



Rastrojos del cultivo del Maíz: elementos a considerar para su manejo

Editores:

Jorge Carrasco Jiménez y Cristian Aguirre Aguilera

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

BOLETÍN INIA / Nº 385



ISSN 0717-4829



Proyecto:
Transferencia desarrollo tecnologías alternativas quema rastrojos maíz



*“INNOVACIÓN,
la clave de la competitividad empresarial”*

Financia

Proyecto financiado a través del Fondo de Innovación para la Competitividad del Gobierno Regional de O'Higgins y su Consejo Regional, enmarcado en la Estrategia Regional de Innovación



Rastrojos del cultivo del Maíz: elementos a considerar para su manejo

Editores

Jorge Carrasco Jiménez
Dr. Ingeniero Agrónomo,
Cristian Aguirre Aguilera
Ingeniero Agrónomo.

INIA RAYENTUÉ
Rengo, Chile, 2018
BOLETÍN INIA N° 385

ISSN 0717 - 4829



Financia

Proyecto:

Transferencia desarrollo tecnologías alternativas quema rastrojos maíz

***“INNOVACIÓN,
la clave de la competitividad empresarial”***

Proyecto financiado a través del Fondo de Innovación para la Competitividad del Gobierno Regional de O'Higgins y su Consejo Regional, enmarcado en la Estrategia Regional de Innovación

Esta publicación forma parte del proyecto FIC “Transferencia de desarrollo tecnologías alternativas quema maíz”, financiado a través del Fondo de Innovación para la Competitividad del Gobierno Regional de O’Higgins y su Consejo Regional, enmarcado en la Estrategia Regional de Innovación, ejecutado por INIA Rayentué.

Editores

Jorge Carrasco Jiménez,
Dr. Ingeniero Agrónomo, INIA Rayentué.
Cristian Aguirre Aguilera,
Ingeniero Agrónomo, INIA Rayentué.

Edición y Revisión de Textos:

Alejandra Catalán Farfán,
Encargada de Comunicaciones, INIA Rayentué.

Directora Responsable

Sofía Felmer Echeverría,
Ing. Agrónomo, Directora Regional INIA Rayentué.

Boletín INIA N° 385

Cita bibliográfica correcta:

Carrasco, J., y Aguirre, C. (eds.) 2018. Rastrojos del cultivo de Maíz: elementos a considerar para su manejo. Boletín INIA N° 385. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional Rayentué. Rengo, Chile. 66p.

© 2018, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, Centro Regional de Investigación Rayentué. Avenida Salamanca s/n, km 105, Ruta 5 Sur, Los Choapinos, Rengo. Región de O’Higgins. Teléfono (72) 2521686. Casilla postal 13, Rengo.

ISSN 0717-4829

Autorizada la reproducción parcial citando la fuente y/o autores

Diseño y Diagramación: Jorge Berríos V.
Impresión: Impresos Gerardo León A.

Cantidad de ejemplares: 500

Rengo, Chile, 2018.

Índice de contenidos

Capítulo 1. Manejo de rastrojos del cultivo de Maíz _____	5
Capítulo 2. Propiedades físicas de los suelos y su relación con la producción de Maíz _____	29
Capítulo 3. Técnicas de manejo mecanizado de rastrojos del cultivo de Maíz y del suelo _____	39
Capítulo 4. Equipos trituradores y picadores de rastrojos de Maíz _____	49
Capítulo 5. Costos asociados al uso de maquinaria para el manejo de los rastrojos y preparación de suelo en el cultivo de Maíz _____	55

Capítulo 1.

Manejo de rastrojos del cultivo de Maíz

Andrea Venegas Sepúlveda

Químico de Suelos Dr.
apvenegas.sepulveda@gmail.com

Jorge Carrasco Jiménez

Dr. Ingeniero Agrónomo,
jcarrasc@inia.cl

Cristian Aguirre Aguilera

Ingeniero Agrónomo
cristian.aguirre@inia.cl

En las últimas décadas, ha existido un constante y significativo aumento en los rendimientos de cereales en el mundo, y Chile no ha sido la excepción. El mejoramiento genético, el manejo agronómico, nuevas y mejores tecnologías, sumado al uso eficiente de fertilizantes y agroquímicos, han generado grandes avances en la producción de estos cultivos, en general.

No obstante, la mejora de rendimientos en los cultivos, también ha incrementado la cantidad de rastrojos, provocado principalmente por el aumento en la productividad.

Se denomina rastrojo o biomasa, 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 (Ruiz y otros, 2015).

Se estima que los cereales, son los cultivos que más residuos de cosecha dejan sobre la superficie del suelo y son considerados además como un material de muy difícil degradación.

En particular, el cultivo del Maíz produce grandes volúmenes de rastrojos, del total de la planta solo el 50% corresponde a grano, el otro 50% esta integrado por hojas, cañas y mazorcas.

Para manejar estos volúmenes de rastrojos, las quemas son la práctica tradicionalmente utilizada para eliminar los residuos de cosecha de manera económica, fácil y rápida, ya que permite una eliminación o reducción de grandes volúmenes de residuos del cultivo, dejando el terreno libre para las labores posteriores de labranza y siembra, además de permitir la disminución de enfermedades y plagas (Taladriz y Schwember, 2012; Ventrella *et al.*, 2016). 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 manejan de esa forma más de 150 mil hectáreas al año (Ruiz y otros, 2015).

Al consultar a los agricultores los motivos por los cuales siguen utilizando la quema de rastrojos (**Figura 1**), ellos señalan que se debe a que permite una labranza del suelo más fácil, por lo cual el costo de la labor es menor, reduce las enfermedades y plagas del suelo, además de las malezas. Sin embargo, esta práctica ha sido ampliamente cuestionada por la comunidad científica y organismos medioambientales y de salud, debido a que genera importantes cantidades de gases y material particulado, lo cual influye considerablemente en los ecosistemas, además del riesgo de incendio que implica este tipo de prácticas (INE, 2007).



Figura 1. Quema de rastrojos agrícola, fuente importante de gases y material particulado contaminante.

Además de lo anterior, existen otras grandes desventajas de la quema de rastrojos, entre ellas se encuentra el aumento de la erosión al dejar totalmente descubierta la superficie del suelo, como consecuencia de ello, lo que incrementa el golpe directo de la gota de lluvia contra el suelo. La erosión del suelo puede superar las 100 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 porción del rastrojo en superficie, este valor disminuye considerablemente (Taladriz y Schwember, 2012).

Desde el punto de vista agrícola, la quema de rastrojos influye negativamente en las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo, reduciendo drásticamente la biomasa microbiana y el contenido de materia orgánica del suelo, lo cual conlleva a la disminución de los niveles de nutrientes y de la calidad del suelo, (Glaser *et al.*, 2002; Limon-Ortega *et al.*, 2009; Taladriz y Schwember, 2012). 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. Se afecta al ecosistema, 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 (Taladriz y Schwember, 2012).

Por otro lado, en un estudio realizado sobre el impacto que generan las quemas, se estimó que la quema de biomasa (tallos, hojas, residuos agrícolas, etc.) produce el 40% del dióxido de carbono, 20% de material particulado, 50% de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) y el 32% de monóxido de carbono emitidos mundialmente (Kambis, A. D. y Levigne, J. S., 1996).

Además de lo anterior, la quema de residuos agrícolas contribuye al aumento de producción de Gases de Efecto Invernadero (GEI), exportando carbono del suelo a la atmósfera en la forma de anhídrido carbónico, CO_2 . Un efecto menos conocido, pero también muy importante, es que la quema de CO_2 también genera otros gases de efecto invernadero; el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O) (Ruíz y otros, 2015).

Desde el punto de vista de la salud pública, las quemas han sido ampliamente cuestionadas debido a la liberación de contaminantes potencialmente carcinógenos y relacionados con enfermedades respiratorias, tal como ha sido documentado por diversos autores (Boopathy *et al.*, 2002; Ribeiro, H. 2008). Otro tipo de contaminante de importancia producido durante las quemas son las dioxinas

y furanos, que se generan por las condiciones de combustión, dependiendo del contenido de plaguicidas clorados en los rastrojos (CCA, 2014). Estudios realizados en este ámbito han demostrado que las emisiones de dioxinas aumentan alrededor de 150 veces, cuando se queman restos de biomasa tratadas con el herbicida 2,4 -D (Muñoz, *et al.*, 2012). Esto es preocupante, si se considera que a las dioxinas se le atribuye efectos cancerígenos, para la salud humana.

De acuerdo a lo anterior, es necesario realizar un manejo adecuado de rastrojos de los cultivos, con el fin de realizar prácticas sustentables desde el punto de vista agronómico y ambiental.

Situación regional

En la Región de O'Higgins, la quema de rastrojos previa a la preparación del suelo es el principal motivo de los agricultores para utilizar el fuego y, se asocia principalmente a pequeños productores. De acuerdo a la información entregada por el Ministerio del Medio Ambiente en su D.S. N° 7/2009, se declaró zona saturada por el material particulado respirable (MP10), al área correspondiente a las comunas del Valle Central de la Región de O'Higgins. La población de la zona saturada representa el 78% del total de la Región de O'Higgins, siendo afectada una población de 688.364 habitantes según estimaciones del INE, producto de la ocurrencia de quemas agrícolas entre los meses de marzo y octubre, que se suma a las emisiones de combustión residencial de leña.

A través de un estudio realizado por INIA el año 2017, a una muestra de 50 productores de Maíz de la Región de O'Higgins, se les consultó ¿qué hace con los rastrojos de ese cultivo?. Se llegó a determinar que un 75% de ellos los incorpora al suelo, un 15% los utiliza para alimentación animal, y un 10% de ellos los quema (Figura 2).

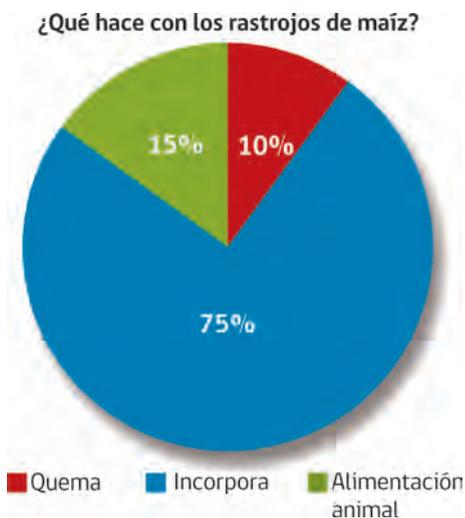


Figura 2. Alternativas de uso de los rastrojos de Maíz, en la Región de O'Higgins

Al consultarles ¿por qué quema o quemaba los rastrojos?, un 84% de ellos responde que lo hacen, porque es el manejo más simple para ellos; y un 15% responde porque no existe disponibilidad de maquinaria para picarlos y triturarlos.

En el mismo estudio, cuando se les consultó a los productores ¿cómo incorpora los rastrojos?, un 7% de ellos lo hace con arados de discos, un 19% utilizando un arado de vertedera, un 28% los pica y tritura con un equipo adecuado para ello, y posteriormente hace la incorporación con rastra; y un 39% de ellos responde que, tanto el picado como el incorporado de ellos, lo hace directamente con rastra de discos.

Un papel importante ha tenido en la Región de O'Higgins, el programa SIRSD-S, del Ministerio de Agricultura, articulado por el SAG y por INDAP, porque en la tabla de costos del programa, incorporan prácticas orientadas al manejo de rastrojos de cereales, que implican la obligación del beneficiario de no quemarlos en ninguna parte del predio. Tales prácticas son las siguientes:

- a) Acondicionamiento rastrojo de cereal (ha):** Incluye gastos de fraccionamiento de rastrojo y aplicación de al menos 23 unidades de Nitrógeno/ha para descomposición. Esta práctica no es compatible con la práctica de "Fraccionamiento de rastrojo (ha)" ni la de "Incorporación de Rastrojo (ha)".
- b) Acondicionamiento rastrojo de maíz (ha):** Incluye gastos de fraccionamiento de rastrojos y aplicación de al menos 30 unidades de Nitrógeno/ha para descomposición. En el caso de labranza tradicional, este valor también incluye los costos derivados de la incorporación del rastrojo al suelo.
- c) Fraccionamiento de rastrojo (ha):** Consiste en la utilización de maquinaria para el picado de los rastrojos, aumentando la superficie de contacto de éstos, facilitando de esta manera su descomposición. Incluye el costo de la maquinaria.
- d) Incorporación de rastrojo (ha):** Considera los costos derivados de la incorporación del rastrojo al suelo.

Alternativas a la quema de rastrojos de maíz

Para el manejo de los residuos de Maíz, el picado y la incorporación de rastrojos de este cultivo al suelo, está siendo una alternativa interesante que está siendo utilizada, por un porcentaje importante de grandes agricultores de la Región de O'Higgins, entre los que se encuentran los que poseen los más altos rendimientos del país, los cuales en algunos casos han llegado a superar los 200 qqm/ha, siendo de los más altos del mundo. Este resultado se ha obtenido, principalmente, en algunos predios de las comunas de Chépica y Santa Cruz, de la Región de O'Higgins, como consecuencia, entre otras labores, de no quemar los rastrojos del cultivo, incorporándolos al suelo en forma sostenida durante los últimos 10 a 15 años.

Al consultar a los productores que han alcanzado los altos rendimientos indicados, sobre las ventajas que les ha significado el picado e incorporación de sus rastrojos al suelo, algunos de ellos han señalado "en los primeros años tuvimos una ligera baja de rendimientos, que se puede atribuir al uso de nitrógeno del suelo requerido para la descomposición de los residuos. Pero con el paso de los años fuimos cada vez aumentando los rendimientos, donde nos fuimos encontrando con un suelo más esponjoso para las labores de aradura y rastraje, sumado al hecho que fue aumentando sostenidamente la fertilidad del suelo, porque existía mayor disponibilidad de nutrientes para los cultivos".

La afirmación anterior, refleja la importancia de lo que significa la incorporación de los rastrojos de Maíz al suelo, y su efecto sobre las características físicas del mismo, que se traduce en un aumento de los rendimientos del cultivo.

Forraje

Los rastrojos de maíz han sido ampliamente utilizados como forraje para animales. Los residuos de maíz tienen un mayor valor alimenticio que otros tipos de rastrojos (paja de Trigo), por lo cual son aprovechados en distintos lugares como alimento para animales. En algunos lugares, el rastrojo puede llegar a ser tan importante como el grano en épocas de escasez alimentaria o sequía, en que los rastrojos pueden ser utilizados para alimentar a los animales (FAO, 2001; Viveros, *et al* 2010). Por ejemplo, en México, país importante en términos de consumo de Maíz para alimentación humana y animal, el rastrojo de maíz ha

sido utilizado comúnmente como fuente de forraje para ganado bovino, en las estaciones secas (Bolaños, 1997). Por ejemplo, en el estado de Chiapas, de este país, específicamente en la región de La Frailesca, el 27 a 30% de los rastrojos son utilizados para la alimentación animal (Reyes-Muro *et al.* 2013).

En América del Norte, de manera usual se utilizan los rastrojos de maíz como alimentación básica para vacas en estado de gestación (Suttie, 2003). Según el reporte de la Red de Estudios del Desarrollo Rural (RED, A.C). En Sudamérica, en Perú, específicamente en el valle de Mantaro, existen reportes de que el 80% de los ganaderos utilizan el rastrojo de maíz, para la alimentación de sus animales, principalmente bovinos (Laforé, 1999).

De acuerdo a lo expuesto, el rastrojo de maíz puede ser utilizado en la alimentación animal, sin embargo, al ser un alimento con bajo contenido en proteínas (inferior al 5%) y un limitado aporte energético (Yescas *et al.*, 2004), investigadores y ganaderos han debido desarrollar tratamientos para mejorar la calidad nutritiva de este tipo de residuos (Reyes-Muro *et al.*, 2013). Dentro de estos tratamientos se encuentran el triturado (tratamiento físico), el cual permite una mejor acción de las enzimas generando una mayor eficiencia de energía (Escobar y Parra, 1980). Otro tratamiento es el uso de urea, lo cual aumenta la digestibilidad de los rastrojos y mejora el contenido de proteínas (Jiménez, 2007).

Generación de energía y combustión

La utilización de rastrojos de cultivos para producir energía (térmica y eléctrica) y biocombustibles es una alternativa viable a la quema de los mismos, evitando de esta manera la contribución a la producción de gases de efecto invernadero que produce esta práctica. Durante la década del 70, ya se consideraba la idea de utilizar los rastrojos de cultivos en la producción de energías para lograr una autosuficiencia energética y no depender exclusivamente de los combustibles fósiles (Larson, 1979; Lindstrom y col., 1981; Larson *et al.*, 1982; Schneuer, D. 2010; Bentsen y otros, 2014).

Varios países han incluido en sus legislaciones el uso de biocombustibles como fuente energética, siguiendo las directrices del protocolo de Kioto (ONU, 1998). Inicialmente el biocombustible producido era llamado de “primera generación” (generado a partir de productos alimenticios como el maíz o la caña de azúcar) y debido al alza de las materias primas a nivel mundial se comenzó a estudiar

el uso de rastrojos de cultivos lignocelulósicos para la generación de biocombustibles de “segunda generación” (Alvira *et al.*, 2010; Martínez Alcalá, 2012; Schneuer, D. 2010; Bentsen y otros, 2014).

El rastrojo de Maíz, es un material lignocelulósico, pero que además contiene otros elementos químicos, entre los que destacan el azufre, que en la combustión produce óxidos de azufre muy corrosivos; calcio y cloro, que producen gases muy ácidos; potasio, que es productor de cenizas que sintetizan y funden; y silicio, productor de cenizas fusibles. Por las características de los productos que se originan de la combustión del rastrojo de Maíz, lo hace más complejo en comparación con las astillas de madera, las que apenas disponen de otros elementos distintos, como C, H, O. Sin embargo, el alto contenido de potasio de las cenizas es una ventaja, pues puede ser empleado como fertilizantes (Camps y Marcos, 2008).

El año 2016, en pruebas realizadas con rastrojos de Maíz, por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, se logró obtener pellet para alimentación animal, con una muy buena aceptación entre animales equinos y bovinos. Se utilizó para ello, un molino-martillo y un equipo peletizador, y como materia prima rastrojos de maíz. El pellet, es el producto del tratamiento de biomasa vegetal, la que luego puede ser utilizada para combustión o para la alimentación de animales, dependiendo del origen de la materia prima.

Los equipos peletizadores son fabricados principalmente en maestranzas nacionales, las que dependiendo de la finalidad, ya sea comercial o doméstico, ofrecen equipos que varían en los kilos de pellet por hora que pueden producir, existiendo desde 100 kg de pellet/hora hasta 300 kg de pellet/hora. Esto abre una posibilidad importante, de producción de pellet, a partir de rastrojos de Maíz.

Cobertura Vegetal

El uso de rastrojos como cobertura vegetal de los suelos es una alternativa viable a la quema de rastrojos en la agricultura. Esta práctica consiste en dejar sobre el terreno los residuos de la cosecha. Los rastrojos pueden ser previamente picados antes de ser dispersos en el suelo, sin ser incorporados, generando una capa de material. Este manejo de rastrojos ha sido ampliamente utilizado en conjunto con la labranza de conservación o la labranza mínima (Panigatti *et al.*, 2001).

En el caso de los cereales, como Trigo, Avena, Cebada, al dejar los rastrojos de ellos sobre la superficie del suelo, permiten una cobertura y protección contra la erosión que se produce por el impacto de las gotas de agua de lluvia. De esta forma, se conserva la humedad del suelo, y mejora la infiltración de agua, además de controlar malezas.

Existe la hipótesis sobre un efecto sinérgico entre las prácticas agronómicas de la cero labranza, manejo de rastrojos, crecimiento económico, y conservación ambiental, ya que al no laborar el suelo y mantener los rastrojos sobre éste, se evita la erosión y aumenta la productividad del mismo, disminuyendo al mismo tiempo la tasa de contaminación ambiental, particularmente de CO₂ (Acevedo y Silva, 2003). En estado de régimen, los sistemas con cero labranza y manejo de rastrojos son económicamente más atractivos que aquellos con labranza tradicional y quema (Acevedo *et al.*, 1998).

Junto con las ventajas anteriormente mencionadas, el uso y manejo de rastrojos permite su aprovechamiento como abono de los cultivos, al aumentar el contenido de materia orgánica del suelo, incrementando de esta manera la fertilidad de los suelos agrícolas (FAO, 2006). Esta práctica ha sido ampliamente utilizada en países de América del Norte, América del Sur y Europa desde hace más de 70 años y, actualmente en el mundo, más de 100 millones de hectáreas son cultivadas utilizando esta práctica (FAO, 2015; Pérez de Ciriza, *et al.*, 2008).

Estudios con el uso de coberturas vegetales de rastrojos de Maíz, han sido realizados por una serie de investigadores quienes evaluaron el efecto de ellas sobre el rendimiento del cultivo (Sosa, 1992; Sosa y Bolaños, 1993). Los investigadores reportaron un efecto negativo de uso de la cobertura vegetal (30 t/ha) sobre el rendimiento de grano de maíz, estableciendo que dicho efecto es atribuido a los cambios en la mineralización e inmovilización del nitrógeno en el suelo.

Un estudio realizado por Zea y colaboradores (1997) en diferentes países de Centroamérica (Guatemala, Nicaragua y El Salvador), evaluó el uso de rastrojos de maíz como cobertura vegetal, adicionando diferentes dosis de nitrógeno al suelo. Los resultados mostraron que el impacto negativo generado por la cobertura vegetal de maíz, disminuye tras la adición de nitrógeno. La cobertura con rastrojos de diferentes cultivos (trigo, cebada e incluso maíz) también está siendo utilizada para proteger los suelos de la erosión producto de la lluvia (Robichaud *et al.* 2003; Lombao *et al.*, 2015).

Picado e Incorporado de los rastrojos

Este manejo de rastrojos, consiste en la no quema de los mismos y la incorporación de los residuos de ellos antes de la siembra del cultivo siguiente. Esta práctica tiene por finalidad mantener o aumentar la materia orgánica, para mejorar las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo. La incorporación de los rastrojos, para aumentar la materia orgánica y evitar la pérdida de nutrientes, ya que estos se van liberando en el suelo a medida que el residuo se descompone por acción microbiológica, e incluso aumentan la disponibilidad de nutrientes, mejorando de esta manera la calidad del suelo y el rendimiento de los cultivos (Dhar *et al.*, 2014).

Para la incorporación de los rastrojos, éstos deben ser picados lo más pequeño posible, lo que permite favorecer el proceso de descomposición en el suelo. Posteriormente, es recomendable realizar una aradura vertical, con arado subsolador escarificado, para romper posibles capas compactadas del suelo, favoreciendo con ello la aireación del suelo, y por consiguiente la descomposición de los residuos (Carrasco *et al.*, 2016).

La incorporación de rastrojos de cultivos al suelo, es una práctica utilizada en varios países alrededor del mundo, como una alternativa a la quema de residuos de cosecha y como una manera de mejorar las condiciones de los suelos agrícolas, además de los rendimientos de los cultivos (Carrasco, *et al.*, 2016; Gangwar *et al.*, 2005; Lethinen *et al.*, 2014; Mandal *et al.*, 2004; Zagal y Morales, 2014; Zhang *et al.*, 2010). Por ejemplo, en la región de los Valles altos de México (Parte del estado de México, Puebla, Hidalgo, Tlaxcala) el uso de la incorporación de rastrojos puede alcanzar el 30% de la superficie cultivada (Reyes-Muro *et al.*, 2013).

Según una encuesta realizada por INIA el año 2014, a un número cercano a 50 productores de maíz, en la Región de O'Higgins, determinó que la rastra de discos es el implemento más utilizado para el picado de la caña luego de la cosecha. Si bien este implemento es el más utilizado, tiene una muy baja eficiencia en el picado y triturado de los rastrojos de Maíz, y si a esto se le suma el realizar la labor con un excesivo contenido de humedad de estos rastrojos, hacen que el uso de este implemento sea poco eficaz.

Trabajos realizados por INIA, han llegado a demostrar que una rastra de discos, utiliza, la mayoría de las veces, un tiempo excesivo en la labor de picado de rastrojos de Maíz, sin llegar a picarlo de un tamaño tal que facilite su descompo-

sición en el suelo. Mientras menor sea el tamaño del rastrojo picado, más rápida y eficiente será su incorporación y descomposición en el suelo.

Lo anterior refleja la importancia de utilizar una picadora – trituradora de rastrojos (**Figura 3**), previo a la incorporación de ellos al suelo, siendo altamente recomendable esta práctica.



Figura 3. Tractor y equipo picador-triturador de rastrojos, en labores de manejo de acondicionamiento de los mismos, previo a su incorporación al suelo.

Un equipo picador-triturador de rastrojos, puede llegar a tener un ancho de trabajo de 3,2 metros, con una demanda de potencia entre 90 a 100 HP, un peso de 1.300 kg, y debe ser accionado por el eje toma de fuerza del tractor (TDF) impulsado a 1.000 rpm, alcanzando de este modo las cuchillas en su giro las 2.150 rpm. Este equipo es el indicado para triturar hierbas, paja, hojas y tallos de maíz, y material leñoso (hasta 6 cm de diámetro).

Además de lo anterior, el picador triturador descrito, a una velocidad de avance de 4 km/h, funciona a 540 rpm en el TDF, con un rendimiento de 5 ha/día, con 8 horas de trabajo diario, siendo operado con un tractor de 140 HP a 1.800 rpm en el motor, tiene un consumo de combustible de 12 l/h (Ruíz y otros, 2015).

Actualmente en el mercado nacional, y como prestadoras de servicios de cosecha para el cultivo de Maíz, existen maquinas trilladoras que incorporan un aditamento picador en el mismo equipo. Esto representa, una gran ayuda y debiese ser contemplado al momento de la contratación de la máquina que realizará la labor de trilla, porque además de cosechar realizará un primer picado del rastrojo en forma simultánea.

Para la incorporación de los rastrojos, existen varias alternativas. El arado de vertedera, el cual es uno de los implementos agrícolas de mayor uso en la producción de maíz en la Región de O'Higgins. Se utiliza para realizar labores de preparación de suelos, para permitir un adecuado establecimiento de los cultivos, y además para incorporar al suelo desechos de cultivos, guanos y fertilizantes. En los cereales, el uso del arado de vertedera permite incorporar los rastrojos que quedan después de la cosecha (panoja o limbos, hojas, corontas, tallos, y raíces). Esta labor es necesaria para facilitar la descomposición de ellos en el suelo, favoreciendo la producción de materia orgánica, y con ello una mejora en las propiedades físicas, químicas, y biológicas del mismo.

Una de las razones que esgrimen algunos productores, para justificar la eliminación de sus rastrojos a través de la quema, es que la descomposición de ellos una vez incorporados al suelo es lenta, y muchas veces se requiere más de una temporada para completar el proceso. Si no están parcialmente descompuestos al momento de la siembra, en la temporada siguiente complican físicamente el proceso de siembra, ya que la semilla no queda totalmente cubierta y en contacto con suelo, lo que favorecería su germinación y emergencia.

Hoy en día, existen disponibles en el mercado nacional equipos especializados en la incorporación de rastrojos. Un ejemplo de ello es la rastra incorporadora de rastrojos, implemento compuesto por dos corridas de discos dentados, con resortes, para trabajo en terrenos pedregosos, y con un rodillo trasero para romper terrones y emparejar la labor realizada.

La conexión de este equipo al tractor, se realiza mediante el tercer punto y la incorporación la realiza entrando al suelo por su elevado peso, cercano a los 2.000 kg, poseedora de discos cóncavos de 610 mm de diámetro, permite aumentar la profundidad de la labranza en comparación con las rastras de discos tradicionales. Se requiere de un tractor de 130 Hp de potencia para trabajar con este equipamiento, que le permite trabajar a velocidades elevadas (hasta 15 km/h) con un riesgo mínimo de obstrucción de suelo o residuos. (Maschio, 2012, en Ruiz, 2015).

Esta irrupción de nueva tecnología para la incorporación de rastrojos, ha permitido incorporarlos en forma más superficial, entre 12 a 15 cm, por lo cual se facilita la descomposición de ellos, por la mayor acción de los microorganismos descomponedores y mayor concentración de oxígeno en el suelo, considerando que la mayoría estos microorganismos son aeróbicos.

Descomposición de los rastrojos

Recientemente, en una revisión realizada por Lethinen *et al.*, (2014) se cuantificó el efecto de la descomposición de los rastrojos de cultivos sobre el carbono orgánico del suelo y la emisión de gases de efecto invernadero a nivel europeo, incluyendo como variables el tipo de rastrojos, contenido de arcillas del suelo, zonas geográficas ambientales, el diseño experimental y tiempo de evaluación. Los investigadores concluyeron que la incorporación de rastrojos es beneficiosa para la captación de carbono orgánico del suelo.

La principal desventaja de la incorporación de rastrojos, así como en su uso como cobertura vegetal, es la inmovilización del nitrógeno, lo cual implica que el nitrógeno inorgánico es fijado en la estructura de los microorganismos del suelo, lo cual disminuye su disponibilidad para las plantas (Gros y Domínguez, 1992). Este proceso ocurre debido a que los rastrojos de cereales tienen un elevado índice C/N y al descomponerse el rastrojo, el nitrógeno de éstos será insuficiente para cubrir las necesidades de los microorganismos y de las plantas, generando una disminución temporal del nitrógeno disponible (Cegarra *et al.*, 1983). Un estudio de campo realizado a largo plazo en Foggia (Italia), concluyó que la incorporación de rastrojos disminuyó el rendimiento del cultivo producto de la fuerte inmovilización de nitrógeno y el bajo contenido de nitrógeno endógeno del suelo (Maiorana, 1998).

Para evitar los problemas de “Hambre de Nitrógeno”, se debe aplicar nitrógeno al momento de incorporar o mezclar el rastrojo, estimulando de esta manera la actividad biológica. En este sentido, Wei *et al.*, (2015) realizaron un estudio para evaluar el efecto de diferentes dosis de rastrojos (0, 3000, 6000 y 9000 kg ha⁻¹) sobre la disponibilidad de nutrientes y la actividad enzimática en zonas semiáridas de China. Los investigadores adicionaron además una dosis de fertilizantes con contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en todos los ensayos realizados. En este estudio se observó un aumento importante en el contenido de nutrientes, carbono orgánico del suelo y carbono lábil, así como un incremento en la actividad enzimática (ureasa, fosfatasa e invertasa) y en el rendimiento del cultivo en función de las dosis de rastrojos utilizadas.

Como una forma de generar información al Programa de Recuperación de Suelos Degradados (SIRSD-S), en INIA Rayentué se realizó un trabajo de investigación para la evaluación del efecto de distintos tratamientos de mezclas de fertilizantes y guanos de ave, como “acelerantes” en la descomposición de rastrojos

de Maíz incorporados al suelo. El grado de descomposición de los rastrojos, se midió a través de la presencia en el suelo de ácidos húmicos (Stevenson, 1982), moléculas complejas, formadas por la descomposición de la materia orgánica, siendo la parte más activa de ella, en términos de poseer una alta capacidad de intercambio catiónico y mayor capacidad de retención de agua.

De acuerdo a lo anterior, en la Región de O'Higgins, el año 2015, en un predio agrícola ubicado en el ex Fundo Santa Elena, comuna de Chimbarongo, en un suelo de textura Franco arcillo limoso, donde se había cosechado Maíz, por lo cual después de la cosecha quedó sobre la superficie del terreno un volumen importante de rastrojos del cultivo, se realizó un ensayo de campo, con los siguientes tratamientos:

- T1 : 400 kg/ha de abono Pampa 34.
- T2 : 200 kg/ha de Urea.
- T3 : 300 kg/ha de Urea.
- T4 : 5 ton/ha de guano de ave.
- T5 : 400 kg/ha de abono Pampa 34 + 200 kg/ha de Urea.
- T6 : 400 kg/ha de abono Pampa 34 + 300 kg/ha de Urea.
- T7 : 400 kg/ha de abono Pampa 34 + 5 ton/ha de guano de gallina.
- T8 : Testigo.

En el ensayo de campo, se incorporó la urea, por estar incluida en la tabla de costos del programa SIRSD-S, para el acondicionamiento de rastrojos de Maíz, por lo cual es la alternativa nitrogenada autorizada para facilitar la descomposición de ellos.

Por otro lado, el Pampa 34 se consideró entre los tratamientos, porque es un fertilizante existente en el mercado nacional, proveniente de las calicheras, que posee principalmente un adecuado equilibrio de microelementos para el suelo como Boro, Zinc, Hierro, Silicio, Selenio, Yodo, y otros; además de macroelementos como Azufre, Calcio, Potasio, y Magnesio.

El establecimiento de los distintos tratamientos de fertilizantes y guano de ave, se hizo en el mes de mayo, aplicándolos sobre los rastrojos picados de Maíz en el suelo, antes de su incorporación. Para ello se estableció un ensayo de campo con un diseño experimental de bloques al azar, donde cada uno de los tratamientos indicados, se ubicaron en parcelas de 24 m² (6 x 4 m), en un espacio de terreno de 200 m² por bloque. Esto se repitió 4 veces, es decir, se ubicaron en el campo 4 bloques de 200 m² estableciendo la totalidad de los 8 tratamientos, por lo

cual el ensayo incorporó 32 parcelas experimentales, y se optó por un diseño de bloques al azar, porque permite obviar el efecto del suelo sobre cada uno de los tratamientos.

Independiente de la aplicación de cada tratamiento de fertilizante orgánico, como inorgánico, el agricultor agregó una mezcla de fertilizantes que incorporó al momento de la siembra del Maíz, una dosis de 150 kilos de nitrógeno por hectárea, 90 kilos de P_2O_5 , y 100 kilos de K_2O . Posteriormente, se hizo una segunda aplicación de Nitrógeno, previo a la aporca del cultivo (7 a 8 hojas), en dosis de 100 kg/ha. En el mes de abril del año siguiente, se cosechó el Maíz, evaluando cada uno de los tratamientos para determinar el rendimiento en qqm/ha.

Cada uno de los tratamientos de Urea, Pampa 34, y guano de ave, se realizaron con el objeto de comparar y contrastar el efecto de ellos en la descomposición de rastrojos, actuando como un elemento "acelerante" del proceso. Estos productos se aplicaron al voleo, tal como lo haría un agricultor bajo condiciones de campo, en cada superficie indicada. Una vez concluida esta tarea, se procedió a picar e incorporar parcialmente los rastrojos con una rastra de discos, para posteriormente efectuar la incorporación de ellos con un arado de vertedera, además de cada uno de los tratamientos de fertilizantes aplicados.

Los distintos fertilizantes, se aplicaron en forma individual en las dosis indicadas, además de las mezclas entre ellos, según los tratamientos indicados, con el objeto de evaluar el efecto de ellos sobre la descomposición de los rastrojos, que se hizo a través de la determinación de ácidos húmicos del suelo, para lo cual se tomaron muestras del mismo y para cada tratamiento, a los 140 días de realizada la incorporación, es decir en el mes de septiembre del año 2015. Para la evaluación, las muestras de suelo se tomaron considerando la profundidad 15 a 25 cm, con la idea de llegar a la profundidad que alcanzan las labores de rastraje, con rastra de discos, y de aradura con vertedera, al momento de la labor de incorporación de rastrojos. Posteriormente, cada una de ellas se analizaron en el laboratorio de suelos del Centro Regional Rayentué, comuna de Rengo.

Para lo anterior, se implementó la técnica de determinación del grado de descomposición de la materia orgánica del suelo, mediante extracción alcalina, con el fin de obtener el ácido húmico de los suelos cultivados con Maíz, bajo diferentes tratamientos de manejo de rastrojos de ese cultivo. Esto en consideración a que una mayor descomposición de la materia orgánica, implica una mayor concentración de ácidos húmicos.

En el **Cuadro 1**, se ilustra el rendimiento en el cultivo de Maíz, expresado en quintales métricos por hectárea, de los distintos tratamientos de fertilizantes inorgánicos, como orgánicos, aplicados al suelo para acelerar el proceso de descomposición de rastrojos, del ensayo de campo establecido en un predio agrícola del ex Fundo Santa Elena, de la comuna de Chimbarongo. Además, se muestra la significancia estadística ($P \leq 0,05$) del rendimiento de cada uno de los tratamientos.

Cuadro 1. Rendimiento de Maíz (qqm/ha), ensayo de manejo de distintas combinaciones de fertilizantes inorgánicos y orgánicos, para “acelerar” la descomposición del rastrojo del cultivo incorporado al suelo. Chimbarongo, temporada 2015-2016.

Tratamientos	Rendimiento promedio (qqm/ha)	Significancia estadística $P \leq 0,05$
T6 Urea (300 kg)+ Pampa 34 (400 kg/ha)	173,4	a
T5 Urea (200 kg)+ Pampa 34 (400 kg/ha)	169,9	ab
T3 Urea (300 kg/ha)	168,3	ab
T2 Urea (200 kg/ha)	167,2	b
T7 Guano (5 ton)+ Pampa 34 (400 kg/ha)	163,1	bc
T4 Guano (5 ton)	159,9	c
T1 Pampa 34 (400 kg/ha)	155,6	c
T8 Testigo	148,6	d

En el cuadro se aprecia que los tratamientos T1, T4, T7, T2, T3, T5 y T6 muestran diferencias estadísticamente significativas en relación al Testigo (T8), con rendimientos de 155,6; 159,9; 163,1; 167,9; 168,3; 169,4; y 173,4 qqm/ha, respectivamente.

En el Cuadro 1, se observa que T6, con un rendimiento de 173,4 qqm/ha, es estadísticamente significativo a los tratamientos T2 (167,2 qqm/ha), T7 (163,1 qqm/ha), T4 (159,9 qqm/ha), T1 (155,6 qqm/ha), y al testigo T8 (148,6 qqm/ha). Sin embargo, este tratamiento es igual estadísticamente a los tratamientos T5 y T3, que alcanzaron rendimientos de 169,4 y 168,3 qqm/ha, respectivamente. De acuerdo a esto, la mezcla de Urea + Pampa 34, resultan ser una adecuada combinación, del punto de vista nutricional, para alcanzar buenos rendimiento del Maíz, por el aporte de nutrientes Magnesio, Azufre, y microelementos que hace Pampa 34, que se suma al aporte de nitrógeno que realiza la Urea.

De acuerdo a los resultados promedios de rendimiento de Maíz, se encontró que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos T5, T3, T2, y T7, con los rendimientos 169,4 qq/ha, 168,3 qq/ha, 167,2 qq/ha y 163,1 qq/ha, respectivamente. No existen diferencias estadísticamente significativas entre el T5 y el T2, si se considera que el primero aportaba 200 kg de Urea + 400 kg de Pampa 34, y el segundo sólo 200 kg/ha. Esto se puede explicar por el hecho que el agricultor, hizo un aporte nutricional de nitrógeno, fósforo y potasio al momento de la siembra del Maíz, como de nitrógeno al momento de la aporca del cultivo.

La **Figura 4**, muestra los niveles de ácido húmico encontrados en los distintos tratamientos de manejo de rastrojos del cultivo de Maíz, evaluados a partir de muestras de suelo tomadas a una profundidad de 15 a 30 cm.

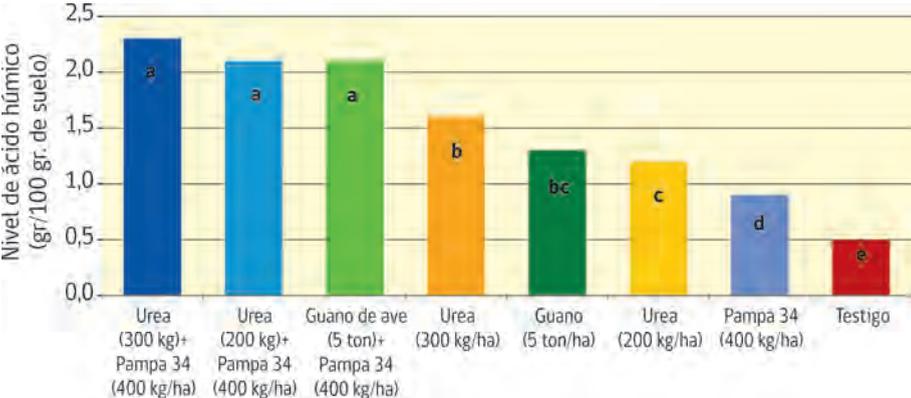


Figura 4. Nivel de ácidos húmicos (gr/100 gr. de suelo) de un suelo con rastrojos de Maíz, sometido a distintas alternativas de “acelerantes” para su descomposición. Chimbarongo, temporada 2015-2016.

(Nota: rendimientos seguidos por una letra distinta, indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos).

Se encontró que los tratamientos T5, T6 y T7, respectivamente, alcanzaron niveles de ácido húmico promedio de 2,3; 2,1 y 2,1 gr en 100 gr de suelo, mostrando diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$) en relación a los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T8, que se observa en la Figura 4 con las letras que indican lo señalado. Estos últimos tratamientos, mostraron niveles de ácido húmico por debajo de 1,7 gr en 100 gramos de suelo.

Lo anterior significa que las mezclas de Urea + Pampa 34, ya sea en dosis de 300 kilos/ha de Urea + 400 kg/ha de Pampa 34, o de 200 kilos/ha de Urea + 400 kg/ha

de Pampa 34, es igual a la aplicación en mezcla de una dosis de 5 toneladas de guano de gallina/ha + 400 kg de Pampa 34, en términos de lograr el mismo nivel de descomposición de los rastrojos de maíz incorporados al suelo. Esto quedó de manifiesto con los resultados de producción de ácidos húmicos encontrados en 100 gr de suelo.

Lo anterior, demuestra que cualquiera de estos tres tratamientos, permite lograr un eficiente nivel de descomposición de rastrojos de Maíz en el suelo, y cada uno de ellos incorporando una mezcla que contiene 400 kg/ha de Pampa 34. Por ejemplo, de acuerdo a los resultados del ensayo de campo, se tiene que con la mezcla de 300 kg/ha de úrea + 400 kg/ha de Pampa 34, se produce un nivel de descomposición de rastrojos que alcanza a los 2,3 gr de ácidos húmicos en 100 gr de suelo. Esto significa un 30% más de ácidos húmicos, por sobre la alcanzada con la aplicación de Urea en dosis de 300 kg/ha, con la que se alcanzó una producción de 1,6 gr en 100 gramos de suelo. Del mismo modo, para la descomposición de rastrojos de Maíz, se alcanza un 38% más de ácidos húmicos con la aplicación de la mezcla de guano de gallina + Pampa 34, en dosis de 5 ton/ha y 400 kg/ha, respectivamente, con relación a la aplicación de 5 ton/ha de guano de ave.

Por otro lado, entre los tratamientos T3 y T4, no hubo diferencias estadísticamente significativas, siendo iguales entre ellos en la producción del mismo nivel de ácidos húmicos en el suelo. Esto significa que con aplicaciones de 300 kg/ha o 5 toneladas/ha de guano de gallina, a los rastrojos de Maíz esparcidos sobre la superficie del terreno, previo a su picado e incorporación al suelo, permitirán a estos alcanzar el mismo nivel de eficiencia en su descomposición. Sin embargo, el tratamiento T3, mostro diferencias significativas, en el valor promedio de producción de ácido húmicos, en relación a los tratamientos T2, T1, y Testigo (T8). Esto significa que es más recomendable aplicar 300 kg/ha de Urea para favorecer la descomposición de rastrojos de Maíz, que aplicar sólo 200 kg/ha del mismo fertilizante, o solamente 400 kg/ha de Pampa 34.

Con los resultados de este trabajo, se puede concluir que el mayor grado de eficiencia en la descomposición de los rastrojos de Maíz, se alcanza con la aplicación de Pampa 34, en dosis de 400 kg/ha, en mezcla con Urea, ya sea en dosis de 200 y 300 kg/ha. De igual forma, la mezcla de Pampa 34 + guano de ave, es una alternativa comparable a las mezclas de Urea + Pampa 34, si se busca conseguir eficiencia en la descomposición de los rastrojos, del punto de vista de la producción de ácidos húmicos.

Bioinoculantes

Hoy en día, los mercados ofrecen nuevos productos para acelerar el proceso de descomposición de los rastrojos de los cultivos. Los llamados Bioinoculantes o enmiendas microbiológicas son formulaciones que contienen una gran cantidad de microorganismos, además de ciertos metabolitos propios de ellos. Estas formulaciones son incorporadas al suelo, con el fin de aumentar la población presente de microorganismos en el suelo y conseguir una mejor descomposición de la materia orgánica.

Para aumentar la efectividad de este bioinoculante, se recomienda que los rastrojos sean previamente picados con un equipo picador-triturador de rastrojos, con el fin de que tenga una mayor superficie de contacto para que los microorganismos trabajen en su descomposición en el suelo. La aplicación del bioinoculante, idealmente de formulación líquida, se debe realizar con un equipo pulverizador de barra, asegurando que toda la superficie quede efectivamente mojada y de manera uniforme. Luego de esto, utilizar un arado de inversión, o una rastra, para incorporar el rastrojo inoculado y mezclarlo con el suelo del terreno (Lundsted, J. 2014).

Bibliografía

- Alvira, P., Tomás Pejó, E., Ballesteros, M., Negro, M.J., 2010.** "Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A review." *Bioresource Technology* 101, 4851-4861.
- Bentsen, N., Felby, C., Thorsen, B., 2014.** Agricultural residue production and potentials for energy and material services. *Energy Combust. Sci.* 40, 59-73.
- Bolaños, J.A. 1997.** Síntesis de resultados experimentales: 1993-1995. Guatemala. CIMMYT. PRM. Series: CIMMYT Programa Regional de Maíz para Centro América y el Caribe (PRM): Síntesis de Resultados Experimentales.
- Boopathy, R.; Asrabadi, B. R.; Ferguson, T. G. 2002.** Sugar Cane (*Saccharum officinarum* L) Burning and Asthma in Southeast Louisiana, USA. *Environ. Contam. Toxicol.* (2002) 68: 173.

Camps, M. y Marcos, F. 2008. Los Biocombustible. 2º ed. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, España. 384 p.

CCA (2014). La quema de residuos agrícolas: fuente de dioxinas, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, Canadá, 6 pp.

Cegarra, J.; Hernández, T.; Costa, F. 1983. Adición de residuos vegetales a suelos calizos.V. Influencia sobre el desarrollo vegetal. Anales de Edafología y Agrobiología 42 (3-4), 545-552.

Dhar, D.; Datta, A.; Basak, N.; Paul, N.; Badole, S.; Thomas, T. 2014. Residual effect of crop residues on growth, yield attributes and soil properties of wheat under rice-wheat cropping system. Indian J. Agric. Res. 48 (5) 373-378.

Escobar, A. y Parra, R. (1980). Procesamiento y tratamiento físico-químico de los residuos de cosecha con miras al mejoramiento de su valor nutritivo. En: Estrategias para el uso de residuos de cosecha en la alimentación animal: memorias de una reunión de trabajo efectuada en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. pp. 93-130.

FAO, 2001. Mixed crop-livestock farming. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.

FAO, 2006. Manejo de Rastrojos y Labranza Conservacionista. Organización de las Naciones Unidas para agricultura y la alimentación. FAO. Disponible en: <http://teca.fao.org/es/read/3785> Ingreso: Oct 15 2017.

FAO, 2015. Agricultura de Conservación. Organización de las Naciones Unidas para agricultura y la alimentación. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/ca/es/11.html> Ingreso: Oct 13 2017.

Gangwar, K.S.; Singh, K.K.; Sharma, S.K.; Tomar O.K.2006. Alternative tillage and crop residue management in wheat after rice in sandy loam soils of Indo-Gangetic plains. Soil Res, 88, 242-25

Glaser, B.; Lehmann, J.; Zech, W.; 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal-a review. Biol.Fertil. Soils 35, 219-230.

- INE. 2007.** Instituto Nacional de estadísticas. VII Censo Silvoagropecuario 2007.
- Gros, A.; Dominguez, A. 1992.** Abonos guía práctica de la fertilización. 8va. edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 450 p.
- Jiménez, R. (2007).** Uso de desperdicios de tubérculos de papa y de rastrojos de maíz tratados con urea en la alimentación estratégica de ovinos, (tesis de maestría). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Medicina Veterinaria, Lima Perú.
- Laforé, M.E. 1999.** Diagnóstico alimenticio y composición químico nutricional de los principales insumos de uso pecuario en el Valle del Mantaro. Tesis para optar el Título de Médico Veterinario. UNMSM. Lima. 90 p.
- Larson, W.E. 1979.** Crop residue: energy production on erosion control. J Soil Water Conserv., 34: 74-6.
- Larson, W.E, Swan JB, Pierce FJ. 1982.** Agronomic implications of using crop residues for energy. In: Lockertz, W. editor. Agriculture as a producer and consumer of energy. AAAS Selected Symposium, vol. 78; 91- 122.
- Limon-Ortega, A.; Govaerts, B.; Sayre, K.D. 2009.** Crop rotation, wheat straw management, and chicken manure effects on soil quality. Agron. J. 101 (3),600-606.
- Lindstrom MJ, Gupta SC, Onstad CA, Holt RF, Larson WE.** Crop residue removal and tillage-effects on soil erosion and nutrient loss in the corn belt. US Dept of Agric, Agriculture Information Bulletin, vol. 442.
- Lombao, A.; Díaz-Raviña, M.; Martín, A.; Barreiro, A.; Fontúrbel, M.T.; Vega, J.A.; Fernández, C.; Carballas, T. 2015.** Influence of straw mulch application on the properties of a soil affected by a forest wildfire. Spanish Journal of Soil Science, 5, 1, 26-40.
- Lundstedt, J., 2014.** Recomendaciones para manejar los rastrojos y bioinoculantes en el campo. Revista del Campo, marzo, artículo N°3.
- Maiorana, M., 1998.** Interramento dei residui colturali di frumento duro. Inf. Agrar.54, 41-45.

- Maschio, 2012.** PRESTO UFO, Padoba, Italia 20 p.
- Martínez Alcalá, A., 2012.** Tesis Doctoral: "Producción de bioetanol: mejora del proceso a partir de grano de cereal y de biomasa lignocelulósica tratada con steam explosion." Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid.
- Muñoz, M.; Gullet, Brian K.; Touati, A.; Font, R. 2012.** Effect of 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid (2,4-D) on PCDD/F Emissions from Open Burning of Biomass. *Environmental Science & Technology*, 46 (17), 9308-9314.
- ONU. 1998.** Protocolo de Kyoto de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Organización de las Naciones Unidas.
- Panigatti, JL; H Marelli & D Buschiazzo (eds.). 2001.** Siembra Directa II. INTA. Buenos Aires. Argentina. 377 pp.
- Pérez de Ciriza, J.J.; Delgado, J.; Lafarga, A. 2008.** Agricultura de conservación en Navarra. *Revista No laboreo* 12-18.
- Reyes-Muro, L.; Camacho-Villa, T. C.; Guevara-Hernández, F. (2013).** Rastrojos: manejo, uso y mercado en el centro y sur de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico Núm. 7. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México. i-viii, 1-242.
- Ribeiro, H. 2008.** Sugar cane burning in Brazil: respiratory health effects. *Rev. Saúde Pública* vol. 42, N° 2.
- Robichaud, P.R.; McDonald, L.; Freeouf, J.; Neary, D.; Martin, D. Ashmun, L. 2003.** Postfire rehabilitation of the Hayman Fire. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-114. 293-313.
- Ruiz, C. Wolf, M. y Claret, M. 2015.** Rastrojos de cultivos anuales y residuos forestales. En: Ruiz (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, Chillán, Chile.

- Schneuer, D. 2010.** Estudio exploratorio para la producción de bioetanol y co-productos de biorefinería, a partir de rastrojos de Maíz. Memoria de Título. Universidad de Chile Santiago, Chile. 112p
- Stevenson, F. J. 1982.** Humus Chemistry. Genesis, composition, Reaction. John Wiley and Sons, New York. 443 p.
- Suttie, J.M. 2003.** Conservación de heno y paja para pequeños productores y en condiciones pastoriles. Organización de las Naciones Unidas para agricultura y la alimentación. FAO. Roma.
- Taladriz, A.; Schwember, A. 2012.** ¿Qué hacer con los rastrojos? *Agronomía y Forestal*, 46, 25-29.
- Ventrella, D.; Stellacci, A.; Castrignanó, A.; Charfeddine, M.; Castellini, M. 2016.** Effects of crop residue management on winter durum wheat productivity in a long-term experiment in Southern Italy, *European Journal of Agronomy*, 77, 188
- Zhang, J.; Wen, X; Liao, Y.; Liu, Y. 2010.** Effects of different amounts of maize straw returning on soil fertility and yield of winter wheat. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*. 16, 612-619.

Capítulo 2.

Propiedades físicas de los suelos y su relación con la producción de Maíz

Jorge Carrasco Jiménez,

Dr. Ingeniero Agrónomo,

jcarrasc@inia.cl

Cristian Aguirre Aguilera,

Ingeniero Agrónomo

cristian.aguirre@inia.cl

Luis Silva R.,

Técnico Agrícola

lsilva@inia.cl

1. Introducción

Las propiedades físicas de los suelos agrícolas, determinan en gran medida, la capacidad productiva de los usos a los que el hombre los somete. La condición física de un suelo, determina principalmente, la capacidad de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje, y la capacidad de retención del agua, entre otras.

Se considera necesario para los productores de Maíz, conocer las propiedades físicas del suelo más relevantes, para entender cómo influyen en el crecimiento de las plantas, de qué forma la actividad agrícola puede llegar a modificarlas, y comprender la importancia de mantener las mejores condiciones físicas del suelo posibles, para un óptimo desarrollo del cultivo.

En las áreas regadas de nuestro país, es común la producción de Maíz, siendo la aradura con arados de discos o vertedera una de las labores fundamentales de preparación de suelos, para el establecimiento del cultivo. Esta labor se realiza

cada temporada, para cumplir con dos objetivos fundamentales, el primero preparar el suelo para la siembra, y el segundo incorporar rastrojos del cultivo de la temporada anterior

Sin embargo, el laboreo con arados de vertedera y discos puede generar problemas en el suelo, porque modifican principalmente las propiedades físicas del mismo, afectando con ello su estructura, al provocar una degradación del mismo por aumento de la compactación, entre otros problemas, lo que se traduce en una menor calidad de producción de los cultivos. Los problemas de compactación del suelo, se manifiestan como un endurecimiento del mismo denominado como “pie de de arado”, que se produce normalmente a partir de los 20 cm de profundidad aproximadamente, y entre esa profundidad y los 40 cm, reduciendo la infiltración del agua y la oxigenación del suelo, además de afectar el crecimiento de las raíces de los cultivos.

En este capítulo se analizará la importancia de las propiedades físicas del suelo más relevantes, y su relación con las prácticas de manejo del mismo, en los cultivos de Maíz de la Región de O'Higgins. Incluye un análisis de los equipos de labranza que se utilizan comúnmente, y los efectos de estos sobre sus propiedades físicas.

2. Labranza y compactación de suelos

La labranza del suelo en la producción de cultivos es una labor fundamental que involucra su remoción con arados, y rastras accionados por tracción animal o mecanizada. Para la producción de cultivos, es una actividad que se viene realizando desde hace miles de años, que ha pasado por una transformación completa debido a que en la época que apareció el hombre y empezó a practicar la agricultura, se labraba con las manos, palos afilados, y herramientas rudimentarias, pasando por el arado de madera, arado de fierro, hasta las herramientas mecanizadas que se utilizan hoy en día.

Según Tapela y Colvin (2002), las prácticas de labranza tienen múltiples propósitos, incluyendo la preparación de la cama de siembra para la germinación de semillas y crecimiento de las plantas. También cumple los objetivos de controlar las malezas, manejar e incorporar los residuos superficiales de los rastrojos, contribuir al control de plagas y enfermedades en las plantas, mejorar la condición física del suelo rompiendo los horizontes endurecidos y ayudar a incorporar los fertilizantes y enmiendas orgánicas. (Souza y otros, 2006; Novaes Filho y otros, 2007).

Algunos autores sostienen que las labores de preparación de suelos a través de la aradura con arados de vertedera y discos, ha tenido un gran impacto sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos agrícolas, provocando su degradación (Hill 1990; Buschiazzi y otros, 1998; Husnjak y otros, 2002; Tapela y Colvin 2002; Liebig y otros, 2004). Del punto de vista de las propiedades físicas del suelo, estos equipos pueden originar problemas de compactación o “pie de arado” del mismo, que se produce por el “tránsito” de tractores, además de los arados, en la labor de labranza.

En un contexto agronómico, un suelo se considera compactado cuando la porosidad total es baja y sin aireación, con una densidad aparente alta y poros pequeños, que impiden la penetración de las raíces de los cultivos y agua de riego. Al limitar la penetración de las raíces, se afecta seriamente la habilidad de las plantas, en este caso de Maíz, para absorber agua del subsuelo (Carrasco y otros, 2010).

La compresión de las partículas de suelo, como arenas, limos y arcillas, causada por el efecto de la maquinaria agrícola, como labores de aradura con arados de discos o de vertedera, y rastras de discos, genera un reagrupamiento de ellas donde los espacios porosos del suelo llegarán a ser menores, originándose una condición de compactación.

Los suelos cultivados con Maíz, no son la excepción a la realidad descrita, por lo cual un productor debe conocer, antes del inicio de una nueva temporada del cultivo, las condiciones del suelo del terreno, en particular si existen problemas de compactación o “pie de arado”, y existencia de mal drenaje, entre los más importantes.

3. Compactación de suelos (pie de arado)”

Hill (1990), señala que en un contexto agronómico un suelo se considera compactado cuando la porosidad total es baja y sin aireación, con una densidad aparente alta y presencia de poros pequeños, que impiden la penetración de las raíces de los cultivos y el drenaje del suelo. Abu-Hamdeh (2003) definió la compactación del suelo como el efecto de “embalaje” de fuerzas aplicadas. Este efecto de embalaje, disminuye la porosidad e incrementa la densidad aparente del suelo.

Algunos autores señalan que el paso sistemático del tractor y los equipos de laboreo, producen la formación de un “pie de arado” a una cierta profundidad

en el perfil del suelo, lo que impide el desarrollo de las raíces en profundidad. Una de las principales causas de la compactación de los suelos durante el período de crecimiento del cultivo, es la rueda de los tractores agrícolas, que ejerce altas presiones (concentradas superficialmente) sobre el suelo y que se transmiten a través del perfil causando la compactación en el subsuelo (Liebig, 2003, Carrasco, 2008).

3.1. La densidad aparente y porosidad del suelo como medida de compactación

Densidad aparente, es la relación que existe entre el peso seco (105° C) de una muestra de suelo, y el volumen que esa muestra ocupaba en el suelo (Carrasco, 2008). La densidad aparente es uno de los parámetros más indicativos de la compactación del suelo (Utset y Cid 2001; Husnjak , 2002, Abu-Hamdeh 2003).

Algunos autores, proponen como densidades aparentes óptimas para el crecimiento de las raíces de una amplia gama de cultivos, valores de 1,50; y 1,60 g/cm³, para suelos franco-arenoso y arenoso-franco, respectivamente.

La porosidad del suelo, se define como “el volumen de aire y agua contenido en una unidad de volumen de suelo. La porosidad es una medida del tamaño y el número de huecos de aire, y los cambios de ellos indican daños estructurales. Es una característica que está íntimamente ligada con la densidad aparente, con la capacidad de aireación y con la capacidad de retención de humedad del suelo. La porosidad depende, entre otros, de la textura, de la estructura, contenido de materia orgánica, del laboreo y otras características del suelo (Lamande, 2003, Carrasco, 2008).

Se relaciona la *porosidad* total y el tamaño de los poros con un estado físico dado, haciendo referencia al concepto de macro y microporosidad para poder comparar las condiciones de diferentes tipos de suelos (Carrasco, 2008), siendo los macroporos aquellos poros continuos que permiten que el agua circule y que las raíces penetren e integran la *macroporosidad* del suelo que, en su mayor parte permanece ocupada por aire. Poseen un tamaño mayor a las 30 micras (μm), y favorecen el transporte del agua y los solutos, además del aire, además de actuar como canales de drenaje a través del suelo.

Lo anterior, hace necesario realizar una prospección en predios cultivados con Maíz, con el objeto de establecer el efecto del manejo de suelo, en particular de

las labores de aradura y rastraje, sobre algunos parámetros de las propiedades físicas de suelo, que incluyen densidad aparente, macro porosidad, y conductividad hidráulica saturada.

3.2. Caracterización física de suelos a través de calicatas

La observación y el reconocimiento de un terreno previo a la plantación de cultivos anuales, como Maíz, es una práctica recomendable para asegurar un adecuado establecimiento y desarrollo de las plantas. El propósito básico es observar si existen las condiciones adecuadas del suelo para el desarrollo de las raíces de las plantas, como algún grado de compactación, que además esté afectando la infiltración del agua en el perfil del mismo (Carrasco y otros, 2010).

La manera recomendada de conocer la aptitud de un suelo es por medio de la observación de calicatas (**Figura 1**), excavación realizada en el suelo, para estudiarlo en estado natural, empleada normalmente para estudios edafológicos o pedológicos de un terreno. Sin embargo, perfectamente pueden ser usadas para facilitar el reconocimiento directo del suelo que se desea evaluar y, por lo tanto, es el método de exploración recomendado que entregará la información necesaria, que permitirá definir la presencia de algún impedimento físico, como pie de arado, que limitará el desarrollo del cultivo a establecer. En el caso del cultivo de Maíz, esta información será muy favorable para definir labores que permitan corregirlo, como lo es el uso del subsolado o escarificado del suelo.

En la producción de cultivos, para la observación de suelos se recomiendan excavaciones de 0,8 metros de profundidad, por 1 metro de ancho y 1 metro de largo, a fin de permitir una adecuada inspección visual de las



Figura 1. Calicata, excavación hecha en el terreno, para la inspección directa del suelo.

paredes de la calicata. Esta excavación, además de la inspección visual, permitirá, la toma de muestras de suelo en las distintas estratas del mismo.

El número de calicatas a abrir en una superficie de terreno depende de la variabilidad del suelo, siendo lo habitual abrir dos a tres por cada cinco hectáreas de terreno a sembrar, las cuales deberían distanciarse entre sí unos 70 a 80 metros.

En el caso de potreros donde se ha cultivado Maíz por años, donde se ha realizado cada temporada la labor de labranza con arados de disco o vertedera, al inspeccionar el suelo a través de una calicata es posible encontrar entre los 20 y 40 cm de profundidad, una capa compactadas o "pie de arado", condición que dificultan la infiltración del agua en el perfil del suelo, además de la oxigenación de las raíces de un cultivo establecido.

Una forma práctica, para comprobar la existencia de compactación de suelos en una calicata, es utilizando un cuchillo con punta, que se utiliza sosteniéndolo con la mano y ejerciendo presión con la punta de él en las paredes de ella, evaluando la resistencia que opone el suelo a la penetración de la punta aguzada de éste (Carrasco y otros, 2010). Si existiese pie de arado, comúnmente ubicado en una profundidad entre los 25 y 35 cm. aproximadamente, con bastante seguridad se detectará al percibir una mayor resistencia del suelo a ser penetrado por la punta del cuchillo (Carrasco y otros, 2010).

Las calicatas, además de la inspección visual del terreno "in situ", permiten tomar muestras de suelo a distintas profundidades, además de realizar alguna evaluación de campo, como la observación y distribución del agua de riego en el perfil de suelo. Si se toman muestras de suelos en una calicata, y se llevan a un laboratorio, la compactación se evalúa a través de diferentes parámetros de medición, siendo los más comunes la densidad aparente, la macroporosidad, la porosidad total, la resistencia del suelo a la penetración, y la conductividad hidráulica, entre otros.

5. Evaluación de compactación de suelos (pie de arado) en suelos cultivados con Maíz

En distintos predios productores de Maíz, de las comunas de Santa Cruz y Peralillo, se hicieron evaluaciones de suelos a través de calicatas, desde donde a distintas profundidades se obtuvieron muestras de suelo para análisis de labo-

ratorio (**Figura 2**), donde se determinaron 4 parámetros físicos que definen el estado estructural del mismo, en muestras sin disturbar. Los parámetros físicos evaluados en cada predio, incluyeron la densidad aparente (gr/cm^3), porosidad total (%), macroporosidad (%), y la conductividad hidráulica saturada (cm/hr).



Figura 2. Proceso de muestreo de suelos con cilindros, para análisis físicos del mismo. Chépica, año 2015

El estudio realizado por INIA, demostró que los suelos que presentaban problemas de pie de arado o de compactación subsuperficial de suelos, en la profundidad que va entre los 25 y 40 cm, mostraron niveles de densidad aparente alto, en rangos que van entre los 1,5 y 1,6 gr/cm^3 , es decir la profundidad que se ve afectada por el arado de vertedera o disco, y el paso de la rueda del tractor en la labor de aradura. Por otro lado, la porosidad total del suelo fluctuaba, en esa estrata, entre los 28 y 35%, y la macroporosidad entre los 3,5 y 5%, ambos valores por debajo de una condición física óptima de suelos, para el desarrollo de cultivos.

Lo anterior se explica fundamentalmente, por el hecho que en los terrenos donde se quema los rastrojos de Maíz, el contenido de materia orgánica del suelo es más bajo, con niveles que van entre los 2,1 y 3,3%, a diferencia de los suelos donde se ha ido incorporando los rastrojos cada año, con rangos que van entre los 3,4 a 4,6 % de materia orgánica.

Los resultados obtenidos, mostraron que en aquellos predios donde se ha usado, cada temporada arados de disco o vertedera, para labores de aradura en el

cultivo de Maíz, existen mayores problemas de “pie de arado” o compactación subsuperficial de suelos. Si a esto se le agrega la condición de que año a año, se han ido quemando los rastrojos del cultivo, la situación se complica aún más, porque existirá un menor porcentaje de materia orgánica en el suelo, por lo cual se afecta la estructura del mismo, aumentando el riesgo de compactación.

En la evaluación realizada, se encontró que en predios donde se alcanzan rendimientos sobre 180 qqm/ha de Maíz, no se queman los rastrojos del cultivo, por lo cual temporada a temporada se pican y se incorporan al suelo, lo que ha significado un aumento importante de la materia orgánica en el mismo. Incluso, en algunos predios, se agrega como una labor fundamental, en el manejo del cultivo, el “escarificado” o subsolado del suelo, con el objeto de ir rompiendo posibles capas compactadas que se pudiesen presentar y afectar el crecimiento del cultivo del Maíz.

Con el “escarificado” o subsolado del suelo, se facilita la aireación del mismo, es decir se produce una mayor eficiencia en la actividad de los microorganismos que descomponen los rastrojos, y una mayor oxigenación a nivel de las raíces de las plantas de Maíz, cuando el cultivo está establecido. Además, se produce una mejor infiltración del agua de riego y de lluvias al suelo, por lo cual también se ve favorecido el cultivo en estado de crecimiento y desarrollo.

6. Bibliografía

Abu-Hamdeh, N.H 2003. Soil compaction and root distribution for okra as affected by tillage and vehicle parameters. *Soil and Tillage Research* 74: 25-35.

Buschiazzo, D.E. Panigatti, J.L. Unger, P.W 1998. Tillage effect on soil properties and crop production in subhumid and semiarid Argentinean Pampas. *Soil and Tillage Research* 49: 105-116.

- Carrasco J., 2008.** Propiedades físicas del suelo y su relación con la productividad de frutales y vides. pp. 11-47 En: Hirzel, J. Diagnóstico Nutricional y Principios de Fertilización en frutales y Vides. Colección Libros INIA N° 24. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Quilamapu. Chillán. Chile. 296 p.
- Carrasco, J., Antúnez, A., y Lemus, G., 2010.** Caracterización de un suelo para el establecimiento de un huerto frutal. En: Carrasco J., y Riquelme, J.(eds.). Manejo de suelos para el establecimiento de huertos frutales. 128p. Boletín INIA N° 207. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, CRI Rayentué, Rengo, Chile.
- Hill, R.L 1990.** Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. Soil Science Society of American Journal 54: 161-166.
- Husnjak, S., Filipovic D., Kosutic S. 2002.** Influence of different tillage systems on soil physical properties and crop yield. Rostlinna Vyroba 48(6): 249-254.
- Lamande, M., Hallaire, V., Curmi P., Peres, G., Cluzeau, D. (2003)** Changes of pore morphology, infiltration and earthworm community in a loamy soil under different agricultural managements. Catena 54, 637-649. doi: 10.1016/S0341-8162(03)00114-0.
- Liebig, M.A., Tanak D.L, Weinhold, B.J. 2004.** Tillage and cropping effects on soil quality indicators in the northern great plains. Soil and Tillage Research 78: 131-141.
- Novaes Filho, J. P.; Couto, E. G.; Oliveira, V. A.; Johnson, M. S.; Lehmann, J.; Riha, S. S.** Variabilidade espacial de atributos físicos de solo usada na identificação de classes pedológicas de microbacias na Amazônia meridional. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, p.91-100, 2007.

Capítulo 3.

Técnicas de manejo mecanizado de rastrojos del cultivo de maíz y del suelo

Jorge Carrasco Jiménez,

Dr. Ingeniero Agrónomo,

jcarrasc@inia.cl

Cristian Aguirre Aguilera,

Ingeniero Agrónomo

cristian.aguirre@inia.cl

Luis Silva R.,

Técnico Agrícola

lsilva@inia.cl

I. Introducción

En un terreno que ha sido cultivado con Maíz, una vez realizada la cosecha es necesario hacer un manejo de los rastrojos de este cultivo, de manera de ir preparando el terreno y dejarlo en condiciones para el establecimiento del cultivo siguiente. Tradicionalmente los agricultores han eliminado estos desechos a través de la quema, práctica que está siendo un problema en toda el área productora de Maíz del país, por la contaminación ambiental que genera, al liberar monóxido de carbono (CO), compuestos nitrogenados (NO₂), hidrocarburos, y otros materiales, lo que contribuye a aumentar la polución ambiental. Por otro lado, la quema de rastrojos de Maíz, además afecta las propiedades físicas, químicas, y biológicas del suelo, al reducir principalmente su contenido de materia orgánica, y nivel de nitrógeno, por efecto de las altas temperaturas que se alcanzan con la quema.

De acuerdo a lo anterior, se hace necesario hacer un manejo de los rastrojos del cultivo de Maíz iniciando un desmenuzado y picado de ellos con máquinas picadoras trituradoras o rastras de discos. Esto para facilitar su posterior incorporación y descomposición en el suelo, y en la medida que el rastrojo haya quedado bien picado, se facilita su descomposición en el mismo.

La descomposición de los rastrojos en el suelo, favorece un incremento del contenido de materia orgánica. Sin embargo, para que la descomposición de estos sea eficiente, es necesario cumplir previamente con la siguiente metodología de trabajo:

- 1º Los rastrojos previamente se deben picar lo más pequeño posible, con una picadora desmenuzadora, porque de esta forma cuando se incorporan al suelo, la descomposición de ellos es más eficiente, en términos de producción de humus. El *humus*, corresponde a la fracción estable de la materia orgánica que permanece en el suelo, luego que gran parte de esta se ha descompuesto, por lo cual pasa a constituir una reserva importante en el mismo.
- 2º Realizar una labor de aradura vertical con un arado subsolador-escarificado, con el objeto de romper posible capa compactada (pie de arado). Con esta labor mejoran las propiedades físicas del suelo, con lo que se favorece la oxigenación del suelo por lo que se facilita la posterior descomposición de los rastrojos, una vez que estos hayan sido incorporados (Carrasco y Riquelme, 2010). Las principales bacterias que realizan este proceso son aeróbicas, es decir requieren de oxígeno, para actuar en forma eficiente. El subsolador además de permitir una adecuada oxigenación de las plantas al nivel de las raíces, facilita la infiltración y movimiento del agua de riego en el cultivo siguiente (Carrasco y García-Huidobro, 1998).

La labor de inversión del terreno, con arados de vertedera o disco, para la preparación de suelo y para la incorporación de rastrojos, puede afectar negativamente la estructura del suelo, sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Carrasco y Riquelme, 2010). Particularmente, puede generar problemas de pie de arado, por la forma de trabajo del equipo, donde las ruedas de un lado del tractor van transitando en el interior del último surco de aradura que va dejando la labor (**Figura 1**). Esto para evitar las fuerzas laterales generadas por el arado en la labor de inversión de suelos.

El tránsito de las ruedas del tractor en el fondo de cada surco de aradura (30 cm de profundidad aproximadamente) produce problemas de compactación a partir de esa profundidad. A esto se suma al corte e inversión de suelo que efectúa el arado a partir de esa misma profundidad, ya que en cada punto de corte del arado este genera presión en el suelo hacia abajo. La sumatoria de ambos efectos descritos, pasan a constituir el problema de "pie de arado".



Figura 1. Forma de trabajo del arado de vertedera y tractor. Obsérvese las ruedas de un lado del tractor circulando por el interior del último surco de aradura.

II. Equipos para el manejo mecanizado de los rastrojos de maíz y del suelo

1. Arado subsolador – Escarificador

El arado subsolador – escarificador, es una herramienta que realiza la labor de remover y soltar el suelo a profundidades mayores a 30 centímetros, por lo que en el caso de problemas de compactación a esas profundidades y que no puedan ser solucionadas con el arado cincel, es la mejor alternativa para romperlas.

El arado subsolador se diferenciará según el número de escarificadores, o según la profundidad de trabajo que define el tamaño del implemento. Consta de un marco portaherramientas o chasis, de construcción robusta, donde va montado uno a cinco brazos de fierro, separados entre sí a distancias generalmente mayores a 50 centímetros y capaces de penetrar a profundidades mayores a 30 centímetros, por lo cual requiere de tractores de elevada potencia para un funcionamiento eficiente.

El arado subsolador - escarificador recomendado para la aradura vertical del suelo (**Figura 2**) está compuesto de cinco brazos rígidos de perfil rectangular recto, con un largo que puede ir de los 40 a 60 centímetros, en cuyo extremo inferior se une, a través de pernos, a la bota o pie que produce el trabajo de quebrar el suelo endurecido de las capas inferiores, produciendo grietas que se distribuyen lateral y verticalmente que alcanzan hasta la superficie del terreno. En algunos modelos, la cara anterior del brazo presenta filos de cuchillas, para reducir la resistencia que ofrece el suelo al avance del arado.

El subsolado escarificador, puede tener requerimientos muy altos de potencia del tractor, especialmente si se trata de suelos muy compactados. Estos requerimientos, se traducen en la necesidad de emplear un tractor, con una potencia superior a los 120 Hp, si se trata de equipos con más de un subsolador o brazos de rotura (Figura 2).



Figura 2. Arado subsolador-escarificador de tipo integral, compuesto de cinco brazos de rotura montado en el "chasis" del equipo

2. Regulación del arado subsolador

2.1. Nivelación del Arado

Para conseguir un apropiado funcionamiento del arado subsolador – escarificador o descompactador, este debe estar correctamente nivelado. Uno de los aspectos de mayor importancia para un buen funcionamiento del arado subsolador – escarificador, es la posición de las unidades de rotura con respecto al nivel del suelo. Existen dos tipos de nivelación, una *transversal* y una *longitudinal*.

En el sentido transversal, el chasis o estructura porta herramienta debe mantener un plano paralelo con el terreno (Carrasco y García-Huidobro, 1998). En los arados acoplados a los tres puntos del tractor (integrales), esa nivelación se consigue accionando una manivela que modifica la posición del brazo lateral derecho del tractor (segundo punto del enganche integral del tractor). Esta nivelación transversal permite que las unidades de rotura penetren verticalmente en el suelo. La nivelación transversal se comprueba en la práctica, caminando detrás del tractor y el subsolador – escarificador trabajando, observando que el chasis esté absolutamente paralelo al suelo, no inclinado hacia la derecha, ni hacia la izquierda.

La nivelación en el sentido *longitudinal*, el chasis del subsolador-escarificador garantiza que las unidades de rotura mantengan el ángulo de penetración diseñado por el fabricante (este ángulo es particular de cada diseño). En los subsoladores integrales (conectados a los brazos del tractor), esta regulación se logra modificando la longitud del brazo superior del sistema de levante hidráulico del tractor (tercer punto del enganche integral del tractor). En general, este tipo de nivelación se comprueba al caminar paralelamente al tractor e implemento al momento realizar la labor de subsolado, observando que este último no vaya inclinado hacia atrás ni hacia delante. Los brazos instalados en la barra delantera del chasis del arado deben trabajar a la misma profundidad que el brazo instalado en la barra trasera del chasis del subsolador.

2.2. Profundidad de trabajo

Para regular la profundidad de trabajo, es fundamental regular la profundidad de la unidad o unidades de rotura, en función de las características del perfil del suelo a trabajar y de su grado de compactación. Esto porque, este equipo ha sido diseñado con el objetivo de romper capas compactadas en el subsuelo, además que es la punta del arado la que produce grietas al pasar a través de esas capas.

Si a través de una calicata se establece que existe presencia de una capa compactada, que se ubica entre los 20 y 40 centímetros profundidad, la profundidad de trabajo recomendable sería el subsolar y escarificar a una profundidad de 35 centímetros.

Para la labor de subsolado y escarificado del pie de arado, es importante que la punta de la bota de cada subsolador se ubique en la zona media del área compactada, con el objeto de provocar el estallamiento de suelo en la zona deseada.

En terreno, una forma de comprobar la efectividad de la profundidad de trabajo de la labor, es extraer los primeros 30 centímetros más superficiales, y posteriormente medir con una varilla graduada, enterrándola en el suelo, después de una pasada del subsolador, a la profundidad a la cual éste ha penetrado.

3. Arado de vertedera

El arado de vertedera (**Figura 3**) es uno de los implementos agrícola de mayor uso en la producción de Maíz de la Región de O'Higgins. Se utiliza en las labores de preparación de suelos, para permitir un adecuado establecimiento de los cultivos, y además para incorporar al suelo desechos de cultivos.



Figura 3. Arado de vertedera reversible, equipo adecuado para la incorporación de rastrojos de Maíz.

En el caso del Maíz y después de la cosecha de este cultivo, el uso del arado de vertedera permite incorporar los rastrojos que quedan después de la cosecha (panoja o limbos, hojas, corontas, tallos, y raíces). Sin embargo, para que la labor del arado de vertedera sea eficiente, se hace necesario previamente que los rastrojos se piquen y trituren a un tamaño suficiente para facilitar su incorporación. Es decir, se requiere para el tratamiento de estos rastrojos y antes de su incorporación al suelo, el uso de una picadora y desmenuzadora de rastrojos o de una rastra de disco. En la medida que los rastrojos queden picados lo más pequeño posible, por un lado, se facilitará la labor de incorporación, y por otro, será más rápido el proceso de descomposición de ellos en el suelo.

Una forma de acelerar el proceso de descomposición de los rastrojos, es necesario además agregar una dosis de nitrógeno al suelo antes de la incorporación, en dosis que van de 100 a 200 Kg de úrea por hectárea.

3.1. Descripción y funcionamiento de un arado de vertedera

Los elementos del arado de vertedera son (Ibañez y Hetz, 1980):

- Una reja para hacer el corte horizontal a través del suelo.
- Una cuchilla para hacer el corte vertical.
- La vertedera para voltear el prisma de suelo cortado.
- El patín que retiene a la tierra lateral cuando se da la vuelta el prisma.

La unidad de trabajo del arado de vertedera lo constituye el cuerpo del arado, cuya misión es la de cortar, pulverizar, elevar y voltear un prisma de tierra. La fragmentación se lleva a cabo casi en su totalidad en la zona de la reja, de manera que la incidencia de la vertedera se reduce al volteo y a la formación de tierra fina por fricción de los terrones con la superficie interna de dicha pieza (Ibañez y Hetz, 1980).

3.2. Ventajas y limitaciones

Las ventajas más destacables de este arado, son las siguientes:

- Presenta una gran regularidad en la profundidad de trabajo y logra un buen control sobre la inversión del prisma del suelo, manteniendo con ello el microrelieve del terreno (Ibañez y Hetz, 1980; Carrasco y García-Huidobro, 1998).
- Consigue un perfecto mullimiento del suelo, lo que facilita el trabajo de los equipos como rastras de discos, que terminan el afinado de la cama de siembra de los cultivos.

- Realiza una buena inversión del suelo e incorporación de rastrojos, lo que permite una buena descomposición de los residuos vegetales (Ibañez y Hetz, 1980; Carrasco y García Huidobro, 1998).

Limitantes:

- No trabaja bien si el suelo tiene una humedad por debajo o por sobre la del estado friable. En la práctica, la condición friable se reconoce al tomar suelo en la mano y conseguir que este se disgregue fácilmente al ser presionado, sin que deje restos adheridos en ella (Carrasco y García-Huidobro, 1998; Carrasco y Riquelme, 2010). Esto es, que se alcanza una estructura granular del suelo. Un suelo muy húmedo se adhiere a la mano, incluso se puede moldear. En el caso contrario, se forman terrones que cuesta disgregarlos.

En la medida que la textura de un suelo se hace más arcillosa, es fundamental trabajar el suelo bajo el estado friable, porque a mayores contenidos de humedad, el suelo tiende a adherirse a la vertedera del arado y hace ineficiente la labor de inversión (Carrasco y Riquelme, 2010). Además, aumenta los riesgos de producir problemas de compactación subsuperficial en el terreno ("pie de arado"). Cuando el suelo está muy seco, se producen terrones muy grandes, dada su elevada cohesión (Cañavate y Hernanz, 1989). También se dificulta notablemente la penetración del arado, aumentando con ello el desgaste de la reja por roce.

Sin embargo, existen diferentes diseños de vertedera que se pueden captar a distintas condiciones de trabajo y humedad de suelo. Existen algunas "listonadas" o de rejilla, que ofrecen una superficie de contacto con la banda de tierra muy reducida, lo que disminuye la fuerza de tracción requerida (Ibañez y Hetz, 1980; Cañavate y Hernanz, 1989) (**Figura 4**). Son aconsejables en tierras que se adhieren mucho a la vertedera, como los suelos arcillosos.

El grado de mullimiento del suelo, está muy relacionado con su contenido de humedad y textura. Por lo tanto, es mucho más importante la oportunidad en que se realizan las labores, que el número de las mismas (Cañavate y Hernanz, 1989). Un productor agrícola no debe olvidar que un excesivo número de labores, producto de una mala programación de ellas, va afectar seriamente la estructura del suelo y sus propiedades físicas, principalmente por el "tránsito" del tractor y el implemento de labranza (Carrasco, 1998).

- Requiere suelos sin presencia de piedras, raíces de árboles, troncos o cualquier tipo de obstáculo, porque dañarían la vertedera, llegando en algunos casos a romperla (Ibañez y Hetz, 1980).



Figura 4. Arado de vertedera “listonado” o de rejilla. Adecuado su uso para suelos arcillosos o gredosos.

- El suelo debe ser compacto para permitir un buen corte e inversión. Este arado no funciona bien en suelos arenosos, ya que la vertedera sólo se limita a desplazar el suelo sin invertirlo. Además, se produce un excesivo desgaste del elemento de corte (reja de arado) (Carrasco, 1998).
- La cubierta vegetal del terreno no debe ser enmarañada, para conseguir una buena incorporación. Es fundamental evitar rastros de Maíz suelto en la superficie que no esté previamente picado por una picadora desmenuzadora o rastra de disco, porque se producen problemas de “atollamiento” del arado (Ibañez y hetz, 1980; Cañavate y Hernanz, 1989).

3. Referencias bibliográficas

Carrasco, J. 1998. El arado de vertederas. Equipos de labranza primaria. Revista Tierra Adentro N° 29. pp 44-47.

Carrasco, J. y García Huidobro, J. 1998. Los problemas de la labranza y los equipos. Revista Tierra Adentro N° 28. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago, Chile. pp 24-28.

Carrasco J., y Riquelme, J. (eds.). 2010. Manejo de suelos para el establecimiento de huertos frutales. 128p. Boletín INIA N° 207. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, CRI Rayentué, Rengo, Chile.

Ibañez, M., E. Hetz. 1980. Arados de vertederas. Boletín Técnico N° 9. Universidad de Concepción, Departamento de Ingeniería Agrícola, Chillán, Chile.

Taladris, A. y Schewember, A. 2012. Cereales en las zona centro y sur de Chile. ¿Qué hacer con los rastrojos? Revista Agronomía y Forestal U.C N° 46, Diciembre. Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. pp. 24-28

Ortiz-Cañavate, J.; y Hernanz, J.L., 1989. Técnica de la Mecanización Agraria. Ediciones Mundi Prensa, 3ª Edición. Madrid. España. 641 pp.

Capítulo 4.

Equipos trituradores y picadores de rastrojos de Maíz

Patricio Abarca Reyes,

Ingeniero Agrónomo

patricio.abarca@inia.cl

Jorge Riquelme Sanhueza,

Dr. Ingeniero Agrónomo

jriquelme@inia.cl

En un terreno que ha sido cultivado con Maíz, una vez realizada la cosecha de este cultivo, se hace necesario picar los rastrojos de este cultivo para su posterior incorporación al suelo, con arados o rastras. Esto para facilitar y acelerar el proceso de descomposición en el mismo.

La descomposición de los rastrojos en el suelo, favorece un incremento del contenido de materia orgánica. Sin embargo, para que la descomposición de estos sea eficiente, es necesario cumplir previamente con la siguiente metodología de trabajo:

- 1º Los rastrojos deben estar lo más seco posible, para que se facilite la labor de desmenuzando y picado de ellos, con una maquina picadora-trituradora. Si el rastrojo está húmedo, por efecto de lluvias prematuras en otoño, el picado se complica y se hace ineficiente.
- 2º Los rastrojos previamente se deben picar lo más pequeño posible, con una picadora desmenuzadora, porque de esta forma cuando se incorporan al suelo, la descomposición de ellos es más eficiente, en términos de producción de humus. El humus corresponde a la fracción de la materia orgánica que permanece, luego que gran parte de esta se ha descompuesto. Es decir, es la fracción estable de la materia orgánica en el suelo, y pasa a constituir una reserva importante de esta en el suelo.

3º Realizar una labor de aradura vertical con un arado subsolador-escarificado, con el objeto de romper posible capa compactada (pie de arado). Con esta labor mejoran las propiedades físicas del suelo, con lo que se favorece la oxigenación del suelo por lo que se facilita la posterior descomposición de los rastrojos, una vez que estos hayan sido incorporados: Las principales bacterias que realizan este proceso son aeróbicas, es decir requieren de oxígeno, para actuar en forma eficiente. El subsolador además permite una adecuada oxigenación de las plantas al nivel de las raíces, y facilita la infiltración y movimiento del agua de riego en el cultivo siguiente.

Triturado de los rastrojos de Maíz después de la cosecha

Después de la cosecha del cultivo de Maíz, es recomendable picar los rastrojos de este cultivo, utilizando un equipo triturador de rastrojos que pica y desmenuza las cañas que quedan sobre el suelo, para lo cual utilizan una trituradora de rastrojos (**Figura 1**).



Figura 1. Equipo triturador y picador de rastrojos, equipo adecuado para el manejo de ellos.

Para una mejor y más rápida descomposición de los vegetales, el uso de picadoras de rastros permite disminuir el tamaño de los residuos de cosecha, ayudando posteriormente a la incorporación de éstos en el terreno.

El uso de las picadoras de rastrojo en el cultivo de maíz, ha adquirido importancia a través del tiempo, especialmente por la eficiencia de trabajo de cada una de las maquinarias y equipos involucrados.

Para que el trabajo de la maquinaria sea eficiente se hace necesario considerar los siguientes factores:

1. Condiciones de campo

- El picado debe realizarse inmediatamente después de la cosecha y con el rastrojo lo más seco posible.



2. Seguridad en el acople y funcionamiento

- Conectar la junta cardánica con seguros en ambos ejes (tractor e implemento)
- Verificar la junta cardánica, que al menos un tercio del eje macho esté dentro del eje hembra.
- Los acoples al enganche hidráulicos (3 puntos) deben estar sujetos por chavetas.

- Nivelar el implemento, tanto de forma horizontal como longitudinal.
- Conectar el funcionamiento de la Toma de Fuerza (TDF) y luego acelerar (nunca inversamente).
- Revisar la presencia de elementos extraños bajo el implemento al momento del funcionamiento, que puedan dañar a terceros o partes mecánicas del mismo.
- No debe haber personas tras el implemento mientras esté en funcionamiento. La distancia mínima de seguridad es de 80 metros.
- Utilizar siempre la cubierta posterior de la picadora (cuerpo posterior) tapado.
- No acercarse al implemento mientras está en movimiento, ya que después de la desconexión de la TDF, la inercia acumulada aún mantiene girando los cuchillos de la picadora.

3. Uso de la picadora

- Para rastrojos de maíz, es recomendable el uso de cuchillos más que martillos.
- El eje de la TDF debe trabajar a 540 R.P.M. Se puede medir con un tacómetro digital o guiarse por el catálogo del tractor.
- Asegurar que la potencia del tractor sea la apropiada para el tamaño de la picadora.
- La potencia del tractor debe ser al menos un 25% más a la demandada por el implemento (**Cuadro 1**).

Cuadro 1. Potencia demandada aproximada por el implemento según su ancho de trabajo.

Ancho (m)	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
Potencia (Hp)	50	50	55	60	65	70

- La velocidad de trabajo estará acotada a la potencia del tractor y las condiciones del terreno, no obstante, se recomienda no superar los 6 km/h.

4. Mantenimiento

- Todas las mantenciones deben realizarse con el implemento desacoplado.
- Revisar constantemente si existen cuerpos extraños en las cuchillas o eje rotor.
- Revisar periódicamente el libre movimiento de los cuchillos en el eje rotor y el ajuste de pernos.
- Limpiar la picadora después de cada uso. La acumulación de material y humedad, deteriorará la estructura prematuramente.
- Revisar periódicamente ajuste de correas, nivel de aceite y engrase de partes móviles.
- El primer cambio de aceite de la caja reductora es a las 40 horas de uso, luego sucesivamente a cada 250 horas (SAE 140).
- Si los cuchillos están desgastados, cambiar por nuevos.
- Guardar la picadora lubricada en un lugar seco, techado, más una cobertura de lona.



Capítulo 5.

Costos asociados al uso de maquinaria para el manejo de los rastrojos y preparación de suelo en el cultivo de Maíz

Patricio Abarca Reyes,

Ingeniero Agrónomo

patricio.abarca@inia.cl

Jorge Riquelme Sanhueza,

Dr. Ingeniero Agrónomo

jriquelme@inia.cl

La utilidad de una producción agrícola depende de forma exclusiva de la calidad de producción, el rendimiento y los costos asociados durante la temporada. Estos últimos, directamente relacionados con los insumos, mano de obra y también el uso de maquinaria. El buen manejo de los costos incide directamente en el objetivo principal de la producción agrícola, el cual es obtener rentabilidad a la producción en el tiempo.

Los precios de las semillas, fertilizantes, plaguicidas, combustibles, entre otros, permiten que cada vez el margen de utilidad en este cultivo sea más estrecho, por este motivo, es importante identificar y dimensionar cuales son los costos fijos y variables que pueden ser más eficientes y controlables durante la temporada productiva.

Para el caso de la maquinaria agrícola en el cultivo del maíz, los costos son influenciados por la elección de los equipos según el tipo de labor, profundidad de trabajo, ancho de trabajo, velocidad de avance, superficie del cultivo, tipo de suelo, capacidad del tractor, entre otros. Si el agricultor considera y maneja estas variantes de forma eficiente, los costos por uso de maquinaria serían óptimos, permitiendo una mayor utilidad del cultivo.

Los costos referidos a maquinaria agrícola ocupan una importante fracción en el costo de producción agrícola, hecho que es con frecuencia minimizado y hasta olvidado injustificadamente. El desconocimiento de los mismos provoca una errónea estimación de los costos totales de la actividad, y probablemente ocasione en el corto plazo una importante descapitalización del productor, ya que no recupera a través de su producción los costos de mantenimiento, amortización y administración del equipo utilizado (Garbers y Erch, 2013).

Cada maquinaria representa un costo que le es propio, y este va a depender de la inversión inicial, edad de la máquina, estado de conservación y mantención, intensidad de uso y otros factores. Se estima que la incidencia del costo operacional de maquinaria agrícola en el cultivo de maíz para grano, es del orden del 30% de los costos totales aproximadamente (Velasco y González, 2007), por lo cual, es necesario tener un conocimiento básico de aspectos económicos y llevar registros de cálculo del uso de equipos, aperos y máquinas.

El costo de uso u operación de la maquinaria agrícola depende fundamentalmente de 5 factores: a) Inversión inicial; b) Intensidad de uso; c) Mantención; d) Estado de conservación; y e) Antigüedad (Velasco y González, 2007). Cabe destacar que mientras mayor sea la inversión inicial, mayor es el costo operacional, por tanto, la elección del tractor debe estar acorde al tipo de equipo que se desea acoplar, como también la justificación de la superficie para la elección de cada uno de ellos.

En la actualidad, la restricción de las quemas de rastrojos agrícolas permite que los agricultores opten por una alternativa de uso de los rastrojos y un manejo distinto del suelo para la implementación del cultivo siguiente. Se advierte que los rastrojos en el cultivo de maíz forman el 54% de la materia seca total, el otro 46% corresponde al grano.

En este capítulo, se presentarán las alternativas de trabajo para los rastrojos de maíz y la preparación de suelo entre la postcosecha y la presiembra del cultivo siguiente, evaluando los costos asociados a cada labor.

En el **Cuadro 1** se menciona el costo promedio de maquinaria utilizada en un cultivo de maíz según ODEPA con datos del año 2018, en un predio regado por surco y un rendimiento de 150 qq/ha. Los agricultores de la Región de O'Higgins realizan actualmente manejos muy distintos dependiendo de la fecha de cosecha, condiciones climáticas, disponibilidad de maquinaria, superficie, entre otros.

Cuadro 1. Costos de maquinaria en el cultivo de maíz (ODEPA, 2018).

Labor	Fecha	Cantidad	Unidad	Precio unitario (\$/un)	Valor total (\$)
Picado de rastrojo	Mayo - Junio	1	ha	35.000	35.000
Arado vertedera	Agosto - Nov.	1	ha	65.000	65.000
Rastraje	Sept. - Nov.	2	ha	30.000	60.000
Siembra y fertilización	Sept. - Nov.	1	ha	40.000	40.000
Aplicación de plaguicidas pre-siembra	Oct. - Oct.	1	ha	17.500	17.500
Aplicación de plaguicidas pos-siembra	Oct. - Nov.	1	ha	17.500	17.500
Cultivador - abonador	Nov. - Dic.	1	ha	22.500	22.500
Cosecha	Marzo - Abril	1	ha	75.000	75.000
Total					332.500

En el **Cuadro 2** se describen las labores más habituales de un agricultor tradicional que cultiva maíz para grano en la Región de O'Higgins sólo para el manejo del rastrojo y laboreo de suelo.

Cuadro 2. Costo de las labores más frecuentes realizadas en agricultores de la Región de O'Higgins para incorporación de rastrojos y preparación de suelo en cultivo de maíz (Fuente: Elaboración propia con información de agricultores).

Labor	Fecha	Cantidad	Unidad	Precio unitario (\$/un)	Valor total (\$)
Rastra de discos	Abril - Mayo	3	ha	25.000	75.000
Arado de vertedera	Mayo	1	ha	60.000	60.000
Arado de vertedera	Septiembre	1	ha	60.000	60.000
Rastra de discos	Sept - Octubre	2	ha	25.000	50.000
Vibrocultivador	Octubre - Nov	1	ha	22.000	22.000
Total					267.000

En el Cuadro 2, se observa un costo aproximado de \$ 267.000 por efecto de labores de preparación de suelo y manejo del rastrojos, considerando que la gran mayoría que no cuenta con implementos de picado y triturado, lo hace con dos

o tres pasadas con rastra de discos más la incorporación con arado de vertedera. El uso de maquinaria en el cultivo de maíz debe ser apropiado y en el momento correcto. Una labor realizada en condiciones inadecuadas sólo perjudica el resultado y obliga muchas veces a repetir el trabajo. Por ejemplo, realizar una aradura con exceso de humedad, el suelo presentará mayor adherencia al arado, una mayor resistencia al avance, mayor gasto de combustible y mayor compactación. En la **Figura 1**, se describen las labores más adecuadas en el cultivo del maíz y en secuencia desde la postcosecha hasta pre siembra dependiendo de las condiciones propias de cada suelo, es decir, es recomendable inmediatamente después de la cosecha, realizar una calicata para determinar la condición del suelo y programar las labores durante la temporada.

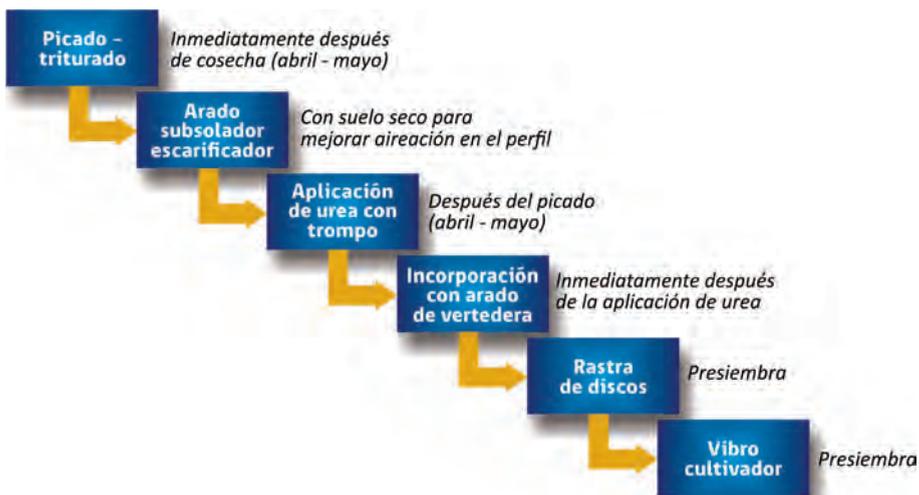


Figura 1. Secuencia recomendada del manejo de los rastrojos y preparación de suelo entre la postcosecha y la presiembra de maíz.

Según el Cuadro 3, el picar los rastrojos, subsolar o escarificar el suelo para aumentar la aireación del mismo, aplicar urea e incorporar, presenta un menor costo que la labores que realiza habitualmente el agricultor. Es necesario señalar que los valores de los cuadros 2 y 3, corresponde al costo de arriendo de la maquinaria sin considerar uso de tractor, combustible, ni operador.

Para el caso que el productor cuente con maquinaria propia, se debe considerar el costo fijo y costo variable de operación del tractor, como el implemento utilizado para ello. Entre los variables, se debe considerar los costos de combustible, lubricantes, reparación, mantención, gasto de operador, entre otros.

Cuadro 3. Costo de las labores recomendadas para ser más eficiente en el manejo de rastrojos y laboreo de suelo en el cultivo del maíz, a mayo de 2018, según Figura 1.

Labor	Fecha	Cantidad	Unidad	Precio unitario (\$/un)	Valor total (\$)
Picado de rastrojo	Abril - Mayo	1	ha	50.000	50.000
Arado subsolador escarificador	Septiembre	1	ha	60.000	60.000
Aplicación de urea	Abril - Mayo	1	ha	20.000	20.000
Arado de vertedera	Abril - Mayo	1	ha	55.000	55.000
Rastra de discos	Sept - Octubre	1	ha	25.000	25.000
Vibrocultivador	Sept -Octubre	1	ha	22.000	22.000
Total					232.000

Es importante que cada productor determine sus propios costos de operación de la maquinaria agrícola, para tener una estimación real de lo que significa el uso de ella en su predio, por lo cual para el análisis siguiente es necesario revisar algunos conceptos.

Costo: se define, como el equivalente en dinero que representa un valor económico, agregando a un producto o servicio determinado. Los costos se clasifican en Costos Fijos y Variables.

Costos fijos: son aquellos en que se incurre para poseer la propiedad de una máquina, independiente del empleo que de ella se haga. Comprende la depreciación, el interés al capital, seguros por riesgos, y los gastos para proteger la máquina contra la intemperie (almacenamiento).

Costo variable: llamado también de funcionamiento, incluyen aquellos que se producen únicamente cuando la máquina está en uso, como por ejemplo combustible, aceite y grasa, además del gasto en reparaciones y mano de obra.

Costos fijos

Depreciación: es un costo que representa la pérdida de una máquina en el tiempo. En condiciones normales de trabajo y con los debidos cuidados y reparaciones, una máquina pierde su utilidad por dos razones: se vuelve anticuada y se desgasta.

Con el transcurso del tiempo, una máquina puede perder su valor gradualmente y hacerse anticuada por la introducción de máquinas nuevas y mejores, y por las innovaciones tecnológicas.

Los especialistas en maquinaria agrícola han propuesto varios métodos distintos para calcular el costo de la depreciación. Sin embargo, se recomienda el método de la estimación de la vida útil, en unidades de tiempo y de trabajo. Para calcularlo se utiliza la siguiente fórmula:

$$d = \frac{V_i - V_r}{N}$$

Donde: **d** es el costo de la depreciación anual; **V_i** es el valor inicial, o costo de adquisición; **V_r** es el valor residual, y **N** años de vida útil u horas de vida útil.

Interés al capital: corresponde a la utilidad que se deja de percibir, por tener un capital inmovilizado.

Si la máquina o equipo se compra a crédito, o con el dinero prestado por un banco o cualquier otro organismo de crédito, el interés al capital representará para el propietario un costo real. Incluso, cuando la máquina la adquiere el comprador con su propio dinero, también debe considerarse el interés como un costo, ya que el propietario podía haber ganado interés prestando ese dinero a otra persona.

El interés al capital, se calcula sobre el valor promedio de la máquina, entre el valor inicial y el valor residual. Para el cálculo se considera una tasa de interés anual de un 3,5 por ciento.

Se representa por la siguiente fórmula:

$$IC = t \times \frac{V_i + V_r}{2}$$

Donde:

IC = Interés al capital promedio anual

t = Tasa de interés anual

V_i = Valor inicial

V_r = Valor residual

En el **Cuadro 4**, se detallan los costos fijos y variables por hora de trabajo de un tractor de 105 hp, considerando el valor real de una marca conocida, a junio de 2018.

Cuadro 4. Costo total por hora de trabajo de un tractor de 105 hp.

Determinación del costo horario fijo de un tractor			
Valor inicial tractor (VN)		\$ 24.395.000	
Coefficiente valor residual	30%		
Valor residual (VR)	$VR = VN \times 0,3$	\$ 7.318.500	
Depreciación anual (DA)	$(VN - VR)/VU$	\$ 1.138.433	
VU = Vida útil = 15 años			
Tasa de interés captación al capital (i)	3,5%		
Interés anual (IA)	$IA = i \times (VN + VR)/2$	\$ 554.986	
Costo fijo anual (CFA)	$CFA = DA + IA$	\$ 1.693.419	
Costo fijo hora (CFH)	$CFH = CFA / NHA$		\$ 5.645
HNA = Número de horas anuales		300	
Determinación del costo horario variable de un tractor			
Costo horario del combustible (CC) $CC = PM \times CEC \times PC \times FC$			
Potencia motor (PM)		105	
Cons. específico combustible (CEC)		0,2	
Precio del combustible (PC)		\$ 560	
Factor de carga de trabajo (FC)		1	
Costo horario del combustible (CC)		\$ 11.760	
Costo lubricante (CL)	$CL = CC \times 0,1$	\$ 1.176	
Costo repar. y mantención (CRM)	$CRM = VN \times 0,00007$	\$ 1.708	
Costo variable hora (CVH)	$CVH = CC + CL + CRM$		\$ 14.644
Costo Horario Total (CHT)	$CHT = CFH + CVH$		\$ 20.289
Costo horario operador		\$ 2.000	
Costo Horario Total + Operador			\$ 22.289

Para determinar los costos variables de los implementos más utilizados en el cultivo del maíz, se debe contemplar los coeficientes de MyR descritos en el **Cuadro 5**, además de las horas de uso anual dependiendo de la velocidad de avance, ancho de trabajo y eficiencia de la labor (**Cuadro 6**).

Cuadro 5. Coeficientes de mantenimiento y reparación de máquinas y equipos, respecto a su valor inicial.

Maquinaria o implemento	Coefficiente de MyR (%)
Tractor	0,00007
Arado vertedera	0,00030
Trompo abonador	0,00030
Vibrocultivador	0,00025
Rastra de discos	0,00025
Arado de cincel	0,00025
Subsolador	0,00015

Cuadro 6. Uso anual de maquinaria en horas, considerando una superficie de 1 y 19,75 hectáreas.

Labor	Ancho trabajo (m)	Velocidad avance (km/h)	Coefficiente de eficiencia	Capacidad trabajo (ha/h)	Tiempo operativo trabajo (h/ha)	Uso anual (ha/año)	Uso anual (ha/año)
Cálculo	a	b	c	$d = (a \times b \times c) / 10$	$e = 1/d$	f	$e \times f$
Arado cincel	2,4	7	0,8	1,34	0,75	10 (19,75)	7,5 (14,81)
Arado subsolador	2	5	0,8	0,8	1,25	10 (19,75)	12,5 (24,69)
Rastra de discos	2,4	7	0,8	1,34	0,75	10 (19,75)	0,75 (14,81)
Vibro Cultivador	2,8	7,5	0,85	1,79	0,56	10 (19,75)	5,6 (11,06)
Arado vertedera (3 rejas)	1,2	6	0,8	0,58	1,72	10 (19,75)	17,2 (33,97)
Picadora rastrojos	3	6	0,8	1,44	0,69	10 (19,75)	6,9 (13,63)
Trompo abonador	12	8	0,9	8,64	0,12	10 (19,75)	1,2 (2,37)

Para el caso de implementos o equipos propios (no arrendados) también se debe contemplar el costo de uso a través de los costos variables y costos fijos, considerando para cada implemento un coeficiente de MyR (Mantenimiento y Reparación), la depreciación y el interés al capital (**Cuadro 7**).

Cuadro 7. Costo total por hora de trabajo de una rastra de discos tipo off - set.

Determinación del costo horario fijo de una rastra de discos		
Valor inicial rastra de discos (VN)		\$ 4.400.000
Coeficiente valor residual	20 %	
Vida útil del implemento (VU)	20 años	
Valor residual (VR)	$VR = VN \times 0,2$	\$ 880.000
Depreciación anual (DA)	$DA = (VN - VR) / VU$	\$ 176.000
Tasa de interés de captación anual (i)	3,5%	
Interés anual (IA)	$IA = i \times (VN + VR) / 2$	\$ 92.400
Costo fijo anual (CFA)	$CFA = DA + IA$	\$ 268.400
Costo fijo horario (CFH)	$CFH = CFA / HUA$	\$ 26.840
Horas uso anual implemento (HUA)	7,5	
Determinación del costo horario variable de una rastra de discos		
Reparación y mantenimiento (RyM)	$RyM = VN \times 0,00025$	\$ 1.100
Costo Total Horario CTH = CFH + RyM		\$ 27.940
Costo horario del tractor más operador (Cuadro 4) (Costo de una hora de trabajo o fracción)		\$ 22.289
Costo total horario de operación de rastra de discos		\$ 50.229

Para determinar el costo total horario de cada uno de los implementos, se debe realizar el mismo cálculo que para la rastra de discos (Cuadro 7). No obstante, se debe determinar cuál es la superficie mínima que debe trabajar anualmente el agricultor, para que justifique la compra de un implemento, es decir será igual o más económico trabajar con sus implementos que arrendarlas. Por ejemplo, en el Cuadro 7 al utilizar la rastra de discos propia, una vez al año y en 10 hectáreas (7,5 horas de uso anual), es costo de operación es de \$ 50.229, muy superior al valor que se origina si el agricultor arrendara (\$ 25.000). El **costo fijo horario** de un implemento disminuye, mientras más horas se utiliza al año.

Para el caso de los implementos recomendados en el Cuadro 3, se ha determinado que el agricultor debe utilizarlos un mínimo de 19,75 hectáreas anuales y sus respectivas horas proporcionales descritas en el Cuadro 6. Si el agricultor posee menos superficie, es recomendable arrendar el servicio. De lo contrario, si ya posee el tractor y los implementos y, la superficie es menor a las 19,75 ha, se recomienda que el agricultor realice servicios a terceros para disminuir los costos de uso de sus equipos.

La gráfica que se ilustra en la **Figura 2**, indica que al utilizar la maquinaria descrita en el Cuadro 3 (en condiciones de trabajo según el Cuadro 6), la compra de implementos sólo se justifica al trabajar una superficie mayor o igual a 19,75 ha anuales, de lo contrario, es más conveniente arrendar (solicitar) el servicio a terceros. La gráfica muestra que los costos de arrendo de maquinaria se incrementan linealmente de acuerdo a la superficie, en cambio los costos fijos de utilizar los implementos propios, disminuyen a medida que se aumenta la superficie, haciendo más rentable su uso.

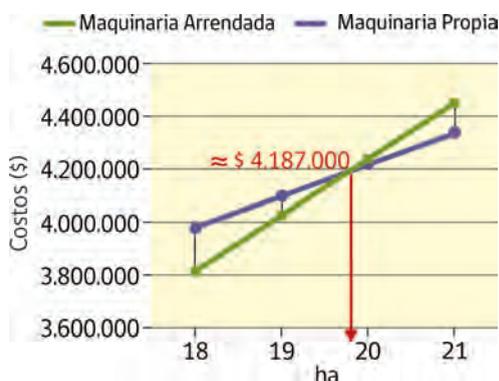


Figura 2. Comportamiento de los costos de maquinaria en maíz, con maquinaria arrendada versus la propia.

Cuadro 8. Diferencia del costo de maquinaria en el cultivo del maíz entre maquinaria arrendada y propia para una superficie de 19,75 ha.

Labor	Costo arriendo ¹ (\$/ha)	Costo total 19,75 ha maquinaria arrendada	Valor nuevo maquinaria ²	Horas uso anual (h/año)	Costo total 19,75 ha maquinaria propia ³ (\$/ha)
Picado de rastrojo	\$50.000	\$987.500	\$ 4.700.000	13,63	\$672.382
Subsolado	\$40.000	\$790.000	\$ 3.955.000	24,69	\$902.642
Aplicación de urea	\$15.000	\$296.250	\$ 2.203.000	2,37	\$268.398
Aradura vertedera	\$60.000	\$1.185.000	\$ 5.500.000	33,97	\$1.222.037
Rastraje	\$25.000	\$493.750	\$ 4.400.000	14,81	\$614.793
Vibro cultivador	\$22.000	\$434.500	\$ 2.500.000	11,06	\$505.929
Total		\$4.187.000			\$4.186.179

¹ El costo de arriendo de maquinaria, ha sido obtenido a través de información descrita por agricultores de rubro de maíz de la Región de O'Higgins.

² Los valores nuevos de maquinaria son referenciales y pueden variar de acuerdo a la marca (procedencia), ancho de trabajo, valor de moneda internacional, distribuidor.

³ El costo total de uso de un implemento propio, ha sido determinado según su valor nuevo, mantención, reparación, depreciación, interés al capital (ejemplo Cuadro 7), más el costo de uso del tractor más operador (Cuadro 4).

El costo de la mano de obra se ha determinado con el trabajo de un operador con un valor día (7,5 horas) de \$ 15.000, multiplicado por el tiempo operativo de trabajo utilizado en cada labor. En este costo no se incluyen los tiempos muertos por enganche de implementos, traslado hasta el huerto, carga de combustible, entre otros.

Bibliografía

Garbers, R. y Erh, Y. 2013. Costos operativos de maquinaria agrícola (síntesis básica para su cálculo). Dirección Nacional de Contratistas Rurales e Insumos Agrícola. Subsecretaría de Agricultura. Argentina. 26p.

ODEPA. 2018. Ficha técnico-económica, Maíz, Región de O'Higgins. (En línea). Chile. Disponible en: http://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2017/04/maiz_ohiggins_2016-17.pdf . Consultado en enero de 2018.

Velasco, R., González, J. 2007. Costo de operación o uso de maquinaria agrícola ¿Cómo evaluarlo? Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA Quilamapu. (En línea). Chile. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/122205463/Costo-de-operacion-o-uso-de-maquinaria-agricola-como-evaluarla-1>