

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 quemaduras 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 quemaduras. 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 micrómetro 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).