trigo Pantera INIA - (raps)	45
Lupino Rumbo Baer - (trigo)	20	Lupino Rumbo Baer - (avena)	23
Raps Nelson - (trigo)	46	Raps Nelson - (triticale)	40

Cuadro 11.7. Rendimientos de cultivos módulo demostrativo San Ignacio con remanente rastrojo mezclado con el suelo. Programa de Transferencia de Prácticas Alternativas al Uso del Fuego.

Temporada 2013/2014		Temporada 2014/2015	
Rotación	qqm/ha	Rotación	qqm/ha
Avena Supernova INIA - (trigo)	52	Avena Supernova INIA - (lupino)	56
Triticale Aguacero INIA - (trigo)	48	Trigo Pantera INIA - (raps)	38
Lupino Rumbo Baer - (trigo)	23	Lupino Rumbo Baer- (avena)	34
Raps Nelson - (trigo)	34	Raps Nelson - (triticale)	33

Cuadro 11.8. Rendimientos de trigo Pantera INIA, en San Ignacio, con todo el rastrojo de avena, 7 t/ha, mezclado con el suelo. Programa de Transferencia de Prácticas Alternativas al Uso del Fuego. Temporada 2014 – 2015.

Rendimiento	qqm/ha
Promedio*	50,0
Máximo	66,4
Mínimo	39,3

*Promedio de 10 submuestras.

b) Rotación de cultivos anuales con praderas. Adicionalmente a los trabajos anteriores de rotación de cultivos, se estableció una rotación de cereales con praderas permanentes anuales trigo, para llegar a una propuesta técnica final de implementar un sistema ganado cultivo. Para ello, se establecieron en este sistema tres potreros (parcelas) con la pradera Mediterránea 700, que está conformada por una mezcla de leguminosas anuales de resiembra compuesta por 2 cultivares tardíos de tréboles subterráneos (Antas y Denmark) y por trébol vesiculoso (Cefalu). Se utilizó una dosis de semilla de 25 kg/ha y se sembró el 9 de mayo de 2013, también sobre una condición de rastrojo sobre el suelo y de rastrojo mezclado con el suelo. Los rendimientos del cultivo de trigo Pantera - INIA, establecido después de la pradera Mediterránea 700 de primer año y producción de pradera Mediterránea 700 al segundo año de su establecimiento, se presentan en el Cuadro 11.9.

Cuadro 11.9. Rendimientos de trigo Pantera - INIA, establecido después de pradera Mediterránea 700 de primer año y producción de pradera Mediterránea 700 al segundo año de su establecimiento. Programa de Transferencia de Prácticas Alternativas al Uso del Fuego. San Ignacio, Ñuble, Región Biobío.

Rotación	Temporada 2014/2015
Trigo - (pradera Mediterránea 700, establecida con rastrojo sobre el suelo).	62,7 qqm/ha
Trigo - (pradera Mediterránea 700, establecida con rastrojo mezclado con el suelo).	48,0 qqm/ha
Pradera Mediterránea 700, establecida 2013 con rastrojo sobre el suelo.	8,5 t/ha de M.S.
Pradera Mediterránea 700, establecida 2013 con rastrojo mezclado con el suelo.	9,7 t/ha de M.S.



Foto 11.2. Vista general del módulo de cultivos San Ignacio.

11.5.2. Módulo de cultivos Cañete

a) Rotación de cultivos anuales. Se procedió de forma similar a lo ejecutado en el módulo de San Ignacio respecto de la rotación de cultivos, pero el manejo de los rastrojos fue diferente. Luego de la cosecha del trigo al inicio de los trabajos, se enfardó el cordón de rastrojos, después se preparó un sector para sembrar con rastrojos mezclado con el suelo, labor que se realizó con una rastra de discos. En el otro sector se dejó el remante de rastrojo sobre el suelo, que se picó con un triturador, para luego en ambos casos proceder a sembrar.

En el Cuadro 11.10 se presentan los cultivos, variedad, dosis de semilla y fecha de siembra. La siembra se realizó con una máquina marca Vence Tudo de fabricación brasileña, y en los cuadros 11.12 y 11.13 se indican los rendimientos obtenidos.

Cuadro 11.10. Variedad, dosis de semilla y época de siembra de cultivos módulo Cañete. Programa de Transferencia de Prácticas Alternativas al Uso del Fuego.

Cultivo	Variedad	Dosis semilla, kg/ha	Fecha de siembra	
			2013/2014	2014/2015
Avena	Supernova - INIA	140	15 de julio	30 de junio
Triticale	Aguacero - INIA	200	15 de julio	
Lupino	Rumbo Baer	80	15 de julio	15 de julio
Raps	Nelson	4	9 de mayo	9 de mayo
Trigo	Pantera INIA	200		30 de junio

Cuadro 11.11. Rendimientos de los cultivos en módulo demostrativo Cañete con remanente de rastrojo sobre el suelo. Programa de Transferencia de Prácticas Alternativas al Uso del Fuego.

Temporada 2013/2014		Temporada 2014/2015	
Rotación	qqm/ha	Rotación	qqm/ha
Avena Supernova INIA - (trigo)	78	Avena Supernova INIA- (Raps Nelson)	31
Triticale Aguacero INIA - (trigo)	85	Trigo Pantera INIA (Lupino Rumbo Baer)	73
Lupino Rumbo Baer - (trigo)	53	Lupino Rumbo Baer- (Avena Supernova INIA)	50
Raps Nelson -(trigo)		Raps Nelson- (Triticale Aguacero INIA)	28

Cuadro 11.12. Rendimientos de cultivos en módulo demostrativo Cañete con remanente rastrojo mezclado con el suelo. Programa de Transferencia de Prácticas Alternativas al Uso del Fuego.

Temporada 2013/2014		Temporada 2014/2015	
Rotación	qqm/ha	Rotación	qqm/ha
Avena Supernova INIA - (trigo)	71	Avena Supernova INIA- (Raps Nelson)	9
Triticale Aguacero INIA - (trigo)	79	Trigo Pantera INIA (Lupino Rumbo Baer)	73
Lupino Rumbo Baer - (trigo)	66	Lupino Rumbo Baer- (Avena Supernova INIA)	40
Raps Nelson -(trigo)	46	Raps Nelson- (Triticale Aguacero INIA)	29

Durante la temporada 2014-2015 la avena Supernova-INIA fue severamente afectada por roya o polvillo de la hoja causada por el hongo basidiomicete *Puccinia coronata*. Se sugiere elección de variedades con mayor resistencia y eventualmente el apoyo de fungicidas al follaje.

En el módulo de Cañete durante la segunda temporada también se estableció una parcela de 1 hectárea de observación comercial de la producción de trigo,

sobre un rastrojo de avena, que se enfardó, y el remanente se mezcló con el suelo. Se utilizó la misma dosis de semilla y fecha de siembra indicada en el Cuadro 11.10. El manejo agronómico, fertilización y control de malezas, se basó en recomendaciones INIA del cultivo para la zona. Los resultados de rendimiento se indican en el cuadro 11.13.

Cuadro 11.13. Rendimientos de cultivo comercial de trigo Pantera INIA, con remanente de rastrojo de avena mezclado con el suelo. Programa de Transferencia de Prácticas Alternativas al Uso del Fuego. Temporada 2014/2015.

Rendimiento	qqm/ha
Promedio*	90,0
Máximo	107,5
Mínimo	70,1

*Promedio de 10 submuestras.



Foto 11.3. Vista general del Módulo Cañete.

11.5.3. Módulo de cultivos Yumbel

a) Rotación de cultivos Yumbel. En un potrero sobre rastrojo de trigo enfardado se iniciaron los trabajos de rotación de cultivos. En la temporada 2013/2014 se sembró con una máquina Vence Tudo equipada con discos. En la temporada 2014/2015 se sembró con una máquina equipada con cinceles. El propósito de estos trabajos fue ampliar la rotación de cultivos de los productores y eliminar la práctica tradicional del barbecho y la quema de los rastrojos. Cuadros 11.14. y 11.15.

Cuadro 11.14. Variedad, dosis de semilla y época de siembra de cultivos en módulo Yumbel. Programa de Transferencia de Prácticas Alternativas al Uso del Fuego.

Cultivo	Variedad	Dosis semilla, kg/ha	Fecha de siembra	
			2013/2014	2014/2015
Triticale	Aguacero - INIA	200	22 mayo	22 mayo
Lupino	Rumbo Baer	80	22 mayo	22 mayo
Trigo	Pantera INIA	200		22 mayo
Lentejas	Araucana INIA	80	22 mayo	

Cuadro 11.15. Rendimientos de cultivos en módulo demostrativo Yumbel, sembrado sobre remanente de rastrojo mezclado con el suelo. Programa de Transferencia de Prácticas Alternativas al Uso del Fuego.

Temporada 2013/2014		Temporada 2014/2015	
Rotación	qqm/ha	Rotación	qqm/ha
Triticale - (Trigo)	40,2	Triticale - (Avena Supernova INIA)	43,1
Lupino- (Trigo)	15,2	Trigo - (Lupino Rumbo Baer)	32,3
Lentejas -(trigo)	22,0	Trigo - (Lenteja Araucana INIA)	31,0

b) Rotación cultivos anuales con praderas. En el módulo de Yumbel también se estableció una mezcla de praderas anuales permanentes para rotar con cereales. En efecto, se sembró la mezcla Mediterránea 600, que está conformada por leguminosas anuales de resiembra compuesta por cultivares intermedios de trébol balansa (Bolta y Paradana) y hualputra (Scimitar) y cultivares de trébol subterráneo (Gosse, Antas y Clare). En la siembra se utilizó 25 kg/ha de semilla y se fertilizó de acuerdo a análisis de suelo. Se sembró con máquina Vence Tudo de discos. La producción en la segunda temporada fue de 10.600 kg/ha de Materia Seca.



Foto 11.4. Módulo Yumbel, Pradera Mediterránea 600.

11.6. Módulos de alimentación animal

Con antecedentes generados por INIA, en relación a que la paja de cereales puede, con suplementación adecuada, formar parte de las dietas de mantención y/o engorda de bovinos, se establecieron tres módulos demostrativos: en la provincia de Ñuble comuna San Ignacio, en la provincia del Biobío comuna de Yumbel; y en la provincia de Arauco comuna de Cañete.

En el Capítulo 9 de este boletín se entrega información generada en este programa, en la sección “Estudio de alimentación con pajas de cereales en novillos en la Región del Biobío”, que tuvo como objetivo proporcionar, durante el invierno del año 2013, una ración de engorda para los animales del módulo de San Ignacio y Cañete, y una ración de mantención para vacas cubiertas en el módulo de Yumbel. Durante el invierno del año 2014 y en atención a la solicitud de productores, se implementó una demostración de alimentación de mantención para bovinos de carne en San Ignacio y Cañete, y se continuó con una ración de mantención para vacas cubiertas en Yumbel.

La alimentación en el año 2013, en el módulo de San Ignacio y de Cañete, consistió en una ración de engorda para alimentación diaria por animal, compuesta por 1 kg de heno, 1,8 kg de triticale, 0,5 kg de avena grano entero, 1,42 kg de lupino grano entero, 0,044 kg de urea y 0,076 kg de bicarbonato. Se suministró a libre disposición alrededor de 3 kg de paja de avena y/o trigo, sales minerales y agua. En ambas localidades se utilizaron, de preferencia, novillos de carne. Los pesos iniciales, aumento de peso, costo de la ración en ambas localidades se entregan en el Cuadro 11.16.

Cuadro 11.16. Consumo ración de engorda, ganancia de peso vivo en novillos estabulados con ración de engorda y costo de la ración. Programa de Transferencia de Prácticas Alternativas al Uso del Fuego. 2013

Cultivo	Resultados	
	San Ignacio, Ñuble	Cañete, Arauco
Días de observación	123	123
Peso vivo inicial, kg	292,7	275,5
Peso vivo final, kg	411,5	403,3
Aumento de peso vivo, kg	118,8	127,8
Aumento diario, kg/novillo	0,97	1,04
Consumo diario de heno, kg MS/novillo	0,86	0,86
Consumo diario de concentrado, kg MS/novillo	3,59	3,59
Consumo diario de paja, kg MS/novillo	2,97	2,97
Total consumo de MS, kg/novillo/día	7,42	7,42
Eficiencia de conversión, kg alimento/kg aumento de peso vivo	7,6	7,1
Costo de la ración, \$/kg, (\$ sin IVA)	721	721

El año 2014 en el módulo de San Ignacio y Cañete se formuló una ración de mantención para alimentación diaria de los novillos, compuesta por 2 kg de avena grano entero, 1 kg de lupino grano entero, y se suministró a libre disposición paja de avena y/o trigo, alrededor de 4 kg/animal por día, sales minerales y agua. Los pesos iniciales, aumento de peso y costo de las raciones en ambas localidades se entregan en el Cuadro 11.17.

Cuadro 11.17. Consumo de ración de mantención, ganancia de peso vivo de novillos estabulados con ración de engorda y costo de ración. Programa de Transferencia de Prácticas Alternativas al Uso del Fuego. 2014.

Cultivo	Resultados	
	San Ignacio, Ñuble	Cañete, Arauco
Días de observación	92	114
Peso vivo inicial, kg.	297	208
Peso vivo final, kg.	340	274
Aumento de peso vivo, kg	43	66
Aumento diario, kg/novillo	0,47	0,58
Consumo diario de avena, kg /novillo	2	2
Consumo diario de lupino, kg /novillo	1	1
Consumo diario de paja, kg MS/novillo	4	4
Total consumo de MS, kg/novillo/día	7	7
Eficiencia de conversión, kg alimento/kg aumento de peso vivo	14,89	12,07
Costo de la ración, \$/kg (\$,Sin IVA)	62,86	57,14



Foto 11.5. Módulo de Alimentación de mantención bovina en San Ignacio.

En Yumbel, en el invierno de 2014 se alimentaron en forma semi estabulada 10 vacas cubiertas, de distintas razas, con un dieta diaria por vaca compuesta por 0,5 kg de lupino grano entero, 1,5 kg de avena grano entero, 4 kg de paja de trigo y sales minerales y agua. Esta ración se suministró en dos parcialidades, mañana y tarde. Al inicio, el productor proporcionó, entre el primer y segundo pesaje, heno de pradera Mediterránea de difícil cuantificación Cuadro 11.18.

Cuadro 11.18. Fecha de parto, sexo y peso de los terneros, peso post parto vacas cubiertas alimentadas semi estabuladas en Yumbel. Programa de Transferencia de Prácticas Alternativas al Uso del Fuego. 2014.

Vaca	Fecha parto	Sexo ternero	Terneros nacimiento, kg/ternero	Peso terneros 16-12- 2014	Peso vaca post parto, kg
1	01-09-14	M	35,0	172,5	399
2	05-09-14	H	28,5	123,5	459
3	01-09-14	M	38,2	160,0	510
4	10-09-14	H	30,0	117,5	542
5	21-08-14	H	42,2	175,5	538
6	07-09-14	H	33,0	140,5	410
7	13-08-14	M	41,8	208,0	437
8	18-09-14	M	35,0	106,5	447
9	19-08-14	H	42,0	193,5	546
10	24-09-14	M	31,2	112,0	414

11.7. Actividades de transferencia tecnológica

11.7.1. Días de campo y seminarios

En el marco del Programa se realizaron 20 días de campo y 1 seminario, cuyo tema central fue dar a conocer los trabajos técnicos que se estaban desarrollando. La mayoría de estas actividades se llevó a cabo en los módulos demostrativos (Cuadro 11.19.) donde se mostró el desarrollo de los trabajos y la lógica económica que los sustentaba. Se explicó que para establecer cultivos con manejo de rastrojos era necesario establecer una rotación de cultivos más amplia que la tradicionalmente usada, trigo-avena, e incluir al menos uno o dos nuevos cultivos en la rotación, con el objeto fundamental de cortar el ciclo de enfermedades y de malezas. Adicionalmente, en estas actividades se trató el tema de alimentación animal utilizando pajas como componentes de la ración. Se explicó que es posible utilizarla como alimento animal con suplementos adecuados, y que estos suplementos deberían provenir de la producción de los mismos cultivos establecidos en la nueva rotación, como grano de avena y lupino. Esta recomendación tiene la ventaja que los productores se evitan una serie de costos cuando se ven enfrentados a importar alimentos al predio, como la gestión

y el transporte, quedando sólo la necesidad de comprar sales minerales para establecer el sistema.

Cuadro 11.20. Días de Campo y seminarios realizados por el Programa de Transferencia de Prácticas Alternativas al Uso del Fuego. Región del Biobío. Agosto 2013 a diciembre 2014.

Comuina	Días de campo	Seminarios	Nº asistentes
Yumbel	4		237
Cañete	5		493
San Ignacio	8		191
Tucapel	1		31
Coihueco	1		31
Mulchén	1		23
Chillán	1		24
Ránquil		1	35
Total	21	1	1.065

11.7.2. Notas de prensa

El programa, bajo la coordinación con Conaf, estuvo permanentemente vinculado con los medios de difusión radial y escrito de la Región, con un total de 20 acciones en 2013 y 2 en el año 2014 (Cuadro 11.21.).

Cuadro 11.21. Notas en prensa escrita y radial referidas al Programa de Transferencia de Prácticas Alternativas al Uso del Fuego.

Prensa	Año	
	2013	2014
Escrita	13	1
Radial	7	1
Total	20	2

11.7.3. Frases radiales

Con el propósito de motivar y desincentivar el uso del fuego se emitieron cuatro frases radiales, que se repitieron dos veces por día, en junio de 2014 en la radio 1290 AM de Los Ángeles, Revelación de Cañete y Radio Ñuble de Chillán. El contenido de dichas frases fue:

- Aproveche de manera eficiente sus rastrojos. Enfarde el cordón que se genera detrás de la cosechadora. Fraccione o pique el resto inmediatamente después de la cosecha, y planifique una buena rotación de cultivos. Otra alternativa con resultados muy promisorios, consiste en fraccionar los rastrojos y esparcirlos al momento de la cosecha. Inmediatamente después, mezcle superficialmente con el suelo.
- Utilice los rastrojos de cereales como parte de la ración de los animales en épocas de escasez de forraje. Sáquele provecho para alimentar y preparar las camas de sus vacunos, ovinos, y chivos, especialmente en el periodo invernal. Aprovéchelos de manera eficiente lo que les permitirá obtener beneficios.
- Aproveche los residuos de explotación de sus bosques, en distintas alternativas tendientes a: generar energía, disminuir la erosión, aumentar la disponibilidad de agua y el contenido de materia orgánica en el suelo, mejorar su fertilidad y estructura, y con ello aumentar la productividad de su terreno.
- Utilice los instrumentos del SAG e Indap, a través del sistema de incentivos para la sustentabilidad agroambiental de los suelos degradados (SIRSD-S). Aproveche la ayuda económica que le brinda este sistema de incentivos que está destinada a cofinanciar las actividades y prácticas que buscan recuperar los suelos agropecuarios degradados.

11.8. Consideraciones finales

La información que se ha entregado en este artículo es una síntesis del trabajo de campo y actividades con productores y comunicación con la sociedad, respecto de alternativas a la quema de rastrojos. Sin embargo, en el Programa de Transferencia de Prácticas Alternativas al Uso del Fuego se trabajó en una serie de otras materias muy importantes para promover una disminución de la quema de rastrojos y, por tanto, aumentar la superficie de cultivos sin quema.

Los temas adicionales en que se trabajó dicen relación principalmente con propuestas de prácticas de pertinencia regional para ser incorporadas al sistema de incentivos de recuperación de suelos degradados. Se realizaron talleres con

productores en las tres provincias de la Región del Biobío. Asimismo, en un taller con productores y profesionales de Conaf se analizó el Decreto Supremo N° 276 Reglamento sobre roce a fuego. En el ámbito de estudios realizados, se evaluó la cantidad de biomasa en cultivos agrícolas y plantaciones forestales, para sugerir la fracción de biomasa que debe quedar para mantener la productividad de los suelos.

También se estudió el mercado de la biomasa generada por los residuos de origen agrícola, concluyendo que su posible destino plantea interesantes desafíos de comercialización. Existe una oferta atomizada y una demanda energética creciente, lo que abre interesantes expectativas al uso de rastrojos como fuente generadora de energía.

