

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).

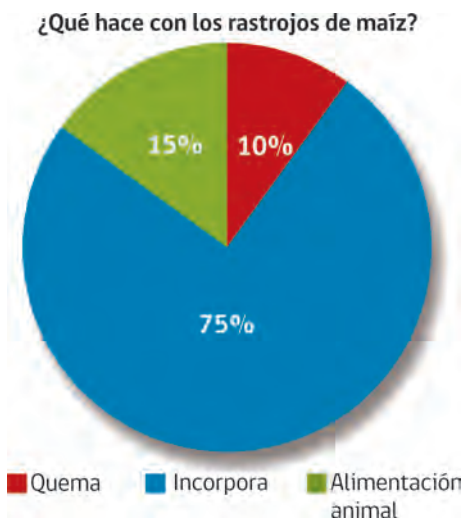


Figura 2. Alternativas de uso de los rastrojos de Maíz, en la Región de O'Higgins

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.

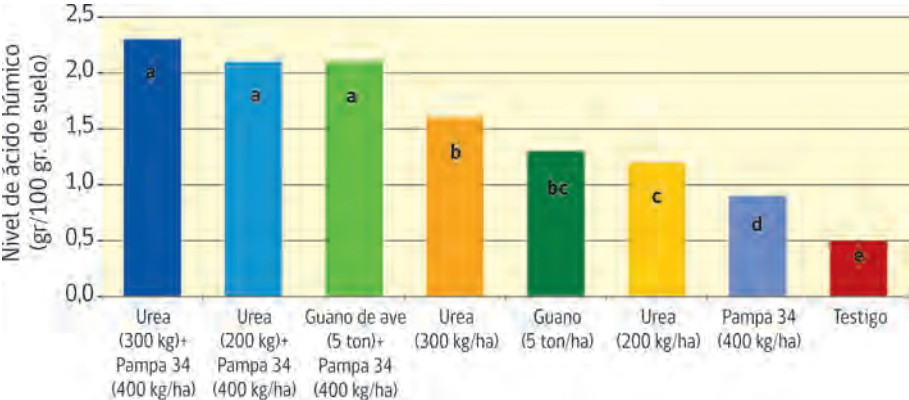


Figura 4. Nivel de ácidos húmicos (gr/100 gr. de suelo) de un suelo con rastrojos de Maíz, sometido a distintas alternativas de “acelerantes” para su descomposición. Chimbarongo, temporada 2015-2016.

(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.