

Capítulo 4

Producción sustentable de cultivos con manejo de rastrojos

Carlos Ruiz S.

La quema de rastrojos es una práctica que afecta la sustentabilidad agrícola y se utiliza para facilitar el establecimiento del cultivo que sigue en la rotación. En Chile durante el año 2018 se quemaron en forma controlada 248.399,94 ha, de las cuales 226.395,90 ha (91,14%) corresponden a quemas de rastrojos y desechos agrícolas, y el resto a desechos forestales. Las quemas de origen agrícola las encabeza la Región de La Araucanía con 137.924,76 ha, seguida por la Región del Ñuble con 35.846,11 ha, ambas representan el 76,75% de las quemas de origen agrícola del país (Conaf). No obstante, quemas agrícolas se realizan en todas las regiones de Chile y están reguladas por el Decreto Ley N° 276 de 1980.

En el año 2018 la quema de rastrojos de trigo ocupó el primer lugar con 110.097,18 ha, de las cuales 66.518,68 ha (60,41%) corresponden a la Región de La Araucanía y 22.109,87 ha (20,08%) a la Región del Ñuble. Las quemas de rastrojos de avena ocupan el segundo lugar con 54.850,74 ha, de las cuales 39.518,88 ha (72,04 %) se queman en la Región de La Araucanía y 8.333,82 ha (15,19%) en la Región del Ñuble. Las quemas de rastrojos de maíz a nivel nacional también tienen relevancia y alcanzan a 6.055,07 ha con un 59,29% en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, 10,73% en la Región del Biobío y un 9,99 % en la Región del Ñuble (Conaf).

De las cifras expuestas se concluye que la quema de los residuos agrícolas es un problema de enorme envergadura en el país, tanto por sus implicancias agromónicas como ambientales. En efecto, la quema de rastrojos, facilita la erosión de los suelos y afecta negativamente su fertilidad natural que es esencial para mantener su productividad. Adicionalmente, la combustión genera pérdida de nutrientes, muerte de microorganismos del suelo, emisión de gases de efecto invernadero, gases contaminantes y material particulado dañino para la salud humana. Cuando el rastrojo no se quema y se maneja adecuadamente presenta una serie de beneficios, entre ellos mejora el ambiente y micro fauna del suelo,

mejora la infiltración de las aguas lluvias, incrementa la retención de humedad, retarda la germinación de las malezas y disminuye la erosión, entre otros. Además, los rastrojos pueden ser fuente importante como recurso alimenticio básico para animales en época de escasez de forraje y pueden constituir adicionalmente un importante recurso para generar energía, entre otros usos.

INIA y algunas universidades han propuesto manejos alternativos de los rastrojos para evitar el uso del fuego. Algunas soluciones para el manejo sin quema son enfardar y retirar parte del rastrojo, triturar la caña remanente y/o adicionalmente mezclarla con el suelo. Una solución un tanto más económica, que se ha venido desarrollando los últimos años, es picar y distribuir todo el rastrojo con la cosechadora, luego triturar el residuo de caña y después mezclar todo con el suelo. La alternativa de sembrar sobre caña parada, con retiro del 50% del rastrojo en trigo y avena se encuentra actualmente en evaluación a nivel de campo. En este capítulo se detalla el procedimiento para establecer un manejo de rastrojos y se entregan algunos antecedentes de referencia de costos de la quema.

4.1. Acondicionamiento del suelo

Para iniciar cultivos con manejo de rastrojos es muy necesario inicialmente hacer un estudio de suelo que permita observar su perfil y evaluar si existe algún impedimento físico para el desarrollo radicular de los cultivos. En muchas oportunidades y por años de uso del suelo se genera pie de arado, que es una compactación sub superficial que incluso se presenta en los suelos de origen volcánico, y es necesario eliminar a través de un subsolado para facilitar la infiltración de agua y desarrollo radicular.

Para determinar la existencia de pie de arado lo más práctico es hacer una calicata, que consiste en hacer un hoyo de 70 x 70 cm, con unos 80 cm de profundidad y examinar con una cortapluma en sus paredes la presencia de alguna capa dura que correspondería a la zona compactada, luego se debe medir a qué profundidad se encuentra esta capa, y con esta información regular la profundidad del subsolador de tal manera que sobrepase la capa dura detectada. Esta labor se debe efectuar a comienzos de primavera del año anterior o a fines de marzo si las condiciones del suelo lo permiten. Una vez realizado el subsolado, según la vegetación existente, se debe realizar un rastraje o una mezcla de los rastrojos con el suelo para después realizar un barbecho químico y dejar el suelo en condiciones de sembrar. El subsolado debe repetirse cada 4 o 5 años si las condiciones del suelo lo requieren.

4.2. Rotación de cultivos para introducir manejo de rastrojos

Para establecer cultivos con manejo de rastrojos es esencial planificar la rotación de cultivos de especies pertenecientes a familias diferentes. Se deben usar cultivos con características biológicas y requerimientos agronómicos contrastantes, por ejemplo, después de raps o de una leguminosa forrajera o de grano, sembrar trigo. En un esquema de rotación más amplio las praderas anuales o permanentes se adaptan muy bien para incluirlas en un esquema de rotación a largo plazo para establecer cultivos sin quema de rastrojos. La rotación de cultivos aporta al control de enfermedades, control de plagas, control de malezas, aumento de los nutrientes residuales en el suelo y finalmente al aumento de la sustentabilidad agrícola. Por las razones anteriores se debe evitar el monocultivo.

Un ejemplo de lo señalado anteriormente es el caso de la enfermedad del mal del pie (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*) que ataca las raíces de trigo. La inclusión de raps o alguna leguminosa (arveja, lenteja o lupino) en la rotación por sólo 1 año es suficiente para reducir el inóculo del hongo a niveles seguros para el cultivo de trigo. Sin embargo, el raps o la leguminosa deben crecer libre de gramíneas para romper el ciclo de la enfermedad. La avena también 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, que es otra enfermedad radical de importancia en trigo (Silva, P., Vergara, W., y Acevedo, E. 2015).

Figura 4.1. Trigo Pantera-INIA, a la izquierda, establecido en agosto y trigo Roky-INIA, a la derecha, establecido en mayo, ambos sobre 10 t/ha de rastrojo de avena mezclado con el suelo. El Carmen, Región de Ñuble.



4.3. Manejo de la 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. 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. El índice de cosecha (IC) = Peso del grano / Peso total planta excepto raíces. En tanto, Producción de paja (t/ha) = Producción de grano (t/ha) x (1 - IC) / IC (Mellado, 2007). El índice de cosecha del trigo harinero y trigo candeal es 0,45; de la avena 0,37; del triticale 0,29; de la cebada cervecera 0,45 y del maíz 0,46.

El manejo de la paja se debe iniciar a la cosecha, en la actualidad para los rastrojos de trigo, triticale, avena, cebada se están usando tres alternativas, pudiendo existir otras:

- a) Retiro parcial de la paja (50%) y mezcla del remanente con el suelo.
- b) Retiro parcial (50%) y trituración del remanente.
- c) Picado y esparcido del total del rastrojo con la cosechadora automotriz.

El retiro parcial de 50% de la paja obedece a que se debe asegurar, en zonas de secano, su descomposición durante el año, ya sea mezclándola con el suelo o sembrando directamente sobre ella. En ambos casos, el mezclado con el suelo y/o trituración, se debe realizar lo más lejano posible a la fecha de siembra, inmediatamente antes de iniciadas las lluvias en el mes de marzo, para evitar riesgo de incendios y dar un posible aprovechamiento como recurso para la alimentación animal.

Con las últimas tecnologías disponibles y el acceso económico a ellas, se ha constatado que el picado y distribución de la paja con la cosechera y su posterior mezclado con el suelo permite una mejor acción de microorganismos descomponedores de la paja y se ha constituido en una alternativa viable, incluso en zonas de secano, y es posible realizar en algunas áreas de mayor y mejor distribución de la pluviometría desde la Región del Biobío al sur. En áreas con seguridad de riego el mezclado de paja con el suelo se puede realizar desde la Región Metropolitana al sur.

Cabe señalar que el concepto "mezcla de rastrojos con el suelo" se refiere a una distribución de la paja en el perfil del suelo, en tanto "incorporación de los rastrojos" se refiere a la labor que realiza un arado de vertedera convencional y que permite

dejar todos los rastrojos en profundidad, con el inconveniente que esta práctica no es la más recomendable para favorecer una descomposición rápida de los rastrojos.

Figura 4.2. Sembradora equipada con disco turbo frontal para sembrar sobre rastrojos.



En el caso del maíz, cuyas cañas no se cortan durante la cosecha, 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 ya está disponible en Chile, como por ejemplo la plataforma de la marca alemana Geringhoff. Los rastrojos de maíz se pueden mezclar con el suelo. También se puede sembrar directamente sobre ellos.

Figura 4.3. Rastrojo de avena (10 t/ha) mezclado con suelo. El Carmen, Ñuble, marzo 2018.



4.4. Descomposición de los rastrojos

La tasa de descomposición de los rastrojos depende de su relación carbono/nitrógeno (C/N), de su manejo y de las características del suelo. Dentro de los factores relacionados con el suelo, la temperatura y humedad son determinantes para la descomposición de los rastrojos.

Desde el inicio de las lluvias, con el rastrojo mezclado con el suelo y con disponibilidad de humedad, se activan los procesos biológicos, donde los microorganismos empiezan a descomponer los rastrojos. En términos prácticos, estos microorganismos reciclan los nutrientes, generando beneficios para el suelo, los cultivos y para la economía del productor. Por lo general, en suelos volcánicos, se está en condiciones de realizar la mezcla del rastrojo con el suelo desde de marzo, con las primeras lluvias, iniciándose el proceso de descomposición de los rastrojos.

Si se desea apurar la descomposición del rastrojo y no causar hambre de nitrógeno al cultivo que se establecerá, es recomendable aplicar 10 kg de nitrógeno por tonelada de rastrojo, si los residuos son de trigo u otros cereales menores, en tanto que si se trata de residuos de maíz, la dosis recomendada es de 7 kg de nitrógeno por cada tonelada de rastrojo que queda en el suelo.

4.5. Manejo de cereales de grano pequeño con manejo de rastrojos

Como se ha señalado, para sembrar con rastrojos se requiere un acondicionamiento previo del suelo y planificar rotación de cultivos y manejo de la paja. No obstante, se debe implementar un manejo agronómico que en su conjunto otorgue las mejores condiciones a los cultivos. En este sentido se debe considerar evaluar la fertilidad de los suelos, realizar barbecho químico, usar variedades mejoradas de alto potencial de rendimiento y controlar malezas. Al menos cada 4 años se debe realizar un análisis de suelo completo y solicitar la recomendación pertinente, en cuanto a nutrientes faltantes, forma y época de aplicación y producción esperada.

El barbecho químico se debe realizar una vez concluido el manejo de la paja y antes de la siembra, una vez emergidas las malezas cuando éstas tengan a lo menos dos hojas expandidas. Se debe aplicar un herbicida de acción total, que elimine todas las malezas, luego de esta aplicación se recomienda no remover el suelo, dado que esta acción promueve la emergencia de nuevas malezas.

Es recomendable utilizar variedades mejoradas de alto potencial de rendimiento porque constituyen un seguro para el productor y, se debe hacer un esfuerzo por

sembrarlas y otorgarles las condiciones para que expresen su potencial. Para ello INIA elabora y entrega a los productores todos los años una cartilla de Recomendación Nacional de Variedades de Trigos Harineros y Candeales. El productor debe prestar atención a esta cartilla identificando la zona para la cual se recomienda cada variedad, su época de siembra más adecuada y la dosis de semilla recomendada. Asimismo, esta cartilla incluye información de características agronómicas y su comportamiento frente a enfermedades, como también las características de calidad de cada variedad.

La época de siembra se debe ajustar a la recomendación para cada variedad, en este sentido una alternativa interesante para trigo de secano en zonas de alta y buena distribución pluviométrica, es utilizar variedades precoces sembradas tarde en junio y/o julio. Por ejemplo, para manejar adecuadamente los rastrojos de avena en la precordillera de Ñuble, se atrasó la época de siembra del trigo hasta mediados de julio, utilizando la variedad Pantera-INA y siguiendo la recomendación de variedades. Los resultados obtenidos demostraron que se puede retrasar la época de siembra hasta mediados de julio en aquellos suelos que no presentan impedimentos para la circulación de la maquinaria agrícola, con el consiguiente beneficio para la descomposición de los rastrojos.

Figura 4.4. Siembra de trigo Pantera-INA sobre rastrojo avena mezclado con suelo, tercera semana julio 2018. El Carmen. Región del Ñuble.



Cuadro 4.1. Rendimiento de trigo Pantera-INIA, sembrada en secano sobre todo el rastrojo de avena picado y mezclado con el suelo (7 a 10 t/ha de rastrojo avena). Costo, ingreso y margen bruto en pesos nominales. Temporadas 2016, 2017 y 2018. El Carmen, Región de Ñuble.

| Fecha de siembra | Rendimiento (qqm/ha) | Pluviometría (mm/año) | Costo, \$/ha, s/IVA | Ingreso, \$/ha | Margen bruto, \$/ha |
|------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|----------------|---------------------|
| 26/07/2016 | 66 | 705,8 | 636.590 | 924.000 | 287.410 |
| 24/07/2017 | 72 | 873,6 | 690.063 | 1.152.000 | 461.937 |
| 18/07/2018 | 90 | 1.016,8 | 839.153 | 1.022.575 | 597.425 |

4.6. Costos del manejo de rastrojos

La quema de los rastrojos tiene costos, ya que es necesario solventar trámites legales y realización de labores de adecuación en el potrero para la quema. Debe considerarse que el Aviso de Quema es obligatorio y se realiza en las oficinas de la Corporación Nacional Forestal (Conaf), encargada de otorgar un comprobante de aviso de quema del que se debe llevar copia a Carabineros y Bomberos.

Para realizar la quema por ejemplo de rastrojo de trigo, se deben construir cortafuegos en el borde del potrero, por lo general cortando la caña de trigo lo más abajo posible, hilerarla hacia adentro y luego rastrear generando una franja sin vegetación en el contorno. Adicionalmente se debe disponer de equipos-estanque con agua para enfrentar cualquier emergencia de incendio y finalmente disponer de personal para manejar el fuego durante la quema del rastrojo.

Un procedimiento especial de Plan de Quemados se debe seguir ante Conaf cuando la ejecución se realiza a orillas de alguna carretera. Entrevistas sostenidas con productores de la precordillera de Ñuble, permitió estimar para la temporada 2016/2017 en \$11.610 el costo de la quema de 1 ha de rastrojos de trigo, cálculo obtenido a partir de un potrero promedio de 10 ha.

No quemar los rastrojos de trigo permite ahorrar los nutrientes perdidos por esta acción, que en trigo alcanza valores de 98% a 100% del nitrógeno, 20% y 40% de fósforo y potasio, y 70% a 90% de azufre. Asimismo, la cantidad de nutrientes de las cenizas perdidas por arrastre, debido a la acción del viento y aguas lluvias se estima en un 50%. El ahorro generado por la no quema y su incidencia en el costo total de las diferentes alternativas de manejo de los rastrojos se indican en el **Cuadro 4.2.**

Cuadro 4.2. Costo económico por la implementación de alternativas de no quema de 7,5 t/ha de rastrojos en trigo. Temporada 2016/2017, \$/ha, valores sin IVA.

| Ítems valorados | Alternativas de manejo | | |
|---|---|---|---|
| | (a) Retiro 50% paja y mezcla remanente con el suelo | (b) Retiro 50% paja y trituración remanente | (c) Picado y esparcido total rastrojo con cosechadora |
| Costo del manejo de rastrojo sin quema, \$/ha | 161.800 | 151.800 | 122.000 |
| Ahorro por la no pérdida de nutrientes sin quema, \$/ha | 37.707 | 34.707 | 69.413 |
| Ahorro por la no quema, \$/ha | 11.610 | 11.610 | 11.610 |
| Costo económico de cada alternativa por no quema, \$/ha | 112.483 | 105.483 | 40.997 |

4.7. Consideraciones finales

Para iniciar cultivos con manejo de rastrojos se debe definir protocolo con procedimientos a seguir para cada micro-ambiente (por rotación, tipo de suelo y el micro-clima correspondiente). El manejo de rastrojos se debe iniciar a la cosecha. Implementar un sistema con manejo de rastrojo sin quema requiere un enfoque de trabajo integral de los cultivos del predio.

Los costos de manejo de rastrojos constituyen una limitante para iniciar la adopción de manejo sin quema. El costo asociado al cambio de quema a manejo de rastrojo sin quema es equivalente a 3,7 - 6,5 qqm/ha de trigo. Sin embargo, de acuerdo a antecedentes internacionales, en el mediano y largo plazo este problema se soluciona por el aumento de la productividad.

Cumpliendo con las exigencias de manejo de los rastrojos y del cultivo de cereales, descritos brevemente en este capítulo, las variedades pueden alcanzar rendimientos aceptables.

Literatura consultada

- 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.
- 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.
- Conaf. Sistema de Asistencia a Quemadas Controladas. Disponible en: <http://pruebas.saq.conaf.cl/login/index.php?nocache=7307960605ade25960a067>
- Crovetto, C. 2002. Cero labranza. Los rastrojos, la nutrición del suelo y su relación con la fertilidad de las plantas. 225 p. Trama Impresores S.A., Talcahuano, Chile.
- Mellado, M. 2006. El trigo en Chile. Cultura, ciencia y tecnología. Colección Libros INIA N°21. 684 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile.
- Riquelme, J., y Saavedra, M. 2015. Manejo de rastrojos de cereales. En Ruiz, C. (ed.) Rastrojos 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 INIA, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile.
- Ruiz, C. (ed.) 2015. Rastrojos 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, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile.
- Ruiz, C., y Villavicencio, A. 2017. Procedimientos para establecer y manejar cultivos sin quema de rastrojos en la precordillera de Ñuble. Ficha Técnica INIA Quilamapu N°1, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile. 2 p. Disponible en <http://biblioteca.inia.cl/medios/fichas-tecnicas/suelos/Ficha01-Suelos-Quilamapu.pdf>
- Ruiz, C. 2018. Costos del manejo de rastrojos de trigo en la precordillera de Ñuble. Informativo INIA Quilamapu N° 137, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile. 3 p. Disponible en: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/informativos/NR40904.pdf>
- Silva, P., Vergara, W., y Acevedo, E. 2015. Rotación de cultivos. En: Ruiz, C. (ed.) Rastrojos 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, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile.

Taladriz, A., y Schwember, A. 2012. Cereales en las zonas centro-sur y sur de Chile, ¿Qué hacer con los rastrojos? Revista N° 46 - Diciembre - 2012. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Santiago, Chile.

Vidal, I., y Troncoso, H. 2003. Manejo de rastrojos en cultivos bajo cero labranza. En: Acevedo, E. (ed.) Sustentabilidad en Cultivos Anuales: Cero Labranza, Manejo de Rastrojos. Serie Ciencias Agronómicas N° 8. p. 57-82. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago, Chile.