

Cereales en las zonas centro-sur y sur de Chile

¿Qué hacer con los rastrojos?

En las zonas centro-sur y sur de Chile, se produjeron más de 1,3 millones de toneladas de rastrojo de trigo en la última temporada de producción.

Agustín Taladriz¹ y Andrés Schwember².

El aumento de la productividad de los cereales ha traído consigo un incremento en la cantidad de rastrojos. Esto ha hecho más complejo el manejo de éstos dejando planteado el desafío de buscar nuevas alternativas.

En Chile, la producción de cereales está concentrada en las regiones del Biobío y de la Araucanía, con alrededor de 300 mil hectáreas cultivadas, principalmente de trigo, avena, triticale, maíz y cebada.

En las últimas décadas, ha existido un constante y significativo aumento en los rendimientos de los cereales en el mundo, y Chile no es la excepción, lo que se debe al mejoramiento genético, investigación agronómica, nuevas tecnologías de producción y aplicación intensiva de fertilizantes y agroquímicos, entre otros. Este aumento del rendimiento ha sido positivo para la humanidad ya que ha permitido combatir la hambruna y la desnutrición mundial.

Sin embargo, también se ha incrementado la cantidad de rastrojos por el aumento de la productividad. Esto ha hecho más complejo el manejo de éstos, en especial al referirnos a los cereales, puesto que son los cultivos que más residuos de cosecha dejan sobre la superficie del suelo y son de difícil degradación (ver figura 1). Por ejemplo, se produjeron más de 1,3 millones de toneladas de rastrojo de trigo en las re-

giones analizadas en la última temporada de producción.

Quema de rastrojos

La quema de rastrojos es una práctica habitual muy extendida en Chile, como se aprecia en la figura 2. Se estima que entre el 80 y el 90% de la superficie con rastrojos de trigo de las regiones del Biobío y de la Araucanía es manejada con quema, lo que implica que sólo en ellas se incendian más de 150 mil hectáreas al año, mientras que a nivel país alcanzan las 250 mil.

Las principales ventajas por las cuales la quema de rastrojos es ampliamente usada por los productores serían:

Facilidad de ejecución y labranza simplificada: Esta técnica permite una fácil y rápida eliminación de la gran cantidad de residuos de cosecha que quedan sobre la superficie, cantidades que llegan a tornarse inmanejables con otras alternativas de manejo. Por otro lado, esta práctica deja el terreno totalmente libre de residuos de cosecha, lo que facilita las labores de labranza del terreno para la siembra y para el establecimiento del cultivo siguiente en la rotación.

Falta de alternativas: En muchas localidades, no se pueden ejecutar apropiadamente otras alternativas de manejo del rastrojo ya que las condiciones edafoclimáticas (suelo y clima) locales dificultan la incorporación del rastrojo y su descomposición debido a las bajas temperaturas, baja humedad, al escaso periodo de tiempo entre cultivos o porque no hay poderes compradores de rastrojos.

Disminución de enfermedades, insectos y malezas: el calor producido durante la quema de los rastrojos resulta en una disminución importante del inóculo de enfermedades presente en el terreno y algo similar ocurre con los insectos y las semillas de malezas que pudieran estar presentes en la parte más superficial del perfil del suelo. Por ejemplo, un estudio demostró que la quema de rastrojo de trigo redujo la emergencia de las malezas entre un 40 y 80%.

Bajo costo aparente: dentro de las alternativas de manejos de rastrojos, la quema es aparentemente la más económica para los productores. Este último factor toma gran peso en la producción

de cereales y en trigo en particular, ya que es un cultivo de baja rentabilidad y su producción está concentrada en pequeños y medianos productores, usualmente de bajos recursos.

Por otro lado, existe una cantidad importante de desventajas al quemar los rastrojos:

Posible erosión: se deja la superficie del suelo totalmente descubierta con lo que se maximiza el golpe directo de la gota de lluvia contra el suelo. Ello genera la disgregación de las partículas del suelo, favoreciendo su posterior arrastre por agua o viento, situación que se acentúa en suelos con alta pendiente. La erosión del suelo puede superar las 200 toneladas por hectárea al año de pérdida de suelo, la que afecta principalmente a la capa más fértil (los primeros 20 centímetros del perfil), pero al dejar una pequeña porción del rastrojo en superficie, este valor disminuye considerablemente. Por ejemplo, si un 10 ó 30% de la superficie está protegida por rastrojo, la pérdida de suelo disminuye en un 55 ó 85%, respectivamente.

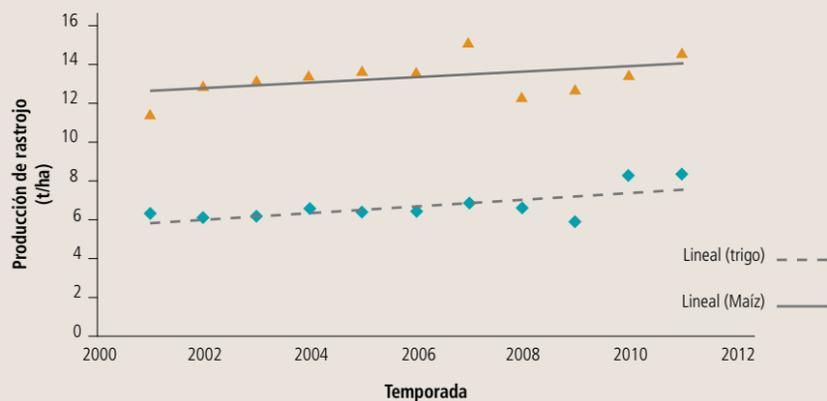
Materia orgánica: otro aspecto importante es la eliminación total de la prin-

cipal fuente que existe en los predios para aumentar el contenido de materia orgánica de los suelos, el rastrojo. Esto, salvo que se aplique otra fuente de materia orgánica como el guano, genera una progresiva disminución del contenido de materia orgánica en el suelo, lo que va asociado a una creciente baja de los rendimientos de grano. Por ejemplo, un estudio realizado en Argentina concluyó que una disminución del contenido de materia orgánica del suelo de 2 a 3%, provocó una caída del rendimiento de cebada de 1,3 toneladas de grano por hectárea.

Pérdida de nutrientes: considerando el alto costo de los fertilizantes y el abundante contenido de nutrientes de los rastrojos, no resulta apropiado desperdiciarlos. Al realizar quema de rastrojos se desaprovecha del 98 a 100% del nitrógeno contenido en el residuo de cosecha, 20 a 40% del fósforo y potasio y 70 a 90% del azufre, esto sin considerar las pérdidas posteriores por arrastre de las cenizas por viento. En este contexto, las pérdidas en nutrientes tienen una importancia económica significativa, que en el caso del trigo pueden ascender a más de \$68 mil

¹ Ing. Agrónomo UC
² Profesor Depto. Ciencias Vegetales

Evolución de la producción de rastrojo de maíz y trigo en Chile. Producción de rastrojo = (Producción grano x (1-IC))/IC, dónde IC es el índice de cosecha del cereal.



Fuente: Elaboración de los autores basada en datos de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (Odepa).



FIGURA 2. Quema de rastrojos.

CUADRO 1

Costos, cantidades y valores estimados de las pérdidas de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) por la quema de rastrojo de trigo con rendimiento promedio de 70 qq/ha.

Nutriente	Cantidad volatilizada - Cantidad contenida en el rastrojo (unidades de nutriente/ha)	Valor unitario del nutriente (\$/unidad)	Total (\$/ha)
N	58 - 58	760	44.080
P	2,7 - 9,2	724	1.990 - 6.631
K	41 - 137	540	22.162 - 73.872
Total NPK			68.231 - 124.584

Fuente: Elaboración propia de los autores.



FIGURA 3. Implemento mezclador de rastrojos.

Existe un efecto perjudicial de la quema de rastrojos desde el punto de vista agronómico, ambiental y económico, que estimulará el desarrollo de alternativas y que implicará que los productores las elijan.

por hectárea si consideramos sólo las pérdidas por volatilización, y a cifras superiores a \$124 mil por hectárea, si además le sumamos las pérdidas por arrastre (ver cuadro 1).

Contaminación: la quema de rastrojos libera grandes cantidades de gases nitrogenados y carbonados que favorecen la contaminación de la atmósfera y el calentamiento global, además de la contaminación directa por material particulado y por el humo que afecta a las zonas aledañas a los lugares en que se realizan las quemas. La quema del rastrojo de un trigo de 70 quintales/hectárea (qq/ha equivalente a 7 toneladas/ha) de rendimiento de grano, liberará alrededor de 400 kilos por hectárea de monóxido de carbono, 15 kilos por hectárea de gases nitrogenados y 50 kilos por hectárea de material particulado, entre otros compuestos.

Modificación del ecosistema: la quema de rastrojos produce una alteración en los equilibrios ecológicos ya que

disminuyen significativamente las poblaciones de agentes bióticos del área quemada como las lombrices, dado que una parte de los organismos muere directamente por acción del fuego, y otra parte por falta de alimento (por ejemplo, materia orgánica).

Todas estas desventajas, sumadas a la alta probabilidad de que en el corto plazo se prohíba la quema de rastrojos en el país, llevan a buscar alternativas económica y ambientalmente viables para el manejo de los residuos de cosecha, de modo que éstas beneficien a los productores de la zona centro-sur y sur del país.

En el último tiempo, se han invertido grandes cantidades de tiempo y dinero para buscar nuevas opciones de manejo de rastrojo y mejorar las ya existentes, por ejemplo, la incorporación y el mezclado de rastrojo son posibilidades que están siendo ampliamente utilizadas por los grandes productores de la zona centro-sur y sur del país. La combustión directa de biomasa es una opción más reciente, aunque según algunas proyecciones, será adoptada por muchos productores que actualmente realizan quema de rastrojos.

Incorporación y mezclado de rastrojo

La incorporación de rastrojos consiste en que una vez realizada la cosecha, se efectúa una labranza de inversión de suelo (por ejemplo, usando arado de vertede-

ra), 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.

El mezclado de rastrojos (ver figura 3), en cambio, no utiliza equipos de inversión de suelo, sino que implementos que mezclan el rastrojo con los primeros 15 a 20 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.

Los principales beneficios que justifican la implementación de estas alternativas de manejo de rastrojo son:

Incremento del contenido de materia orgánica en el suelo: al incorporar o mezclar el rastrojo de un trigo de 70 qq/ha de rendimiento, es decir, alrededor de ocho toneladas por hectárea de rastrojo, se producen 1,3 toneladas por hectárea de humus al año aproximadamente. El humus corresponde a la fracción de la materia orgánica que permanece, luego de que gran parte de ésta se ha descompuesto, es decir, es la fracción estable de la materia orgánica. Por esto, al devolver el rastrojo al suelo se incrementa el contenido de materia orgánica en el suelo, y específicamente del humus, lo que se asocia a varios efectos positivos, como el aumento de la fertilidad del suelo, la capacidad de retención e infiltración de agua, la aireación y el poder tampón ante variaciones de pH. También disminuyen el daño por toxicidades de suelo (como la

toxicidad por aluminio), la compactación y la erosión y, por último, mejora la estructura y favorece la biota (lombrices).

Ahorro en fertilización: la incorporación y el mezclado de rastrojo, al devolver los residuos de la cosecha al suelo, generan en el mediano plazo, una mayor disponibilidad de nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio, magnesio y micronutrientes. Esto debido a que los rastrojos contienen cantidades significativas de nutrientes en sus tejidos, los que mediante la acción de microorganismos del suelo se convierten en formas minerales disponibles para el cultivo. Como resultado de esta mayor disponibilidad, se produce un importante ahorro en la fertilización (ver cuadro 1).

Producción más sustentable y de mayores utilidades: los beneficios anteriormente mencionados se traducen en ahorro de agua de riego, menor requerimiento de fertilizantes, menor incidencia de inundaciones, ahorro de algunos pesticidas, mayor recarga de acuíferos y menor degradación de suelo, lo que conllevará a producciones de cereales más sustentables y de mayores utilidades en el futuro.

Sin embargo, si el rastrojo no es manejado de forma adecuada, se pueden ocasionar los siguientes problemas con la incorporación o el mezclado:

• **Alelopatía:** consiste en la producción de sustancias químicas específicas (aleloquímicos) por parte de los residuos en descomposición, que afec-

tan negativamente al cultivo siguiente. El daño por alelopatía es creciente en las primeras semanas luego de iniciadas las lluvias, hasta llegar a un nivel máximo y luego decrecer en las semanas continuas. Por ejemplo, en el caso del rastrojo de trigo, se logra el máximo de excreción de aleloquímicos a las cuatro semanas luego del comienzo de las lluvias, para desaparecer en la semana ocho después de iniciadas las precipitaciones.

• **Hambre de nitrógeno:** la inmovilización de nitrógeno es el paso de nitrógeno en estado mineral a estado orgánico, es decir, al pasar de una forma en la que está disponible para su absorción por las raíces, a una en la que no está disponible ya que éste se fija en las estructuras de los microorganismos del suelo. Este proceso se debe a que los rastrojos de cereales poseen altos contenidos de carbono en comparación al nitrógeno (alta relación C/N), de modo que al descomponerse por medio de los microorganismos del suelo, el nitrógeno de los residuos será insuficiente para suplir los requerimientos de los microorganismos, ya que será secuestrado desde la solución del suelo (nitrógeno mineral) y será transformado en nitrógeno estructural de los microorganismos (nitrógeno orgánico). Este proceso implica que se produzca una disminución temporal del nitrógeno disponible en el suelo y si ésta coincide con el cultivo siguiente, se origina el fenómeno llamado "hambre de nitrógeno". La inmovilización men-

cionada es de carácter temporal ya que una vez que la fuente de carbono aportada al suelo (rastrojo) disminuye, inmediatamente muere una gran parte de los microorganismos y, finalmente, se produce una nueva mineralización y liberación del nitrógeno mineral al suelo, que queda disponible para las plantas.

Para evitar los problemas de alelopatía y de hambre de nitrógeno, se debe lograr un alto nivel de descomposición del rastrojo al momento de establecer el cultivo siguiente. De este modo, las excreciones de aleloquímicos serán bajas o cesarán, y pasará la depresión de nitrógeno mineral del suelo. Para cumplir esto, se debe acelerar la descomposición y ampliar el periodo de tiempo entre cosecha y establecimiento del cultivo siguiente. Para acelerar la descomposición del rastrojo se le puede picar, aplicar pequeñas cantidades de nitrógeno al momento de incorporar o mezclar (lo que estimula la actividad de los microorganismos del suelo y aumenta su número), regar e incorporar o mezclar superficialmente. Por otro lado, para ampliar el periodo de tiempo entre cosecha y establecimiento del cultivo siguiente, se buscan rotaciones de cultivos que extiendan el periodo mencionado y se debe realizar una planificación apropiada de la producción, utilizando fechas de siembra tempranas (dentro de las recomendadas para cada cultivo), cosechando en el momento oportuno, evitando fertilización nitrogenada excesiva y prescindiendo de riego mas allá de la fecha necesaria. Por últi-



mo, y exclusivamente para evitar problemas de alelopatía, se puede utilizar cultivares o especies total o parcialmente tolerantes a los aleloquímicos secretados por el rastrojo en descomposición, como es el caso de algunos cultivares de trigo sobre rastrojo de avena.

Combustión directa de la biomasa

Ésta consiste en utilizar biomasa (por ejemplo, rastrojo) como combustible industrial para la generación de aire caliente, agua caliente o vapor, los que son utilizados para la producción eléctrica, de calefacción, secado de productos agrícolas, entre otros.

Además de los rastrojos, existen otros tipos de biomasa que se clasifican según su origen, distinguiéndose los grupos: forestal (madera, restos de explotaciones forestales, residuos de manejo del bosque nativo, entre otros); agrícola-ganadera (cáscara de almendra, rastrojos, orujillo, gallinaza y otros); de cultivos energéticos (producidos para uso como combustible de soya, jatrofa y otros); e industrial (serrín, lodos de depuradora).

En el caso particular de los rastrojos, la forma en que se efectúa la extracción desde el predio depende de la empresa que los está adquiriendo para su poste-

rior combustión. En general, la misma empresa o un prestador de servicios de ella realiza la labor de enfardado y traslado de la biomasa a la planta. Dependiendo de la ubicación del predio de donde se extrae el rastrojo y de la distancia de éste a la planta, se puede o no realizar algún pago al agricultor.

Según el Centro de Energías Renovables (CER), en el mes de julio de 2012, existían 16 plantas de biomasa en operación a nivel nacional, nueve de ellas ubicadas en las regiones del Biobío y de la Araucanía, por lo que esta opción de manejo de rastrojo representa una alternativa real para los productores de la zona.

La combustión directa de biomasa produce los siguientes beneficios:

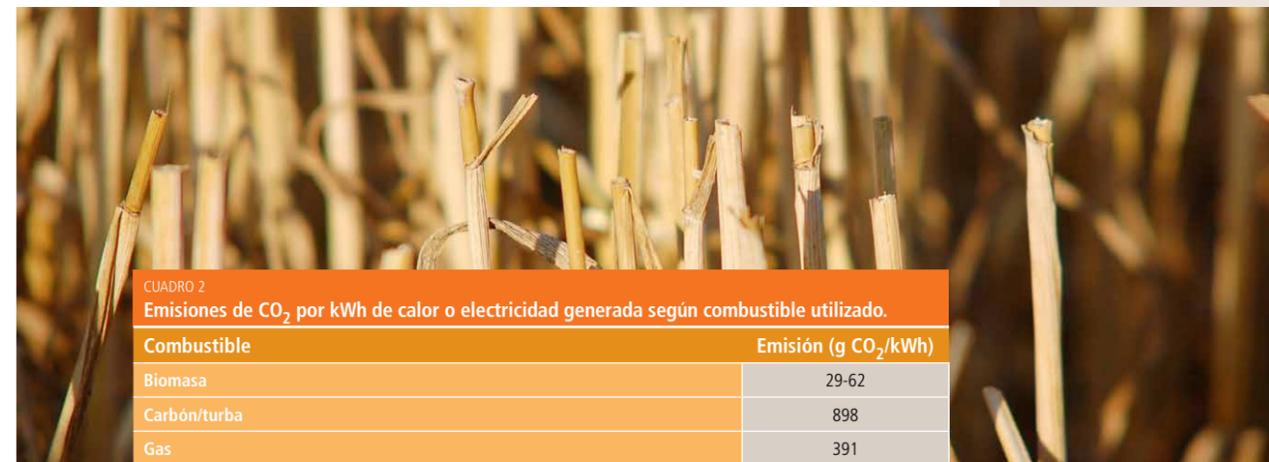
Fuente renovable de energía: la biomasa es considerada una fuente renovable de energía ya que su valor energético proviene del sol a través de la fotosíntesis, en la que se transforma la energía solar en energía química, que será posteriormente liberada en el proceso de combustión. Por lo tanto, ésta funciona como una especie de batería que almacena la energía solar.

Producción de energía renovable no convencional (ERNC): a nivel mundial, existe una demanda creciente por energía y se está produciendo un agotamiento de las fuentes fósiles (no renovables), lo que obliga a buscar nue-

vas alternativas de generación eléctrica. Lo anterior toma mayor relevancia en Chile ya que alrededor de dos tercios de la energía eléctrica consumida es elaborada en base a este tipo de combustibles. Por esto, al destinar los residuos de cosecha a la combustión de biomasa, se aumentará la generación de ERNC. Actualmente las 16 plantas de biomasa de Chile producen cerca de 400 MW, lo que representa más del 2,2% de la capacidad instalada en el país. Interesantemente, esta forma de producción eléctrica ha aumentado rápidamente en los últimos meses, puesto que en marzo de este año sólo se producía 270 MW con este sistema.

Reducción de emanaciones de CO₂: al aumentar la producción de ERNC, se reducirá el consumo de combustibles fósiles y con ello las emanaciones de CO₂ a la atmósfera (ver cuadro 2).

Permite extraer residuos de procesos agrícolas: la combustión directa de biomasa permite extraer total o parcialmente el rastrojo de la zona, por lo que es una opción cuando se encuentran grandes volúmenes de éste sobre el predio o cuando no se puede llevar a cabo otras alternativas de manejo de la biomasa, como la incorporación o el mezclado del rastrojo. Más aún, al retirar parte del rastrojo, queda una proporción y masa radicular importante



CUADRO 2 Emisiones de CO ₂ por kWh de calor o electricidad generada según combustible utilizado.	
Combustible	Emisión (g CO ₂ /kWh)
Biomasa	29-62
Carbón/turba	898
Gas	391
Petróleo	651
Promedio mundial	502

Fuente: Bellolio y Karelovic, 2011.

en el predio, la que puede ser utilizada para aumentar el contenido de materia orgánica en el suelo. Además, la incorporación o mezclado de rastrojo y la combustión de biomasa no son prácticas excluyentes. Por el contrario, cuando la incorporación o mezclado de rastrojo se dificulta (alto volumen de residuos, corta ventana de descomposición), la combustión de biomasa es un muy buen complemento.

Sin embargo, la combustión directa de biomasa tiene algunos problemas asociados:

Logística: debido a que la biomasa debe ser recolectada en un gran número de sitios, que hay bajo rendimiento y que posee una baja densidad energética (contenido energético por kilogramo de combustible) en comparación a otros combustibles, se deben transportar altos volúmenes con importantes costos de transporte.

Riesgo de retraso de retirado: un problema adicional que puede afectar a los productores es que el rastrojo no sea retirado a tiempo debido a una mala programación y coordinación de la empresa, lo que retrasará otras labores del predio.

Emanaciones de las calderas de combustión: un último aspecto limitante de esta tecnología es la emanación producida por las calderas de combustión de biomasa, que liberan gases, materiales particulados y cenizas. Sin embargo, éstos no son un gran problema ya que los niveles de los gases liberados, en general, son inferiores a los máximos permitidos por la norma de calidad de aire

definidos por la Comisión Nacional del Medio Ambiente (Conama), y los análisis demuestran que las cenizas no son grandes contaminantes y que pueden ser esparcidas como fertilizantes sobre terrenos agrícolas.

Existen múltiples alternativas adicionales de manejo de rastrojo, siendo algunas de ellas viables para las zonas centro-sur y sur. Algunas son el compostaje, la producción de biogás, la cero labranza (con rastrojo distribuido uniformemente o rastrojo hilerado) y la gasificación de la biomasa.

En resumen, es justificable que bajo algunas circunstancias se realice la quema de rastrojos, pero se proyecta más investigación y desarrollo de nuevas tecnologías en esta área en el futuro, además de la generación de información nueva para los productores y de mayores facilidades de ejecución de cada alternativa. Esto deberá traducirse en una menor superficie manejada con quema de rastrojo y una mayor masificación de opciones sustentables, como la incorporación y mezclado de rastrojo y/o la combustión directa de biomasa, las que en forma combinada y no excluyente, harán de la producción de cereales una actividad económicamente más rentable y ambientalmente más amigable.

Además, existe un efecto perjudicial de la quema de rastrojos desde el punto de vista agronómico, ambiental y económico, que estimulará el desarrollo de las alternativas presentadas en este artículo, y que implicará que los productores las elijan. ^{4f}

REFERENCIAS

- Baziar, M., Baziary, F., Zare, A., Keshtkar, E., Ohadi, S.** (2009). Studying the effect of crop on straw burning germination and growth of weeds. *Research on crops*, 10(2), 210-221.
- Bellolio, R., Karelovic, P.** (2011). Energía de biomasa forestal, lecciones internacionales y su potencial en Chile. *PUC*, Santiago, Chile, 28 p.
- France, A., Carrasco, J., Ovalle, C., Hirzel, J., Ruiz, C., Devotto, L., Pérez, C., Claret, M., Mera, E., Millas, P., Klee, G., Madariaga, R., Matus, I.** (2011). Informe INIA, Centro Regional de Investigación Quilamapu: Situación actual y alternativas para reducir las quemadas de rastrojos de cereales. *Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Chillán, Chile*, 95 p.
- Quiroga, A., Funaro, D., Noellemeier, E., Peinemann, N.** (2005). Barley yield response to soil organic matter and texture in the Pampas of Argentina. *Soil & Tillage Research*, 90, 63-68.
- Richmond, P., Rillo, S.** (2010). Caracterización de la dinámica de incorporación de residuos de cosecha al suelo en un sistema agrícola en siembra directa en el centro-oeste de Buenos Aires. *Informaciones Agronómicas*, 43, 22-26.
- Silva, P.** (2003). Efecto alelopático de los rastrojos. Universidad de Chile. Serie Ciencias Agronómicas N° 8, 83-97.
- Vidal, I., Troncoso, H.** (2010). Quema y manejo de rastrojos en cultivos de la Precordillera de la VIII Región de Chile. *Tecnología de suelos: estudio de casos*, 1ª edición, 237-263.