AGRONOMÍA DE LA CERO LABRANZA

UNIVERSIDAD DE CHILE

SERIE CIENCIAS AGRONOMICAS

Nº 10, 2003

Autores

E. Acevedo

P. Silva

UNIVERSIDAD DE CHILE
SERIE CIENCIAS AGRONOMICAS Nº 10/2003

AGRONOMÍA DE LA CERO LABRANZA

Autores

Edmundo Acevedo

Ing. Agr. MS. Ph. D.
Profesor Titular Universidad de Chile

Paola Silva

Ing. Agr.
Profesora Universidad de Chile

Santiago - Chile, 2003

Edmundo Acevedo
Paola Silva

AGRONOMÍA DE LA CERO LABRANZA
Santiago, Universidad de Chile
Facultad de Ciencias Agronómicas, 2003
Serie Ciencias Agronómicas Nº 10
118 pág.

Comité Asesor:
Dr. Víctor García de Cortazar
Dr. Rafael Novoa
Dr. Iván Vidal

Financiamiento:
FIA. Proyecto FIA-PR-V-2002-1A-026
FONDEF. Proyecto D99I1081
DID 2002-I-0215-2

ISBN: 956 - 19 - 0363- 6
Departamento de Producción Agrícola.
Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta.
Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de Chile
Casilla 1004, Santa Rosa 11315, La Pintana, Santiago
e-mail: eacevedo@uchile.cl

Edición: 500 ejemplares
Diseño y Diagramación: J&M diseño
Impreso en LOM S.A.

Indice

Prólogo ***5***

Agradecimientos ***7***

1 Cero Labranza ***11***

Síntesis 17
Bibliografía. 17

2 Efecto de la labranza en las propiedades del suelo ***21***

Materia orgánica del suelo. 21
Sistemas de labranza y capacidad productiva de los suelos. 23
Sistemas de labranza y sus efectos en el C orgánico del suelo. 25
Labranza y erosión. 26
Sistemas de labranza y propiedades físicas del suelo. 27
Sistemas de labranza y propiedades químicas del suelo. 30
Sistemas de labranza y propiedades biológicas del suelo. 32
Cambios en la productividad del suelo asociados a la cero labranza. 34
Síntesis. 34
Bibliografía. 35

3 Rastrojos y su manejo ***39***

Descomposición del rastrojo. 40
Efectos de los rastrojos sobre el suelo. 42
Efecto de los rastrojos sobre los cultivos. 43
Manejo de los rastrojos. 45
Síntesis. 47
Bibliografía. 47

4 Efecto aleopático de los rastrojos ***51***

Alelopatía. 51
Aleloquímicos asociados al rastrojo. 53
Liberación de aleloquímicos desde los rastrojos. 53
Variabilidad genética en el potencial alelopático. 55
Variabilidad genética en la sensibilidad a la alelopatía de los rastrojos. 55
Solución agronómica al problema de alelopatía de los rastrojos. 56
Síntesis. 58
Bibliografía. 58

5 Maquinaria ***61***

Sistema mecanizado para medianos y grandes empresarios agrícolas. 61
Sistema mecanizado para pequeños agricultores. 68
Síntesis. 72
Bibliografía. 72

6 Fertilización ***75***

Cambios de manejo asociados a la cero labranza y su posible efecto en la disponibilidad de nutrientes. 76
Nitrógeno. 77
Cero labranza y disponibilidad de N en el suelo. 78

Mineralización e inmovilización del N en CL. 79
Lixiviación. 83
Cero labranza y la disponibilidad de P en el suelo. 85
Cero labranza y desarrollo de micorrizas vesículo-arbusculares en el suelo. 86
Potasio. 88
Contenido y disponibilidad del K en el suelo bajo un sistema de cero labranza. 88
Los rastrojos como fuente de nutrientes. 89
Aspectos a considerar para una fertilización nitrogenada en CL. 91
Aspectos a considerar para una fertilización fosforada en CL. 92
Aspectos a considerar para una fertilización potásica en CL. 93
Implicaciones económicas. 93
Síntesis. 94
Bibliografía. 94

7 Malezas en Cero Labranza 99
Especies de malezas que predominan en cero labranza. 99
Cantidad y diversidad de malezas. 100
Control de malezas en cero labranza. 102
Bibliografía 106

8 Manejo de Cultivos en Cero Labranza 109
Preparación del suelo. 109
Cosecha del cultivo anterior. 110
Siembra. 111
Control de malezas. 111
Fertilización. 113
Enfermedades. 114
Plagas 116
Crecimiento del cultivo. 117
Rendimiento. 117
Interacción genotipo x sistema de labranza (G x SL). 119
Síntesis. 120
Bibliografía. 120

9 Aspectos Económicos de la Cero Labranza1 125
Economía de la cero labranza. 125
Análisis económico de la cero labranza. 126
Bibliografía. 132

Prólogo

El libro Agronomía de la Cero Labranza responde a inquietudes generadas tanto en agricultores como en otros ambientes nacionales, incluyendo nucleos académicos, ambientalistas, legisladores y otros, acerca de la necesidad de revisar prácticas agronómicas como la quema de residuos de cosecha y la labranza. Estas prácticas producen daño ambiental (erosión, aumento de CO2 en la atmósfera) que la sociedad globalizada está cada día menos dispuesta a aceptar. El momento es oportuno por cuanto en diferentes partes del mundo se ha demostrado la eficacia de prácticas agronómicas que no rompen el suelo y que detienen e incluso revierten los procesos de degradación ambiental siendo, además, económicamente favorables. En Chile, con ambientes de muy alta producción agrícola y con clima mediterráneo se dificultan estas prácticas, las que no han sido de fácil adopción por lo que se hace necesario desarrollar la agronomía requerida para facilitar su uso por los agricultores.Pese a la experiencia de algunos agricultores y notablemente del Sr. Carlos Crovetto Lamarca en la VIII Región, esta tecnología no ha logrado masificarse en el país realizando, la mayoría de los agricultores que la usan, cero labranza con quema de rastrojos en cerca de 200.000 Ha. La mayor dificultad se encuentra en el manejo de la gran cantidad de rastrojos que dejan los cereales de invierno, los que a diferencia de otros climas que tienen lluvia de verano, se descomponen lentamente, dificultando las labores de siembra y magnificando los problemas alelopáticos que sufren principalmente las leguminosas. Paradojalmente, las mayores ventajas agronómicas y ambientales del sistema de cero labranza estan asociadas a los rastrojos sobre el suelo por lo que quemarlos es prácticamente destruir su propósito.

La investigación realizada en Chile en cero labranza es escasa. Hay gran cantidad de resultados de experimentos de corta duración y hay muy pocos estudios controlados sobre manejo de suelos y cultivos con esta metodología. Muchos de los efectos de la cero labranza se ven en el largo plazo y hay carencia de estudios de esta naturaleza. El enfoque de los estudios debe ser integral ya que la cero labranza encierra una forma diferente de hacer agricultura que tiene múltiples interacciones. Requiere conceptos agronómicos diferentes para fertilizar, controlar malezas, rotar cultivos. Esta nueva agronomía, que es de largo plazo, que se aleja del manejo tradicional, del monocultivo, del uso excesivo de pesticidas y fertilizantes, que conserva los recursos naturales (suelo, agua, aire) y que es amigable con el medio ambiente requiere ser desarrollada en Chile como única forma de lograr una producción agrícola que sea sustentable.

Los autores agradecen principalmente al Fondo de Innovación Agraria del Ministerio de Agricultura que les haya estimulado a escribir este libro. La primera idea fue poner en forma amigable los resultados del Seminario «Sustentabilidad en Cultivos Anuales» realizado los días 3 y 4 de Diciembre de

2003 en el contexto del 53 Congreso Agronómico de Chile, sin embargo, fue necesario desarrollar otros capítulos no tocados en el Seminario como Fertilización, Manejo de Cultivos, Control de Malezas y otros que se consideraron importantes para el manejo de la cero labranza.

Cuando se emprende una tarea como esta, en que se deben comprometer recomendaciones, siempre la información resulta escasa pero en este caso la información local es muy escasa. Por ello solicitamos la comprensión del lector si en más de alguna oportunidad encuentra que nuestro escrito no es lo suficiente específico.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Fondo de Innovación Agraria (FIA) del Ministerio de Agricultura por haberles sugerido la escritura de este volumen y haber contribuido principalmente al financiamiento de su publicación. Los borradores de este texto fueron revisados por los Drs. Victor García de Cortazar, Rafael Novoa e Iván Vidal, quienes hicieron valiosas sugerencias . Además, los autores desean agradecer las valiosas discusiones con estudiantes de la Cátedra Agronomía de los Cultivos Anuales de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile sobre los tópicos del libro y con los ayudantes y memoristas del laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta, en particular,Mauricio Ortiz, Eduardo Martínez, Susana Valle,Olga León, Juan Ignacio Reyes, Mario Carrasco y Loreto Maturana.

Una parte importante de los resultados de las investigaciones realizadas por los autores se han obtenido dentro del marco del Proyecto FONDEF D99I1081 en que participaron agricultores de lo GTT de El Carmen, Mulchén, Santa Bárbara y AGROCHEQUÉN y del Proyecto DID 2002 I-02/5-2. Las ponencias del Seminario «Sustentabilidad en Cultivos Anuales» realizado en Antumapu los días 3 y 4 de Diciembre de 2002 se usaron como material base para esta publicación.

Capítulo 1

Cero Labranza

1

Cero Labranza

El origen de la cero labranza se encuentra en la búsqueda de soluciones técnico-económicas que permitiesen desarrollar la producción de cultivos en zonas con pendientes.Las primeras investigaciones se realizaron en la Universidad de Kentucky, en el año 1974, diseñando maquinaria especializada.Tecnológicamente esta metodología de cultivo estaba dirigida a zonas que eran marginales para la agricultura. Desde un punto de vista empresarial el problema era grave, las constantes labranzas habían generado una caída de rendimientos de importancia y una disminución de la rentabilidad de los sistemas norteamericanos de agricultura permanente (Méndez y Satorre, 1998). En la actualidad el sistema de cero labranza puede ser considerado como uno de los modelos más representativos de la sustentabilidad. Las principales razones por las que la cero labranza se ha desarrollado masivamente, responden a necesidades esencialmente económicas, además de conservación de suelos y de eficiencia de uso de los recursos.

La cero labranza consiste en poner directamente la semilla de los cultivos sobre el suelo, sin remover los residuos del cultivo anterior. Es un elemento central en agricultura de conservación, que responde a la necesidad de mantener y/o mejorar la calidad de los recursos naturales renovables en el proceso productivo agrícola. La necesidad de realizar una agricultura sustentable está obligando a incorporar varios elementos agronómicos básicos en la agricultura además de la mínima o ninguna remoción del suelo y la mantención de los rastrojos de los cultivos sobre el suelo, tales como la rotación de cultivos, la cobertura permanente del suelo, el uso de abonos verdes y el control integrado de plagas y enfermedades. La cero labranza se puede utilizar en diversos tipos de cultivos, incluyendo cultivos anuales, hortícolas, frutícolas y forestales. Es una aproximación diferente hacia la agricultura que es aplicable a propiedades de cualquier tamaño. Sus principios están siendo investigados y desarrollados y la tecnología está siendo implementada en grandes áreas agrícolas en el mundo, como Brasil, Argentina, EE.UU., Canadá, Paraguay y Australia. Es una práctica agronómica que permite cultivar el suelo con diferentes sistemas de producción manteniendo y/o aumentando su capacidad productiva.

La cero labranza es amigable con el medio ambiente ya que, además de disminuir o prácticamente detener la erosión del suelo, en el largo plazo aumenta su fertilidad disminuyendo los requerimientos de fertilizantes. Disminuye, además,

la contribución que el suelo hace al CO_2 de la atmósfera cuando es labrado y, por el contrario, captura carbono en el suelo (Capítulo 2). Las ventajas de esta técnica son muchas e incluyen aumentos de rendimiento y de productividad, reducción en el uso de combustible y de mano de obra, reducción del uso de insumos, aumento significativo en el contenido de materia orgánica y de la diversidad biológica en el suelo, reducción de la erosión (Cuadro 1.1).

Como todas las prácticas agronómicas, la cero labranza requiere de adaptación local, para lo que es esencial la experimentación. No tiene un paquete tecnológico fijo y el agricultor escoge las opciones más favorables para sus condiciones específicas. Constituye la mejor tecnología para alcanzar la sustentabilidad agrícola a largo plazo. Mundialmente la cero labranza se practica en alrededor de 72 millones de hectáreas (Cuadro 1.2). Aproximadamente el 47,5% del área corresponde a América Latina, 36,7% a los EE.UU. y Canadá, 12,5% a Australia y el 3,3% al resto del mundo (Derpsch, 2003). En Europa, Asia y África, a pesar de la existencia de experimentos de larga duración con resultados positivos, la cero labranza es poco practicada. En Chile, la superficie sembrada con cero labranza se ha estimado entre 130.000 (Cuadro1.1) y 200.000 ha (I.Vidal , comunicación personal[1]).

La cero labranza es un concepto integral que encierra mucho más que el cambio del arado por herbicidas y máquina de siembra directa. La cero labranza desafía conceptos actuales sobre labranza, fertilización, encalado, control de malezas y otros, muchos de los cuales se revisan en este libro. Es un nuevo concepto y una forma diferente de hacer agricultura que tiene su propia agronomía.

1 IvánVidal. Departamento de Suelos, Universidad de Concepción.

Cuadro 1.1. Comparación cualitativa entre preparación de suelos tradicional y cero labranza sobre algunas características del suelo y los cultivos (> 4 años de cero labranza continua)(adaptado de Solar, 2003).

	Convencional	Cero Labranza
Aspectos Químicos		
Materia Orgánica	Menor	Mayor
Fósforo	Menor	Mayor
Potasio	Menor	Mayor
Calcio y Magnesio	Menor	Mayor
Saturación de Al	Mayor	Menor
CIC	Menor	Mayor
Aspectos físicos		
Erosión	Mayor	Menor
Infiltración	Menor	Mayor
Temperatura	Mayor	Menor
Humedad	Menor	Mayor
Estabilidad de agregados	Menor	Mayor
Densidad	Menor	Mayor
Aspectos biológicos		
Lombrices	Menor	Mayor
Artrópodos	Menor	Mayor
Nódulos de soya	Menor	Mayor
Micorrizas	Menor	Mayor
Aspectos sanitarios		
Control biológico	Menor	Mayor
Plagas	Menor/ Mayor	Menor/ Mayor
Enfermedades	Menor/ Mayor	Menor/ Mayor
Malezas	Menor/ Mayor	Menor/ Mayor
Otros		
Mecanización Hp/ ha	Mayor	Menor
Mano de obra	Mayor	Menor
Rendimiento	Menor/ Mayor	Menor/ Mayor
Rentabilidad	Menor	Mayor
Medio Ambiente		
Herbicidas	Mayor/ Menor	Menor/ Mayor
Emisiones de CO2	Mayor	Menor
Calidad del agua	Menor	Mayor
Sustentabilidad	No	Si

Cuadro 1.2. Superficie mundial de Cero Labranza (Derpsch, 2003)

País	Área bajo cero labranza en el año 2002 (hectáreas)
USA [1]	22.410.000
Brasil [2]	17.356.000
Argentina [3]	14.500.000
Australia [4]	9.000.000
Canada [5]	4.080.000
Paraguay [6]	1.300.000
Bolivia [7]	417.000
Norte de India, Pakistan [8]	561.000
Sudáfrica [9]	300.000
España [10]	300.000
Uruguay [11]	250.000
Venezuela [12]	170.000
Chile [13]	130.000
Italia [14]	80.000
Colombia [15]	70.000
México [16]	50.000
Francia [17]	50.000
Ghana (100.000 agricultores) [18]	45.000
Otros (estimativa)	1.000.000
Total	72.069.000

Fuente: 1) CTIC, 2002; 2) FEBRAPDP, 2002; 3) AAPRESID, 2003; 4) Bill Crabtree, WANTFA, 2002; 5) J. Hebblethwaite, CTIC, 1997; 6) Proyecto Conservación de Suelos MAG – GTZ, 2002; 7) Carlito Los, 2002; 8) Raj Gupta, CIMMYT, 2003; 9), Richard Fowler, 2003; 10) Armando Martinez Vilela, 2003; 11) AUSID, 2003; 12) Rafael Sánchez, 2003; 13) Carlos Crovetto, 2002; 14), ECAF, 2002; 15) Roberto Tisnes, Armenia, 1999; 16) Javier Ekboir (ed), CIMMYT, 2002; 17) ECAF, 2002; 18) Ekboir, J. et al., CIMMYT, 2002.

Los aumentos en producción agrícola han estado asociados a una intensificación del uso del suelo, lo que ha generado varios problemas ambientales: a) acidez del suelo asociada al uso de fertilizantes amoniacales, b) salinidad y sodicidad asociada a regadío con aguas salinas o que dejan carbonato de sodio residual, c) pérdidas de carbono del suelo, d) erosión asociada a malas prácticas de labranza, e) aumento del CO2 ambiental como producto de la quema de rastrojos y de inversión de la capa superficial del suelo (aradura) y consecuente oxidación de la materia orgánica y e) contaminación de suelos y aguas por uso excesivo de fertilizantes y pesticidas. La consecuencia es un deterioro de la calidad de los recursos naturales que ha llegado incluso a expresarse como disminución de productividad de los suelos (Vlek et al., 1981) con el consecuente efecto en la relación costo/beneficio de algunas actividades productivas agrícolas.

Desde un punto de vista científico agronómico, la sustentabilidad de los sistemas agrícolas actuales ha sido cuestionada y la conveniencia de algunas prácticas está siendo investigada. La labranza y la quema de residuos vegetales están en esta última categoría. En Chile, en forma tradicional se ha realizado quema de los rastrojos del cultivo anterior, labranza con inversión de suelo y rastrajes incluso en suelos con alta pendiente. Esta práctica de labranza, que es tradicional, ha provocado pérdidas de suelo por erosión hídrica y eólica, encontrándose actualmente unas 11,5 millones de hectáreas con grado de erosión grave y muy grave (CONAMA, 1994). El secano de la Cordillera de la Costa de la zona central del país fue el granero de Chile durante el siglo XIX y en la actualidad es una de las zonas más afectadas por la erosión, en particular el tramo comprendido entre la V y VIII Regiones. En este sector, alrededor de un 63 % de la superficie (2 millones de hectáreas) está fuertemente erosionada (CONAMA, 1994). Un simple balance de carbono en el suelo muestra, por otra parte, el importante efecto de las prácticas agrícola tradicionales en el aumento del CO2 ambiental (Capítulo 2).

La ciencia agronómica ha tenido múltiples respuestas a los problemas mencionados, desde la introducción de técnicas de manejo integrado acopladas al uso de químicos más inocuos y específicos, con menor efecto ambiental, al desarrollo de sistemas más eficientes en el uso de insumos para control de malezas, manejo del agua y fertilizantes, incluyendo las técnicas de agricultura de precisión. Una de las respuestas agronómicas a los problemas ambientales originados en la intensificación de la producción agrícola ha sido el desarrollo de la cero labranza. Dos méritos esenciales de la cero labranza hacen que sea el tópico central de este libro: a) minimiza la erosión y b) reduce substancialmente la emisión de CO2 a la atmósfera junto con reciclar los nutrientes presentes en los residuos de los cultivos. Existen aprehensiones por parte de agricultores y técnicos para adoptar la cero labranza. Uno de los problemas que se mencionan como potenciales es la acumulación de residuos a niveles inmanejables, pero esto no es así y los niveles de rastrojos se estabilizan en valores de 6-10 T ha^{-1} dependiendo fundamentalmente de la rotación de cultivos que se usa (Capítulo 3). Otro problema es el control de malezas (Capítulo 7), sin embargo, a través de rotación de cultivos, el uso de abonos verdes y herbicidas se puede llegar a tener un buen control de las malezas. La compactación del suelo es otra preocupación en cero labranza. Las compactaciones inducidas por labranzas anteriores, en que se ha usado labranza tradicional, como pie de arado, o bien las compactaciones pedogenéticas, tienen que ser eliminadas antes de iniciar la cero labranza. El uso de arado cincel (y con menos frecuencia subsolador) ha sido suficiente en la mayoría de los casos para resolver este problema (Capítulo 5). En EE.UU. el 75% de la superficie con cero labranza se labra periódicamente argumentando en muchos de los casos problemas de compactación del suelo. En general se piensa que se ha sobreestimado este problema. La experiencia de agricultores brasileños muestra que después de 25 o 30 años de cero labranza se siguen teniendo rendimientos iguales o superiores a los de labranza tradicional (Derpsch, 2001).

Otra causa de aprehensión para el uso de la cero labranza es la dificultad para incorporar fertilizantes y pesticidas al suelo. La fertilización con fósforo y el uso de encalado para contrarrestar el pH ácido en el suelo se citan comunmente

en este contexto. El problema es más teórico que práctico ya que la experiencia ha mostrado que la aplicación de estos productos en cobertera, cuando se trabaja en cero labranza, los hace igualmente efectivos para sus fines (Capítulo 6).

Otra argumentación que se da comunmente para justificar la labranza es que ésta aumenta la tasa de infiltración de agua del suelo. Las gotas de agua lluvia producen sellamiento de la superficie del suelo cuando golpean directamente contra éste y en verdad disminuyen la tasa de infiltración de agua en el suelo. Debido al sellamiento, sólo una pequeña parte del agua lluvia consigue infiltrarse por lo que aumenta el escurrimiento superficial produciendo erosión. Cuando el suelo se encuentra cubierto con plantas o residuos de plantas, la masa vegetal absorbe la energía de las gotas de lluvia que caen, las cuales se escurren lentamente hasta la superficie del suelo donde infiltran. La cobertura vegetal del suelo impide el sellamiento de los poros. Un porcentaje alto del suelo cubierto con residuos vegetales favorece notablemente la infiltración de agua en el suelo.

La experiencia muestra que el suelo en cero labranza, idealmente nunca debiera dejarse sin cultivo. En general, los períodos de barbecho resultan en proliferación de las malezas y producción de semillas de malezas, reducción de la cobertura del suelo, erosión y posible lixiviación de algunos nutrientes. El tener el suelo permanentemente cubierto con un cultivo resulta en una reducción de la infestación de malezas y de sus semillas, aumenta la cobertura del suelo, aumenta el contenido de materia orgánica del suelo, evita la erosión y la pérdida de nutrientes por lixiviación y finalmente mejora las condiciones biológicas. Para cubrir períodos muy largos en que el suelo queda sin cultivos, es necesario sembrar abonos verdes.

Los agricultores chilenos están adoptando la cero labranza fundamentalmente porque mejoran su oportunidad de siembra y bajan sus costos (Acevedo et al.,1998). Sin embargo, dadas las condiciones climáticas mediterráneas, de baja pluviometría estival, que dificulta la descomposición del rastrojo del cultivo anterior, y la condición de alto rendimiento de los cultivos, en Chile, a diferencia de otras partes del mundo, se acumulan mayores cantidades de rastrojos sobre el suelo por lo que los agricultores realizan cero labranza con quema. Las altas cantidades de rastrojos sobre el suelo pueden generar problemas de mal establecimiento de plantas, cambios e intensificación de los problemas de plagas y enfermedades y dificultad en el control de malezas, todos problemas que requieren estudio (Capítulos 3,4,6,7 y 8). Estos problemas bajan el rendimiento de los cultivos, en particular de leguminosas como el lupino y oleaginosas como el raps. Por ello deben ser resueltos agronómica y localmente previo a esperar una adopción masiva de los agricultores en relación a estas prácticas.

Esta publicación se ha elaborado en parte con los trabajos presentados al Seminario "Sustentabilidad en Cultivos Anuales", organizado por la Cátedra de Agronomía de Cultivos Anuales y el Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile. El Seminario se realizó en el contexto del 53 Congreso Agronómico y fue auspiciado por la Sociedad Agronómica de Chile (SACH), el Fondo de Innovación Agrícola (FIA), la empresa SemAmeris y el Proyecto FONDEF D99I1081. En este libro se ha tomado parte de los conceptos allí vertidos y se han combinado con otras experiencias, en particular la de los autores en campos de agricultores de la

VIII región y los experimentos de largo plazo que realiza en estas materias la Universidad de Chile en el Campo Experimental Antumapu.
Existe la hipótesis que hay un efecto sinérgico entre las prácticas agronómicas de 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 suelo, disminuyendo al mismo tiempo la tasa de contaminación ambiental, particularmente con CO_2 (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), aspecto que parece corroborarse con antecedentes recientes (Capítulo 9).

Síntesis

- La respuesta a muchos problemas de sustentabilidad de la agricultura es la cobertura permanente del suelo y la no labranza para aumentar los niveles de materia orgánica del suelo. Los rastrojos, los cultivos de cobertura así como la rotación de cultivos son parte del sistema.
- Al cambiar de un sistema convencional de labranza del suelo al sistema de cero labranza se debe cambiar todo el sistema de una vez. Se requieren conocimientos sobre todos los componentes del sistema para tener éxito.
- La observación de que en los primeros años hay reducción de rendimientos en cero labranza está asociada al desconocimiento que se tiene de la agronomía de la cero labranza. Iniciar el sistema sin los conocimientos necesarios tiene alto riesgo de fracaso.
- Cuando el sistema se encuentre en su inicio y haya poca experiencia en una región determinada, es necesario realizar una etapa de investigación y desarrollo para evitar el fracaso del sistema.

Bibliografía.

ACEVEDO, E. 2003. Sustentabilidad en cultivos anuales. In: Sustentabilidad en Cultivos Anuales: Cero Labranza, Manejo de Rastrojos. Acevedo, E. (ed.). Santiago, Universidad de Chile. Fac. de Cs. Agronómicas, serie Ciencias Agronómicas N°8. 9-12p.

ACEVEDO, E. y MARTINEZ, E. 2003. Sistema de labranza y productividad de los suelos. In: Sustentabilidad en Cultivos Anuales: Cero Labranza, Manejo de Rastrojos. Acevedo, E. (ed.). Santiago, Universidad de Chile. Fac. de Cs. Agronómicas, serie Ciencias Agronómicas N°8. 13-27p.

ACEVEDO, E. y SILVA, P. 2003. Sistema de labranza y sustentabilidad agrícola en cultivos anuales. (En prensa, Simiente).

ACEVEDO, E., SEPULVEDA, N., CAZANGA, R. y ARIAS, J.1998.Evaluación técnico-económica de la cero labranza y manejo de residuos en cultivos tradicionales, en condiciones de secano, para la VIII región de Chile: Una solución

ambientalmente sustentable en la producción de cultivos anuales. pp 107-126.En: III Encuentro de Economistas Agrarios. Tomo II "Economía Agraria". Santiago de Chile.

CONAMA, 1994. Perfil ambiental de Chile. Comisión Nacional del Medio Ambiente. 569p.Santiago de Chile.

DERPSCH, R., 2001. Conservation Tillage, No-tillage and related technologies. In: Conservation Agriculture, a Worldwide Challenge. L. García-Torres, J. Benites, A. Martínez-Vilela Eds. Proceedings First World Congress on Conservation Agriculture, Madrid, 1-5 October, 2001, Volume 1: Keynote Contribution, p 161-170.

DERPSCH, R. 2003. Expansión mundial y últimos avances tecnológicos en siembra directa. In: Memorias del Simposio "Manejo Sustentable de Suelos Chilenos". Vidal, I. (ed.) 18-20 de Junio 2003, Chillán, Chile. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Boletín N°19.118-139.

GARCIA DE CORTAZAR, V. 2003. Simulación de la dinámica de los rastrojos sobre el suelo en cero labranza. En: Sustentabilidad en Cultivos Anuales: Cero Labranza, Manejo de Rastrojos. Acevedo, E. (ed.). Santiago, Universidad de Chile. Fac. de Cs. Agronómicas, serie Ciencias Agronómicas N°8. 99-110.

MADARIAGA, R. 2003. Vida después de la muerte: Rastrojos e incidencias de enfermedades en cultivos anuales. In:Sustentabilidad en Cultivos Anuales: Cero Labranza, Manejo de Rastrojos. Acevedo, E. (ed.). Santiago, Universidad de Chile. Fac. de Cs. Agronómicas, serie Ciencias Agronómicas N°8. 157-164.

MENDEZ, C. y SATORRE, E. 1998. Introducción a la Cero Labranza. En: Balsategui, J. (Ed.). Cero Labranza. Buenos Aires. pp 6-9.

MERA, M. y ROUANET, J.L. 2003. Contribución de las leguminosas de grano en rotación con cereales: una revisión. In: Sustentabilidad en Cultivos Anuales: Cero Labranza, Manejo de Rastrojos. Acevedo, E. (ed.). Santiago, Universidad de Chile. Fac. de Cs. Agronómicas, serie Ciencias Agronómicas N°8. 135-156p.

RIQUELME, J. 2003. Mecanización agrícola en cero labranza. In: Sustentabilidad en Cultivos Anuales: Cero Labranza, Manejo de Rastrojos. Acevedo, E. (ed.). Santiago, Universidad de Chile. Fac. de Cs. Agronómicas, serie Ciencias Agronómicas N°8. 111-133.

ROUANET, J.L., PINO, I., URIBE, H., NARIO, A., SCHULLER, P., BORIE, F., BARRIENTOS, L., PARADA, A.M., ALVEAR, M. y MERA, M. 2003. Manejo integrado suelo-planta y desarrollo sustentable de la agricultura del sur de Chile. In: Sustentabilidad en Cultivos Anuales: Cero Labranza, Manejo de Rastrojos. Acevedo, E. (ed.). Santiago, Universidad de Chile. Fac. de Cs. Agronómicas, serie Ciencias Agronómicas N°8. 29-55p.

SILVA, P. 2003. Efecto alelopático de los rastrojos. In: Sustentabilidad en Cultivos Anuales: Cero Labranza, Manejo de Rastrojos. Acevedo, E. (ed.). Santiago, Universidad de Chile. Fac. de Cs. Agronómicas, serie Ciencias Agronómicas N°8. 83-98.

SOLAR, B. 2003. Aspectos económicos de la cero labranza. In: Sustentabilidad en Cultivos Anuales: Cero Labranza, Manejo de Rastrojos. Acevedo, E. (ed.). Santiago, Universidad de Chile. Fac. de Cs. Agronómicas, serie Ciencias Agronómicas N°8. 165-184.

VIDAL, I. y TRONCOSO, H. 2003. Manejo de rastrojos en cultivos bajo cero labranza. In: Sustentabilidad en Cultivos Anuales: Cero Labranza, Manejo de Rastrojos. Acevedo, E. (ed.). Santiago, Universidad de Chile. Fac. de Cs. Agronómicas, serie Ciencias Agronómicas N°8. 57-82p.

VLEK, P., FILLERY, R. and BURFORD, J. 1981. Fate of nitrogen in arid soils. Plant and Soil 58:133-175.

2

Efecto de la labranza en las propiedades del suelo

Las plantas obtienen del suelo el agua, aire y nutrientes, los que junto al carbono de la atmósfera, constituyen la base de los compuestos orgánicos que sintetizan. Las raíces crecen y exploran el suelo extrayendo agua y nutrientes, principalmente por intercepción. El suelo es, por lo tanto, esencial al crecimiento de las plantas. Un "buen suelo" es aquel que, además de proporcionar anclaje a las plantas proporciona suficiente agua, aire y nutrientes.

El suministro de agua y aire a las raíces depende fundamentalmente de las propiedades físicas del suelo, las que a su vez están altamente asociadas a su contenido de materia orgánica (MO), que es determinante de su estructura y porosidad. La nutrición de las plantas está por su parte asociada a las propiedades químicas del suelo, a su capacidad de almacenamiento y entrega de nutrientes, que también es función del contenido de materia orgánica, de la cantidad y tipo de coloides. Por lo tanto, el C orgánico del suelo es central a sus propiedades químicas, físicas y biológicas y a su productividad. La mantención y/o mejoramiento de la productividad del suelo y su manejo en forma sustentable están intimamente ligados a la mantención y/o aumento de su contenido de C orgánico. El contenido de C orgánico de un suelo es mayor cercano a su superficie y decrece en profundidad por lo que los procesos que afectan a la superficie del suelo son determinantes de su productividad.

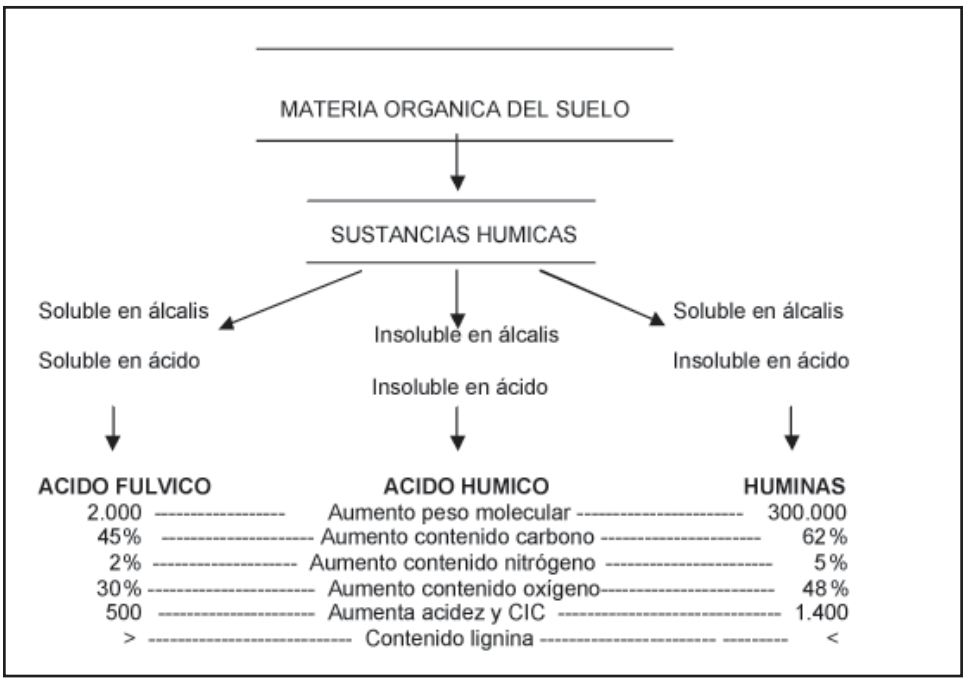
Materia orgánica del suelo.

La materia orgánica consiste en residuos vegetales en diversas fases de descomposición y restos de organismos y microorganismos que viven en el suelo y sobre él. El contenido y calidad de la materia orgánica depende del tipo de suelo, su manejo agronómico, el tipo de vegetación y las características climáticas.

La materia orgánica se puede clasificar en biótica y abiótica. La materia orgánica biótica está constituída por organismos vivos presentes en el suelo (microfauna y microorganismos como bacterias, hongos y actinomicetes). A pesar de representar menos del 1% de la materia orgánica, es responsable de la bioactividad que da lugar a la disponibilidad de nutrientes. La materia orgánica abiótica corresponde a la mayor proporción y está constituida por una parte más lábil y disponible como fuente energética y de nutrientes (C lábil), y una parte polimérica, compleja y más estable en el tiempo que corresponde al humus (C estable).

Las sustancias húmicas del suelo o simplemente humus corresponden a sustancias orgánicas difícilmente clasificables, que varían de estables a muy estables. Estas son de color obscuro, amorfas, coloidales, muy resistente al ataque microbiano y que presentan propiedades afines; representan entre el 60 y 90% de la materia orgánica total del suelo. La importancia del humus en el desarrollo de las plantas se debe principalmente a su elevada capacidad amortiguadora frente a cambios de pH, estabiliza la estructura del suelo, retiene una gran cantidad de agua y tiene una elevada capacidad de intercambio catiónico.
El humus se encuentra en el suelo en distintas formas, entre ellas están ácido fúlvico, ácido himatomelánico , ácido húmico y humina (Figura 2.1). Todas se caracterizan por poseer cargas eléctricas negativas y se pueden clasificar de acuerdo a su peso molecular y a su reacción frente a compuestos ácidos, alcalinos y alcohol. Estos polímeros, además de C, poseen cantidades variables de N, P y S, y algunos metales.

Figura 2.1. Principales componentes de la materia orgánica del suelo (adaptado de Collins, et al., 1997).



Los ácidos fúlvicos forman complejos estables con cationes polivalentes (Fe^{+++}, Al^{+++}, Cu^{++} y otros), lo que permite disminuir la fijación de fosfatos por parte de éstos y por los sesquióxidos de aluminio y de fierro. Los ácidos himatomelánicos son una mezcla compleja de compuestos húmicos y de ácido húmico.
Los ácidos húmicos son los que se encuentran en mayor abundancia. Sus características físico químicas les permiten tener una gran capacidad de retención

de agua y una fuerte carga negativa, que mejora significativamente la capacidad de intercambio catiónico del suelo. Los ácidos húmicos pueden formar sustancias complejas con iones metálicos y son responsables de la formación de la estructura del suelo y de la disponibilidad y movilidad de determinados nutrientes.
Las huminas son los componentes más estables del suelo y se unen fuertemente a las arcillas que éste contenga. Su aporte es importante en el aumento de la capacidad de intercambio catiónico.
Un estudio realizado en suelo trumao Santa Bárbara (VIII Región) con un sistema de CL por más de catorce años, mostró un aumento notable del C en ácidos húmicos (Figura 2.2).

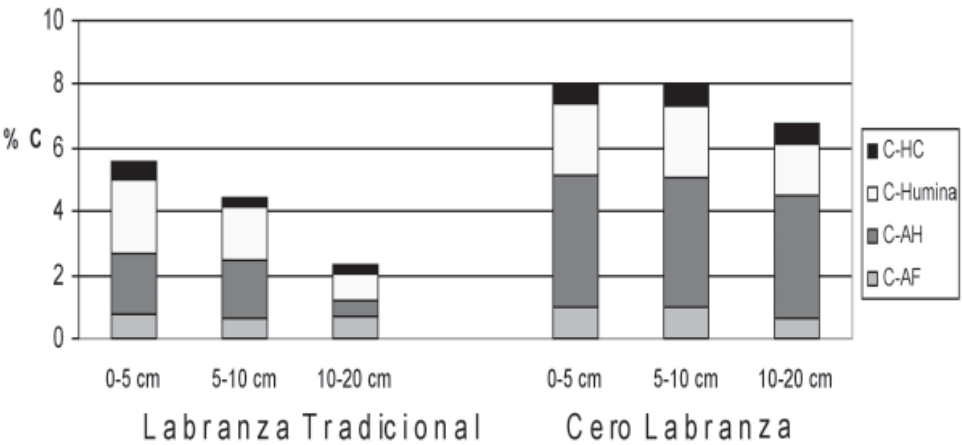


Figura 2.2. Distribución porcentual de las fracciones orgánicas en un andisol de la serie Santa Bárbara (C-HC : hidratos de carbono, C-Humina : humina , C-AH : ácidos húmicos, C-AF : ácidos fúlvicos) (Aguilera et al., 1996).

Sistemas de labranza y capacidad productiva de los suelos.

La labranza es una práctica que facilita labores agrícolas, entre las que destacan control de malezas, formación de cama de semillas que lleven a una buena germinación y establecimiento del cultivo, incorporación de fertilizantes y pesticidas al suelo, incorporación de materia orgánica y residuos del cultivo anterior. La labranza consiste comúnmente en la inversión y mullimiento de la capa superficial del suelo (15-30 cm) a través de araduras y rastrajes que, cuando se operan con una humedad adecuada, resultan en una disgregación y mullimiento del suelo mejorando las propiedades mecánicas para su posterior intervención (siembra u otro).
Junto con facilitar las labores de siembra, controlar malezas y generar el mullimiento deseado, la labranza, principalmente aquella que invierte el suelo, tiene algunos efectos no deseados. Expone el suelo a los principales agentes erosivos (agua y viento) y facilita el contacto con un alto contenido de oxígeno estimulando la actividad de los microorganismos del suelo, los que oxidan la

materia orgánica al utilizarla como fuente de energía. Así, dos grandes procesos destructivos se asocian a la labranza con inversión del suelo: erosión y oxidación (quema) de su materia orgánica. Estos dos procesos disminuyen la capacidad productiva del suelo. Con el primero de ellos hay ruptura y remoción física del suelo perdiéndose parte de la capa superficial y junto con ésta, la materia orgánica y nutrientes. La productividad baja de acuerdo a la magnitud de suelo removido por erosión ya que son las capas más superficiales las que tienen la mayor concentración de carbono y de nutrientes.

Al incorporar suelos a la agricultura disminuye su contenido de carbono y nitrógeno. La labranza tiene un efecto directo sobre esta pérdida. El Cuadro 2.1 muestra la magnitud de C de un suelo liberado después de diferentes manejos de labranza.

Cuadro 2.1. Porcentaje de carbono liberado de un suelo después de diferentes operaciones de labranza (Reikosky y Lindstrom, 1993).

	% C liberado (residuo=100)[1]
Aradura	134
Aradura + 2 rastrajes	70
Rastrajes	58
Cincel	54
Cero labranza	27

[1] Residuo de 4.12 T de trigo ha^{-1} incluyendo raíces (59% de MO es C y 45% del residuo de trigo es C).

Más de la mitad del CO_2 del tratamiento arado provenía de la materia orgánica residual del suelo y no del residuo recientemente incorporado. La aradura abre e invierte el suelo y al mismo tiempo que incorpora los residuos genera un rápido intercambio de O_2 y CO_2, lo que alimenta una "explosión poblacional" de microorganismos en el suelo. En cero labranza la mayor parte de los residuos quedan sobre el suelo, con una fracción pequeña en contacto con la humedad del suelo y a disposición de los microorganismos. Los residuos se descomponen lentamente. Para mejorar el balance de carbono el aspecto clave es mantener la oxidación biológica a un bajo nivel. Al arar se hace muy difícil aumentar el carbono orgánico del suelo (Cuadro 2.1).

Se estima que la labranza intensiva ha sido responsable de pérdidas entre 30 y 50% de C orgánico desde la incorporación de nuevos suelos a sistemas de cultivo tradicionales.

El suelo bajo las condiciones actuales de cultivo es una gran fuente de CO_2 atmosférico, contribuyendo al calentamiento global por aumento de gases de efecto invernadero. El total de C retenido en los suelos representa dos a tres veces la cantidad de C presente en la atmósfera como CO_2

El cambio hacia sistemas de labranza de conservación aumenta el contenido de C del suelo al reducir la erosión y la tasa de oxidación de la materia orgánica, reduciendo además las emisiones de CO_2 por el menor uso de combustibles fósiles. Un estudio reciente indica que en promedio, un cambio de labranza tradicional (LT) a cero labranza (CL) podría secuestrar 0,57 ± 0,14 T C ha^{-1} $año^{-1}$. La captura de C de la atmósfera está entonces estrechamente ligada a prácticas agronómicas, las que pueden contribuir a mitigar los efectos del cambio climático global.

Una reducción del contenido de MO del suelo puede generar además varios otros efectos perjudiciales en el medio ambiente debido a que frecuentemente resulta en una disminución de la fertilidad, aumento de la erosión, disminución del rendimiento, disminución de la tasa de infiltración de agua, y menor capacidad de retención de agua del suelo.

En los sistemas agrícolas tradicionales los balances de carbono en el suelo son generalmente negativos ya que comunmente se queman los rastrojos de la cosecha anterior y se invierte la superficie del suelo para preparar la cama de semilla. Los requerimientos de carbono para compensar estos efectos son del orden de 2 a 2,5 T ha^{-1}.

Sistemas de labranza y sus efectos en el C orgánico del suelo.

La CL introduce cambios importantes en la dinámica y balance de C en el suelo. Los rastrojos sobre la superficie y el no remover el suelo, trae como consecuencia directa una reducción en la tasa de descomposición de los rastrojos; una disminución de la mineralización de la materia orgánica del suelo, debido a una menor aireación y menor accesibilidad de los microorganismos a la misma; y un incremento de la estratificación de la materia orgánica en su distribución vertical a favor de los primeros centímetros del suelo. En resumen, el efecto de la CL en el balance de C orgánico es de disminución de las pérdidas. Se estima que la CL es uno de los principales mecanismos en la agricultura capaz de secuestrar C atmosférico y/o reducir las emisiones de gases con efecto invernadero como el CO_2. Este beneficio en CL es producto de:

1) Una disminución en la tasa de mineralización de la materia orgánica. Esto sucede durante un período de tiempo, hasta que se alcanza un nuevo equilibrio correspondiente al nuevo sistema de producción utilizado (20 ó más años). Observaciones realizadas en La Estanzuela (Uruguay) muestran que partiendo de un suelo con 3% de materia orgánica en los 20 cm superiores, el contenido de materia orgánica subió a 4% en 10 años. Ello implica una acumulación de aproximadamente 1 T C ha^{-1} $año^{-1}$ durante ese período. En un suelo mollisol de la zona central de Chile el contenido de materia orgánica ha subido de 2,22 a 2,62% (18%) en siete años de CL en los primeros 15 cm de suelo lo que implica una acumulación de aproximadamente 0,55 T C ha^{-1} $año^{-1}$ durante ese período.
2) Disminución de la erosión hídrica y el consecuente arrastre de materia orgánica. En los sistemas con LT son comunes pérdidas por erosión de 0,5 T C ha^{-1} $año^{-1}$ y mayores, las que serían prácticamente evitadas en CL.

3) Siembra de forrajeras perennes (gramíneas, alfalfa) producen importantes cantidades de biomasa subterránea que tiene una tasa de descomposición relativamente baja si se la compara con la biomasa aérea. El ensayo de rotaciones en La Estanzuela, mostró que luego de 30 años de aplicación de tratamientos, el suelo con rotación de cultivos y pasturas tenía entre 15 y 20 T C ha^{-1} más que con agricultura continua.

Para una rotación lupino-trigo-avena que alcanzaría 153.000 ha en la IX región se podría proyectar que al permanecer los rastrojos sobre la superficie del suelo existiría una menor emisión de C a la atmósfera cada año entre 369.000 y 415.000 T C considerando la quema de residuos postcosecha como única fuente de emisión de C.

Labranza y erosión.

La erosión hídrica del suelo y el transporte de sedimentos en un campo depende del impacto que causa la gota de lluvia en el desprendimiento de las partículas de suelo y en el escurrimiento del agua que contribuye a desprender y transportar los sedimentos en el sentido de la pendiente. Este proceso depende tanto de la naturaleza del suelo como de la lluvia y de la cubierta con plantas o residuos vegetales. La agricultura basada en cero labranza reduce la erosión causada por el viento y el agua mediante la protección física que ejerce la cobertura de residuos de cosecha de las temporadas anteriores depositados en la superficie del suelo.
Al remover el suelo mediante la labranza convencional, ya sea quemando o incorporando los residuos de la cosecha anterior, se destruyen los agregados naturales del suelo quedando particulados y expuestos a los agentes erosivos. Hay una relación positiva entre el grado de cobertura del suelo y la estabilidad de los agregados. Otros estudios muestran que la estabilidad de los agregados, indicada por el diámetro medio de los agregados, aumenta al realizar cero labranza y dejar los rastrojos sobre el suelo (Figura 2.3).

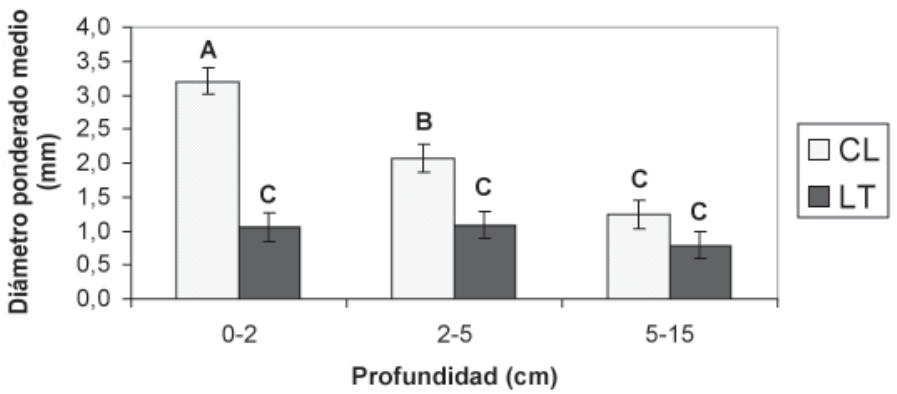


Figura 2.3. Sistema de labranza (CL = cero labranza y LT = labranza tradicional) y su efecto en el diámetro ponderado medio de los agregados (Reyes *et al*, 2002).

Asociado a la labranza y erosión hay pérdidas importantes de materia orgánica, de nutrientes y nitrógeno, como las señaladas en el Cuadro 2.2.

Cuadro 2.2. Estimación de las pérdidas de materia orgánica, N total en el suelo recolectado en parcelas de erosión en la temporada 1994 (Rodríguez y Ruz, 1994).

Sistema de labranza	Erosión (T ha^{-1})	Materia orgánica (Kg ha^{-1})	Nitrógeno (kg ha^{-1})
Convencional	12,8	1.830	84,5
Mínima	4,7	740	31,0
Cero	2,8	292	18,5
Pradera	1,3	192	8,5

Sistemas de labranza y propiedades físicas del suelo.

La materia orgánica tiene un rol importante en la estructuración de las partículas del suelo. A su vez, la estructura del suelo afecta su porosidad y por lo tanto, la retención y disponibilidad de agua del suelo. La Figura 2.4 muestra la humedad aprovechable con diferentes manejos de suelo. El contenido de humedad aprovechable para las plantas es mayor en CL que en LT, principalmente en los primeros 5 cm de profundidad. Existe un aumento de agua que infiltra en el suelo, un menor escurrimiento superficial y una menor evaporación superficial. El agua permanece almacenada por más tiempo en el perfil a disposición del cultivo, permitiendo un mejor uso de la humedad aprovechable. Por otro lado, el aumento de la materia orgánica permite almacenar más agua .

Al agregar materia orgánica al suelo con la cero labranza aumentan los poros de mayor diámetro, el agua es retenida con menor fuerza, la capacidad de aire del suelo es mayor y éste circula más libremente.

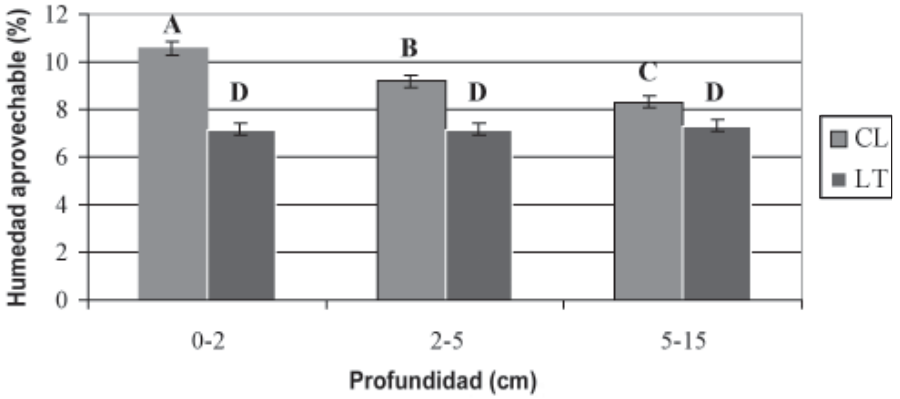


Figura 2.4. Valores de humedad aprovechable (CC - PMP) para CL y LT, en un mollisol de la zona central de Chile Letras distintas representan diferencias significativas ($P \leq 0,05$) según prueba de rango múltiple de Duncan (Reyes et al., 2002).

La conductividad hidráulica del suelo a saturación o capacidad del suelo de transmitir agua cuando está saturado aumenta notablemente (Cuadro 2.3) facilitando la infiltración del agua.

Cuadro 2.3. Conductividad hidráulica del suelo bajo diferentes sistemas de manejo, tratamientos. (C= control, PG=paja más 24 T de guano con paja incorporado en el suelo, Q = paja quemada en el otoño después de la cosecha, +N=paja incorporada al suelo más 90 K/ha de N) (Pikul y Allamaras, 1986).

Tratamiento	Superficie descubierta	Cubierta de rastrojo	Pie de arado	Suelo
	———————————	K_{SAT} mm/s	———————————	
C	1,08	1,97	0,34	1,74
PG	2,24*	3,61	0,85*	1,80
Q	1,52	3,15	0,29	1,76
+N	2,36*	4,15	0,23	1,89
LSD (0,05)	0,89		0,25	

* Significativo al 5%

La capacidad de infiltración aumenta al manejar el suelo en CL. Esto se atribuye a un aumento en la materia orgánica que se encuentra en la superficie, al aumento de la actividad de las lombrices de tierra y a la mantención de la continuidad de los poros desde la superficie del suelo hasta los horizontes más profundos, que no son alterados por la acción de labores mecánicas de labranza. La materia orgánica sobre el suelo evita el sellamiento superficial ocasionado por las gotas de lluvia y da mayor estabilidad a los agregados.

Los rastrojos sobre el suelo disminuyen la radiación directa sobre éste y el mayor contenido hídrico del suelo en cero labranza aumenta la cantidad de calor necesaria para subir su temperatura, por lo que los suelos bajo cero labranza generalmente son más fríos y pueden demorar la emergencia y crecimiento inicial de las plantas cultivadas. La CL, al dejar la totalidad de los rastrojos sobre la superficie y crear condiciones de mayor humedad aumenta la capacidad calórica del suelo e induce menores temperaturas para iguales niveles de radiación en comparación al sistema de LT, moderando las fluctuaciones a través de las estaciones de crecimiento. Las temperaturas en LT presentan una tendencia a ser mayores que en CL en todas las profundidades, pero la diferencia tiende a ser mayor en superficie y disminuir en profundidad.

Una temperatura más uniforme a lo largo del año permite mantener activa la población de organismos y microorganismos del suelo, evitando períodos de latencia por bajas temperaturas como puede ocurrir en LT. De este modo, se obtiene una descomposición más rápida de los rastrojos provenientes de los distintos cultivos.

El espacio poroso del suelo se distribuye entre agua y aire en proporciones que dependen del grado de saturación con agua. La capacidad de aire de los suelos o contenido volumétrico de aire cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo, generalmente se torna limitante al crecimiento de las plantas cuando disminuye de un 10% en volumen (Figura 2.5). La cero labranza aumenta la proporción de poros de mayor diámetro aumentando su capacidad de aire.

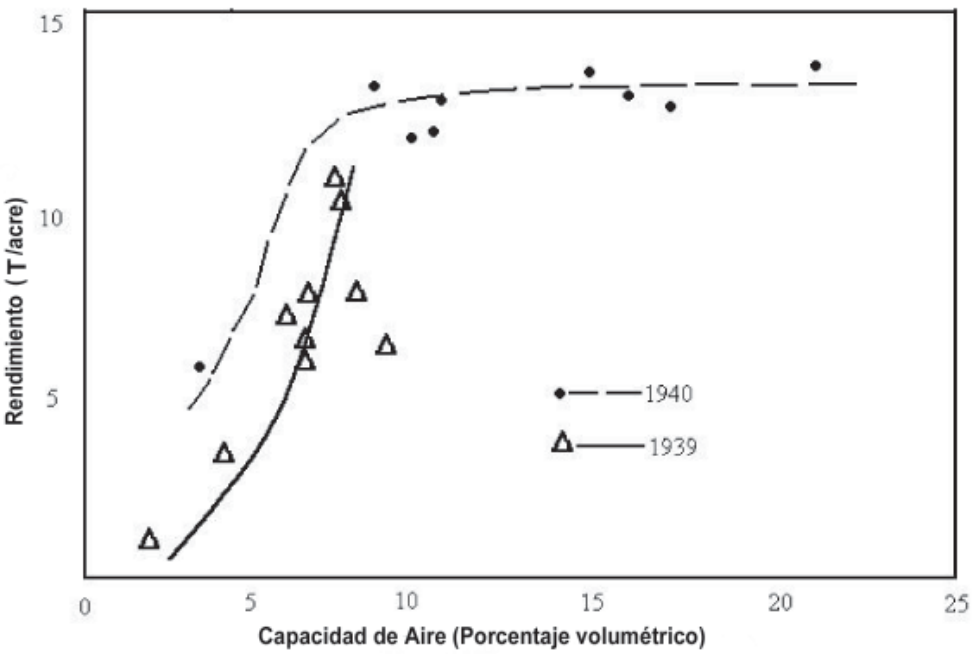


Figura 2.5. Efecto de la capacidad de aire del suelo sobre el rendimiento (Baver y Farnsworth, 1940).

Al aumentar la materia orgánica del suelo debería disminuir la densidad aparente, y con ello aumentar la porosidad y disminuir la resistencia a la penetración y al crecimiento de las raíces de los cultivos (Figura 2.6) permitiendo una mejor exploración de agua y nutrientes del suelo por las plantas. El efecto de la materia orgánica sobre la densidad aparente ocurre en parte por el aumento de la actividad biológica que se logra con los aportes de ésta a través de los rastrojos. Las lombrices, con su capacidad de movimiento en el perfil, mezclando y creando galerías, inducen a la formación de poros, aumentando así el espacio no ocupado por sólidos. La densidad aparente de los suelos está relacionada con el contenido de materia orgánica, en forma inversa. Suelos de la Cordillera de la Costa de la VIII Región bajo LT poseían un contenido de materia orgánica en los primeros 5 centímetros de 1,42% y densidad aparente de 1,3 g cm^{-3} , después de 7 años de CL, el contenido de materia orgánica de este mismo suelo subió a 5,32% en tanto que la densidad aparente bajó a 0,95 g cm^{-3}. Simultáneamente, las mejores condiciones de humedad condicionan un mejor desarrollo de las raíces, lo que permite aumentar el espacio poroso del suelo y disminuir su densidad aparente.

El uso de herramientas para labrar el suelo tiende a destruir su estructura. Como resultado se obtienen suelos polvorientos en períodos secos y compactados durante los períodos húmedos, sensibles a la erosión y al encostramiento. Para generar o recuperar la estructura, se requiere de tiempo y manejo que favorezca la formación de sustancias agregantes. La materia orgánica durante su descomposición y mineralización produce un efecto agregante y contribuye directamente a tener una estructura más estable.

En el caso de suelos con pendiente, los rastrojos frenan el desplazamiento del agua, permitiendo su infiltración y acumulación en el espacio poroso. Fenómeno que también permite disminuir la erosión y sus consecuentes efectos negativos. Por otro lado, este aumento de la infiltración del agua en el suelo aumenta la lixiviación de nutrientes, especialmente del nitrógeno.

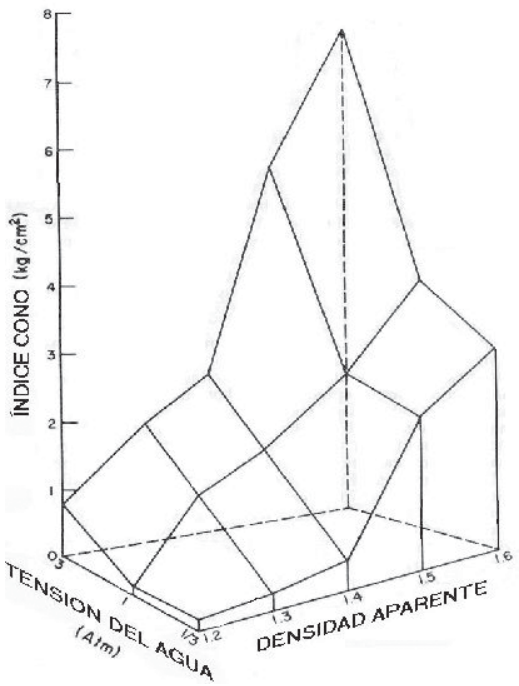


Figura 2.6. Resistencia a la penetración en función de la densidad aparente y humedad del suelo (Singh y Ghildyal, 1977).

Sistemas de labranza y propiedades químicas del suelo.

El principal efecto de la cero labranza sobre las propiedades químicas del suelo está vinculado al aumento de la materia orgánica de éste. La Figura 2.7 muestra el cambio de MO después de cuatro años de cero labranza en un suelo mollisol de Chile central en que se cultiva una rotación trigo-maíz dejando los residuos de cosecha sobre el suelo. La mayor acumulación de materia orgánica ocurrió en los primeros dos centímetros del suelo cultivado con cero labranza, pero la

diferencia con el suelo cultivado con labranza tradicional ocurrió hasta los cinco centímetros de profundidad.

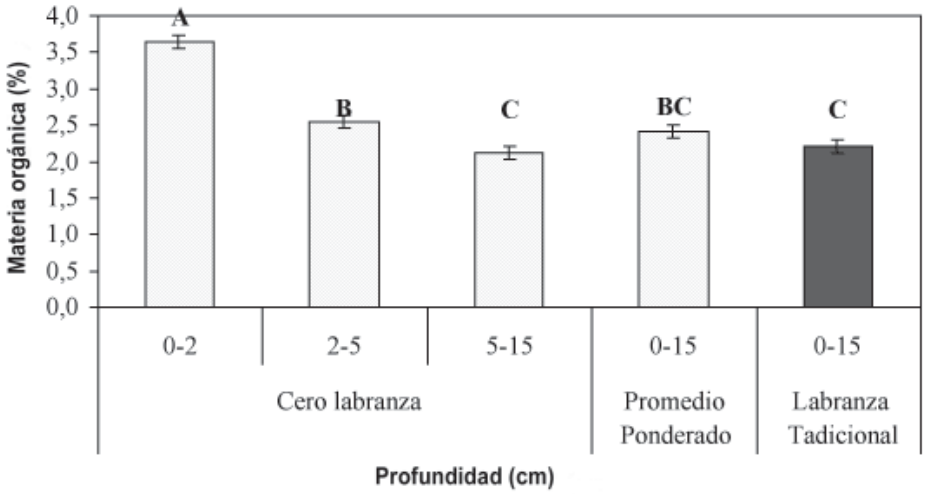


Figura 2.7. Sistema de labranza y acumulación de materia orgánica en un mollisol de Chile central (Reyes et al., 2002).

La importancia de la materia orgánica en las propiedades químicas del suelo radica en el aporte directo de nutrientes esenciales como N, P y S y micronutrientes presentes en la materia orgánica, además de aportar coloides que aumentan substancialmente la capacidad de intercambio catiónico del suelo. Cabe mencionar que prácticamente la totalidad del nitrógeno aportado por el suelo a un cultivo proviene de la descomposición de la materia orgánica por lo que, en general, a mayor contenido de materia orgánica lábil en el suelo hay mayor disponibilidad de nitrógeno.

La materia orgánica, al contribuir con coloides orgánicos, aumenta la capacidad de intercambio de cationes (CIC) del suelo (Cuadro 2.4), teniendo como consecuencia directa un aumento significativo de la fertilidad de éste. La presencia de materia orgánica favorece la creación de una reserva de bases. En este caso, el catión predominante es el calcio (Ca^{++}), el cual permanece adherido a los coloides orgánicos junto a otros cationes importantes como Mg^{+}, K^{+}, Na^{+} y NH_4^{+}, siendo capaz de intercambiarlos con la solución del suelo. Como consecuencia, no sólo se potencia un suministro de nutrientes acorde con las necesidades de las plantas, sino que se evita, en parte, la pérdida de éstos por lixiviación.

Cuadro 2.4. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) , contenido de materia orgánica, y variación del complejo de cambio bajo CL y LT (Crovetto, 1992).

Sistema de manejo	Profundidad (cm)	MO (%)	CIC	Ca (meq $100g^{-1}$)	Mg	K	Na	Suma	%SB
Tradicional	0-5	1.4	11	4.75	2.02	0.49	0.25	7.51	68.27
(5 años trigo)	5-10	1.24	11	5.50	2.14	0.47	0.27	8.38	76.18
	10-20	1.00	11	4.88	2.02	0.45	0.29	7.64	69.45
Cero labranza	0-5	5.32	18	12.00	2.43	0.83	0.32	15.58	86.56
7 años	5-10	2.84	13	7.00	1.67	0.61	0.24	9.52	73.23
Maíz – Trigo	10-20	2.24	13	7.00	2.06	0.47	0.25	9.78	75.23

Los resultados muestran que la CL presentó los valores más altos de materia orgánica y de capacidad de intercambio catiónico, en los tres niveles de profundidad del suelo. Además, se observó un alto porcentaje de saturación de bases, donde el catión que predomina es el calcio, seguido por el magnesio, potasio y sodio.
La cero labranza además disminuye el pH del suelo, aumenta el contenido de fósforo y potasio asimilable pero disminuye la concentración de nitratos (Capítulo 8).

Sistemas de labranza y propiedades biológicas del suelo.

El cultivo de los suelos genera una serie de cambios en la estructura y actividad biológica del suelo. Sin considerar la introducción de sustancias químicas tóxicas, como pesticidas, los cambios en la abundancia y actividad biológica del suelo pueden estar relacionados a cambios en los factores reguladores de ella, como temperatura, agua, cantidad y distribución de materia orgánica.
La microflora y/o microfauna del suelo aumenta con el aporte de materia orgánica a través de los rastrojos, especialmente en los primeros 5 cm de suelo. Suelos sometidos a sistema de CL, permiten aumentar la población microbiana en un 30 a 40%. La función más importante la realiza la acción combinada e integrada de hongos, actinomicetes, bacterias e individuos pertenecientes a la mesofauna, que transforman la materia orgánica proveniente de rastrojos en humus.
Un buen nivel de materia orgánica estable implica una buena agregación, hidratación en la zona de la rizósfera y un reservorio importante de macro y micronutrientes, como también de materia orgánica de bajo peso molecular o disponible como fuente de energía para la microflora y actividad biológica. También asegura la disponibilidad y transporte de nutrientes en la solución del suelo.
En estudios realizados en la Cordillera de la Costa de la VIII Región de Chile, se comparó el efecto de la CL y LT sobre algunas propiedades biológicas del suelo, como se aprecia en los Cuadros 2.5 y 2.6.

Cuadro 2.5. Recuento microorganismos del suelo en diferentes sistemas de labranza (Crovetto, 2002).

Microorganismo	Cero Labranza	Labranza tradicional
Bacterias aeróbicas viables	(±+)	(±-)
Bacterias fijadoras de N no simbióticas	(+)*	(-)
Bacterias nitritadoras	(+)	(-)
Bacterias nitratadoras	(+)	(-)
Hongos viables	(±)	(±)
Esporas de micorrizas vesiculo-arbusculares	(+)	(-)
Levaduras viables	(+)	(-)*
Algas	(±)	(±)
Actinomicetes viables	(±+)	(±-)

(+): mayor, (-): menor, (±): sin diferencias, (±+): tendencia a aumentar, (±-): tendencia a disminuir
*: Más estable durante el año.

Cuadro 2.6. Recuento organismos de la mesofauna del suelo en diferentes condiciones de labranza (Crovetto, 2002).

Organismo	Cero Labranza	Labranza tradicional
Mesofauna total	(+)	(-)
Insectos	(+)	(-)
Ácaros	(±+)*	(±-)
Ciempies	(±+)	(±-)
Nemátodos	(+)	(-)
Lombrices	(+)**	(-)

(+): mayor, (-): menor, (±): sin diferencias, (±+): tendencia a aumentar, (±-): tendencia a disminuir
*: Mayor durante el mes de diciembre probablemente debido a la excepcional precipitación de 88 mm.
**: Mayor durante el período húmedo

En un suelo mollisol de la zona central de Chile, se midió el número y peso de lombrices en tres situaciones de manejo: LT, CL (3 años), y CL (6 años). Los resultados del Cuadro 2.7 muestran que en LT no se registraron lombrices. Además la población de lombrices aumentó en forma directa con el tiempo de incorporación del suelo al sistema de CL. Estos resultados podrían relacionarse con la mayor disponibilidad alimenticia en los sistemas de conservación y con los mayores contenidos de humedad en CL (Acevedo y Silva, datos no publicados).

Cuadro 2.7. Cantidad de lombrices en distintos sistemas de labranza.

Sistema de labranza	Número(Lombrices ha^{-1})	Peso seco(kg ha^{-1})
Labranza tradicional	0	0
Cero labranza, 3 años	620.000	28
Cero labranza, 6 años	2.760.000	104

Cambios en la productividad del suelo asociados a la cero labranza.

La cero labranza promueve la acumulación de MO, principalmente en los primeros centímetros del perfil del suelo. El manejo de la MO, incluyendo el uso de los residuos de cosecha y abonos orgánicos, es considerado un factor fundamental debido a sus beneficiosos efectos en la calidad del suelo, la productividad sustentable del suelo, y su capacidad para secuestrar carbono. Se ha estimado que para un suelo franco de las Grandes Planicies de EE.UU. un aumento de 1 T ha^{-1} de MO en los primeros 30 cm del suelo es equivalente a un aumento de productividad de 15 kg ha^{-1} en granos de trigo. La adición de materia orgánica, sin embargo, aunque puede mejorar la productividad del suelo, no elimina la necesidad de fertilizar, debido a las grandes cantidades de nutrientes que se requieren para obtener un retorno económico.

Síntesis.

- Hay evidencia de falta de sustentabilidad en los sistemas agrícolas de cultivos anuales en que se realiza labranza con inversión de suelo. El problema se genera por la exposición del suelo a la erosión hídrica y eólica y por la oxidación de la materia orgánica con la consecuente pérdida de carbono del suelo.
- Los balances de carbono en suelos en que se realiza labranza tradicional son negativos.
- La cero labranza, manteniendo los rastrojos sobre el suelo, evita la erosión y ayuda a almacenar carbono en el suelo mejorando sus propiedades físicas, químicas y biológicas, aumentando su productividad y haciendo que el suelo cumpla un rol de almacenamiento de carbono desde el punto de vista ambiental.
- Cuando se cambia el manejo de un suelo de labranza tradicional a cero labranza hay un período de transición en el que se produce un cambio gradual en las propiedades del suelo hacia condiciones agronómicas más favorables. Para llegar a este nuevo equilibrio se requiere de un período largo de tiempo.
- Esta práctica agronómica que, además, disminuye las emisiones de CO_2 a la atmósfera por menor consumo energético, tiene complejidades que deben ser consideradas en su adopción para tener éxito productivo (Capítulos 6 y 8).

Bibliografía.

AGUILERA, S.M., BORIE, G., DEL CANTO, P. y PEIRANO, P. 1996. Contribución del sistema conservacionista cero labranza en los niveles de C, P y bioactividad de suelo Santa Bárbara. Agricultura Técnica. 56 (4): 250-254.

BAVER, L.D. and FARNSWORTH, R.B. 1940. Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. Soil Sci. Soc. Am. J. 58:185-193.

COLLINS, H.P., PAUL, E.A. PAUSTIAN, K. and ELLIOT, E.T. 1997. Characterization of soil organic carbon relative to its stability and turnover. CRS Press Inc, New York. p 52-54.

CROVETTO, C. 1992 Rastrojos sobre el Suelo. Una Introducción a la Cero Labranza. Santiago, Chile, Ed. Universitaria. 301 p.

CROVETTO, C. 2002. Cero Labranza. Los Rastrojos, la Nutrición del Suelo y su Relación con la Fertilidad de las Plantas. Talcahuano, Chile, Trama Impresores. 225 p.

REIKOSKY, D.C. and LINDSTROM, M.J. 1993. Effect of fall tillage method on short term carbon dioxide flux from soil . Agron. J. 85:1237-1243.

REYES, J.I., MARTÍNEZ, E., SILVA, P. y ACEVEDO, E. 2002. Labranza y propiedades de un suelo aluvial de Chile central. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo Boletín N°18:78-81.

RODRÍGUEZ, S.N. y RUZ, J.E. 1994. Comparación de las pérdidas de suelo y nutrientes en el cultivo de trigo con tres sistemas de labranza en la precordillera. In: 3era Jornadas Nacionales de Cero Labranza. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Serie Carillanca 43: 177-187.

PIKUL, J.L.J.R. and ALLAMARAS, R.R. 1986. Physical and chemical properties of a haploxeroll after fifty years of residue management. Soil Sci. Soc. Am. J. 50:214-219.

SINGH, R. and GHILDYAL, B.P. 1977. Influence of soil edaphic factors and their critical limits on seedling emergence of corn (*Zea mays* L.). Plant and Soil 47:125-136.

3

Rastrojos y su manejo

Los rastrojos corresponden a la biomasa aérea de los cultivos anuales que queda en el campo como residuo después de la cosecha. En general, los rastrojos constituyen entre un 55 y un 75 % de toda la biomasa aérea del cultivo. La cantidad de residuos que pueden quedar sobre el suelo después de la cosecha depende del tipo de cultivo, su índice de cosecha y de su rendimiento. El Cuadro 3.1 da valores de índice de cosecha (fracción de la biomasa aérea de un cultivo que es cosechada) para diferentes cultivos. Si la cosecha obtenida en un cultivo se divide por el índice de cosecha se obtiene la biomasa aérea total del cultivo. Si a la biomasa aérea se le resta el valor de la cosecha se obtiene la cantidad de rastrojo que queda en el campo, de acuerdo a la siguiente relación,

$$R = B * IC \qquad (1)$$

en que R es el rendimiento (Kg ha^{-1}), B es la biomasa aérea (Kg ha^{-1}) e IC es el índice de cosecha (adimensional). Si se cosechan 48 qq ha^{-1} de trigo, que tiene un IC de 0,45 (Cuadro 3.1), la biomasa aérea total sería de 106,7 qq ha^{-1} (48 / 0,45) y la cantidad de rastrojos que queda en el campo sería de 58,7 qq ha^{-1} (106,7 – 48) o 5,9 T ha^{-1}. La estimación de los rastrojos que quedan sobre el suelo después de realizada la cosecha de un cultivo es importante en cero labranza ya que para cualquier tratamiento del rastrojo es esencial conocer su cantidad.

Cuadro 3.1. Indice de cosecha (IC) y relación Carbono / Nitrógeno (C/N) de los rastrojos de los principales cultivos anuales chilenos.

Cultivo	**IC**	**C/N**
Trigo	0,45	80-90
Arroz	0,44	80-90
Cebada	0,45	80-90
Maíz	0,46	50-60
Lupino	0,38	30-40
Lenteja	0,37	30-40
Suelo		10-12
Microorganismos del suelo		6-7

Descomposición del rastrojo.

Los rastrojos sobre el suelo se descomponen lentamente, a una velocidad que está determinada principalmente por tres factores: humedad del rastrojo, temperatura del rastrojo y su relación carbono / nitrógeno (C/N). Su tasa de descomposición aumenta linealmente con su humedad, siendo máxima cuando el rastrojo esta cercano a saturación. La humedad del rastrojo no depende tanto de la cantidad de lluvia como de su frecuencia, o número de eventos pluviométricos en un determinado tiempo, debido a la magnitud de su capacidad para almacenar agua (como máximo 3 Kg H_2O Kg^{-1} materia seca o 3 mm si hay 1 kg rastrojo m^{-2}). La tasa de descomposición del rastrojo aumenta, además, linealmente con la temperatura teniendo un máximo a 30°C. La temperatura se puede aproximar por la temperatura de cobertizo meteorológico. A menor relación C/N, mayor es la tasa de descomposición del rastrojo. La relación C/N depende esencialmente del tipo de rastrojo (Cuadro 3.1).
Debido a la alta relación C/N de los rastrojos de cereales de invierno y a los altos volúmenes de producción, sus rastrojos son los de mayor dificultad de descomposición.
Las Figuras 3.1 y 3.2 muestran valores simulados de rastrojos sobre el suelo, estimados usando las relaciones de García de Cortazar et al (2003) en una rotación trigo-avena y trigo-lupino para las zonas de Santiago y Temuco en condiciones de secano.

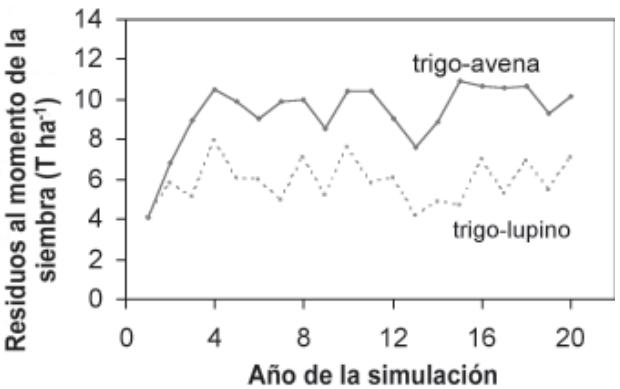


Figura 3.1. Valores simulados de rastrojos sobre el suelo para la zona de Santiago (García de Cortazar, datos no publicados).

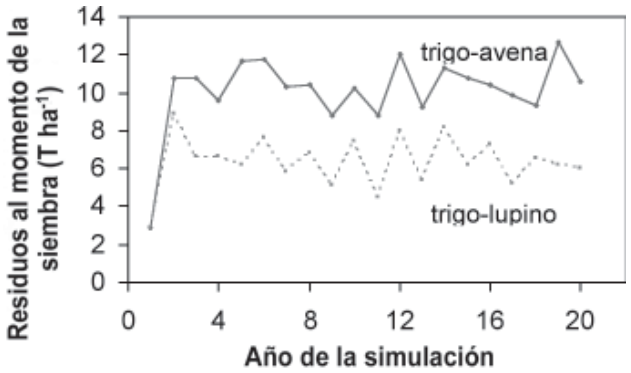


Figura 3.2. Valores simulados de rastrojos sobre el suelo para la zona de Temuco (García de Cortazar, datos no publicados).

Se puede apreciar que a partir del cuarto año hay una estabilización de la cantidad de rastrojos en la rotación trigo-lupino de aproximadamente 6,5 T ha^{-1} en Santiago y de 7,6 T ha^{-1} en Temuco. La cantidad de rastrojos de la rotación trigo-avena se estabiliza en 9,0 T ha^{-1} en Santiago y en 10 T ha^{-1} en Temuco.

Tanto el C como el N tienen una función importante en la dinámica de los rastrojos en el suelo y, dependiendo de la relación que se encuentren en los rastrojos, determinan su velocidad de descomposición. En la mayoría de los suelos la relación C/N varía entre 10 y 12. La relación C/N de los rastrojos fluctúa entre 30 (leguminosas) y 80 (gramíneas), dependiendo directamente del cultivo en cuestión (Cuadro 3.1). Este es un factor importante de considerar al fertilizar con N un cultivo que se haya sembrado con rastrojos sobre el suelo. Es notable el hecho que en el proceso de descomposición del rastrojo e incorporación a la materia orgánica del suelo la relación C/N debe disminuir substancialmente (Cuadro 3.1). Ello implica dos grandes procesos, liberación de C a la atmósfera en forma de CO_2 e inmobilización de N, ya sea por organismos heterótrofos o bien por incorporación en compuestos húmicos. La cero labranza, a diferencia de la labranza tradicional, no tiene una liberación neta de CO_2 a la atmósfera sino que secuestra carbono en el suelo, el que es incorporado a la materia orgánica del suelo, pasando de una relación C/N alta (60-90) en el rastrojo, con un porcentaje relativamente alto de MO lábil, a un valor cercano a 10 en el suelo en que predominan los compuestos estables en la MO. Este proceso indica que junto al secuestro de C debe haber un secuestro de N asociado. En cereales con relación C/N del rastrojo de 90, se secuestrarían del orden de 10 Kg de N por cada 200 Kg de rastrojo (100 Kg de C) que pase a formar parte de la MO del suelo. Así, en Antumapu, por ejemplo, donde se ha medido un secuestro del orden de 500 Kg de C ha^{-1} $año^{-1}$ (Capítulo 2) se estarían secuestrando del orden de 50 Kg ha^{-1} $año^{-1}$ de N, los que pasarían a formar parte del pool poco lábil de N del suelo (Capítulo 6).

En un suelo aluvial de la zona central de Chile manejado con CL por 4 años en una rotación trigo-maíz, se obtuvo un valor medio de C/N a la profundidad de 0-15 cm de 9,13. El valor fue más alto para los 2 cm superficiales (11,07),

disminuyendo con la profundidad hasta los 15 cm. El valor de la relación C/N en LT entre 0-15 cm fue 8,80. La diferencia entre CL y LT fue significativa sólo para los 2 cm superficiales de suelo.
La biodegradación de los rastrojos requiere de una cantidad suficiente de N. Si la relación C/N es muy amplia (relación C/N superiores a 25 o contenidos de N inferiores a 1,5%), los microorganismos deben extraer este elemento del suelo, produciéndose un agotamiento en perjuicio de los cultivos establecidos. Este fenómeno se llama comúnmente "Hambre de Nitrógeno" y, además de limitar la descomposición de los residuos, puede afectar el resultado del cultivo. Si no existe suficiente N se retardarán los procesos de mineralización de los residuos y la humificación. Por este motivo, es indispensable considerar el N adicional necesario para cubrir el desequilibrio. Antes de cada siembra se debe agregar nitrógeno nítrico sobre el rastrojo, ya sea como nitrato de sodio, nitrato de calcio o nitrato de amonio.

Efectos de los rastrojos sobre el suelo.

Los rastrojos de los cultivos, al ser picados y distribuidos uniformemente, se ubican sobre el suelo, en la interfase entre el suelo y la atmósfera. En esta interfase se producen fenómenos muy importantes como son la partición y balance de agua, el balance de radiación y el balance de energía. Los rastrojos actúan como una barrera física alterando estos balances. La radiación solar en un suelo con rastrojo ya no incide directamente sobre la superficie del suelo sino que lo hace sobre el rastrojo. El proceso de evaporación de agua desde la superficie del suelo depende de la energía aportada por la radiación solar directa. Al no incidir la radiación sobre el suelo sino que sobre el rastrojo, baja la evaporación directa de agua desde el suelo, disminuyendo la pérdida de agua por este concepto y mejorando el balance hídrico del suelo en favor de la disponibilidad de agua a las plantas.
La menor radiación recibida por la superficie del suelo hace que su temperatura sea más baja y los procesos biológicos más lentos (Figura 3.3).

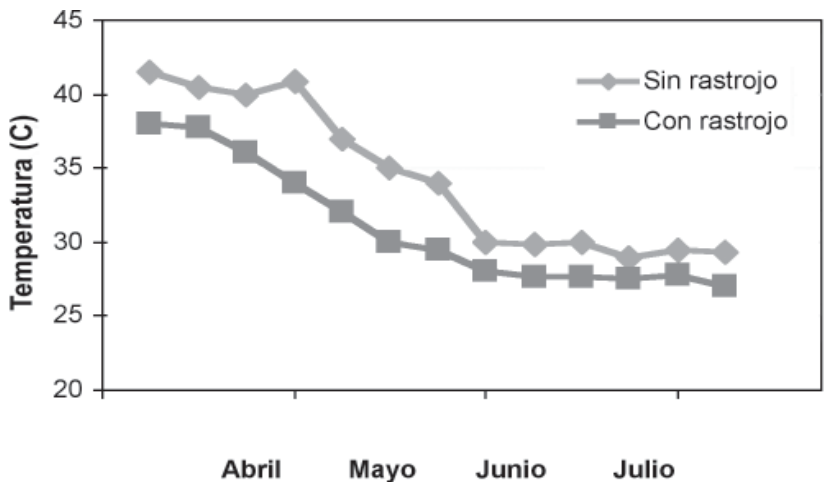


Figura 3.3. Efectos de un rastrojo sobre la temperatura del suelo a 5 cm de profundidad en maíz sembrado en IITA, Nigeria (Bolaños, 1988).

Por otra parte, la energía con que llegan a la superficie las gotas de lluvia es disipada al chocar éstas con los rastrojos por lo que el agua lluvia no rompe la estructura del suelo y se infiltra lentamente sin producir sellamiento superficial ni erosión hídrica. Cantidades de residuos pequeñas, en relación a un suelo libre de residuos, como un nivel de cobertura del suelo de 40%, son suficientes para reducir la erosión provocada por el impacto de la gota de lluvia en forma significativa. A un mismo nivel de cobertura los rastrojos de algunos cultivos como trigo ofrecen una mejor protección al suelo que rastrojos más gruesos como de maíz.
Por lo anteriormente expuesto los rastrojos de los cultivos pueden utilizarse como mulch o acolchado con el fin de:

- Proteger el suelo de la erosión hídrica y eólica. El rastrojo baja la energía cinética de la lluvia.
- Disminuir el escurrimiento superficial del agua.
- Favorecer la infiltración del agua.
- Disminuir la evaporación directa del agua desde el suelo.
- Generar coloides orgánicos por descomposición.
- Mejorar la estructura y estabilidad de los agregados del suelo.
- Evitar el encostramiento superficial de los suelos.
- Evitar las temperaturas muy altas y muy bajas en el suelo.
- Aportar elementos nutritivos a las plantas y mejorar la fertilidad del suelo a través de su descomposición.
- Mejorar la actividad biológica del suelo al mejorar sus condiciones hídricas, térmicas y biológicas.

Efecto de los rastrojos sobre los cultivos.

Los rastrojos sobre el suelo presentan algunos problemas agronómicos de tipo físico operativo, particularmente en la siembra, y químicos ya que se pueden generar compuestos que afecten el crecimiento de las plantas (compuestos alelopáticos, Capítulo 4). Por esto los rastrojos deben manejarse entre un mínimo necesario para que cumplan con sus funciones (2 T ha^{-1}) y un máximo que evite los problemas físicos y de alelopatía.
No todos los cultivos se comportan igual frente a la cantidad de rastrojos. La Figura 3.4 presenta el efecto de la cantidad de rastrojos de trigo sobre el rendimiento de los cultivos de trigo, avena, lupino y raps en la precordillera de la VIII Región. Aunque se observó un menor establecimiento de estos cultivos la población final de espigas y el rendimiento de trigo y avena no se vieron afectados por la cantidad de rastrojos. Cultivos que poseen alta capacidad compensatoria (cereales de invierno) y frente a un bajo número de plantas inducen un mayor número de macollos, es posible que no vean afectado su rendimiento bajo la presencia de altas cantidades de rastrojo.
Para el caso de lupino y raps se observa un efecto depresivo del rastrojo sobre el rendimiento. En el caso del raps, el rendimiento disminuyó 88 Kg ha^{-1} por cada tonelada de rastrojo presente, esta situación se pudo deber a problemas mecánicos observados en la siembra que afectaron la germinación de una especie cuya semilla es muy pequeña y con bajo nivel de reservas. En lupino se observó una disminución del rendimiento de 265 Kg ha^{-1} por cada tonelada de rastrojo, esto se debió a una importante perdida de plántulas por ataque de hongos (*Rhizoctonia* y *Fusarium*) y a problemas alelopáticos de los rastrojos sobre este cultivo.

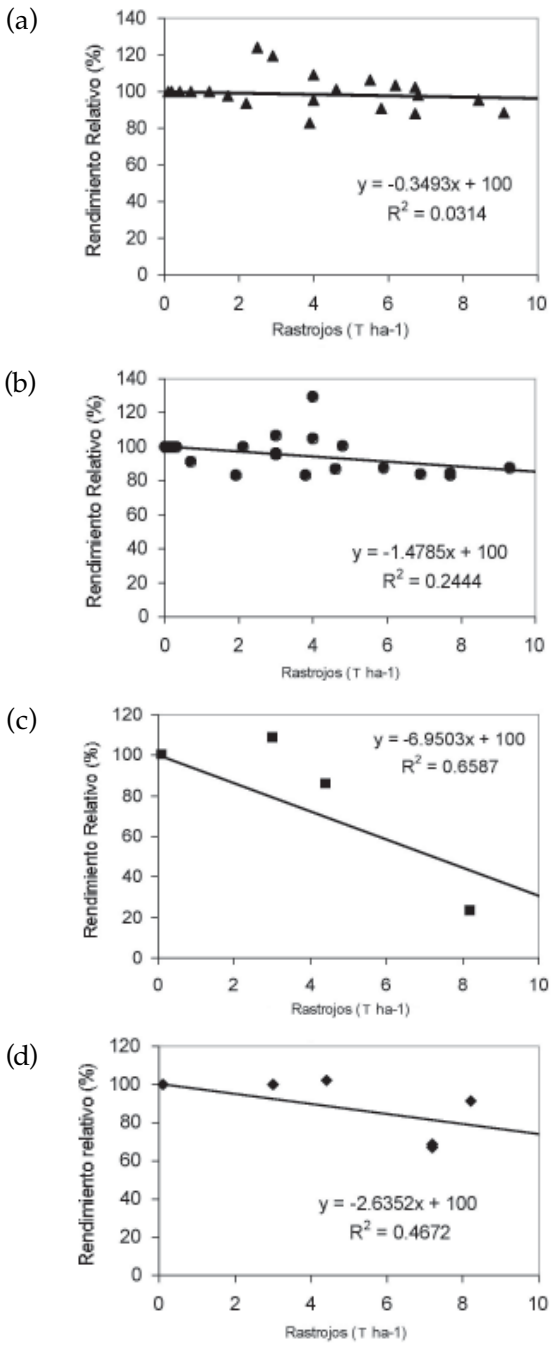


Figura 3.4. Relación entre cantidad de rastrojos sobre el suelo y rendimiento relativo de trigo (a), avena (b), lupino (c) y raps (d). Los datos se expresan en relación a tratamiento con quema que se considera un 100% (Vidal y Troncoso, 2003).

En el caso de leguminosas de grano sembradas sobre rastrojo de cereales la cantidad de rastrojos del cereal no debiera sobrepasar 2 T ha^{-1} al momento de la siembra de la leguminosa mientras no se disponga de variedades de cereales con bajo nivel alelopático, o bien de leguminosas resistentes a este efecto.

Manejo de los rastrojos.

El manejo de los rastrojos comienza durante la cosecha a través de la regulación de la altura de corte de la automotriz y la utilización de aditamentos, tanto a la salida de los sacapajas como de los harneros, que permitan esparcir en forma homogénea el rastrojo sobre el suelo. Para esparcir la paja a la salida del sacapajas de la automotriz se puede utilizar un picador que pique y esparza la paja. Su funcionamiento es similar al de una segadora rotativa o "rana", e incrementa en un 5 a un 8% la potencia total requerida de la automotriz. También se puede utilizar un esparcidor de molinete el que, a diferencia del anterior, sólo distribuye la paja sin picarla. En este caso la potencia adicional requerida es sólo de 1 a 1,5% del total. El capotillo que sale de las zarandas de limpieza debe quedar bien distribuido para evitar efectos alelopáticos. Aunque los fabricantes no suministren estos equipos, con un bajo costo es posible accionar dos sopladores que entreguen aire a presión a través de toberas dispuestas en forma de cruz a la salida de los harneros.

Posteriormente hay diferentes formas de manejar los rastrojos. Las más comunes son:

Dejar la paja parada. Se siembra entre las cañas paradas del cultivo anterior, en que se ha cosechado sólo la espiga y una fracción de caña en el caso de cereales. Se evitan labores de picado del rastrojo. Al usar esta práctica en la precordillera de la VIII Región no se ha observado disminución del agua aprovechable para las plantas o cambios importantes en el balance hídrico con respecto a la práctica que disemina en forma uniforme el rastrojo picado, pero es posible que el sistema de paja parada pueda ser menos efectivo en contrarrestar la erosión hídrica.

Hay resultados experimentales que señalan que el rastrojo parado puede ser una buena opción de manejo en algunos casos. La Figura 3.5 muestra la producción de materia seca en el primer año de una pradera de alfalfa establecida sobre diferentes niveles de rastrojo parado de trigo en Quiriquina (VIII Región). La alfalfa se estableció en septiembre con una sembradora de cero labranza con abresurco tipo cincel. Se observó durante la siembra que el rastrojo que estaba suelto sobre el suelo, provocó problemas en la sembradora, enredándose en los abresurcos de la máquina. El rastrojo en pie del tratamiento de 100% de residuos (5 T ha^{-1}) no generó ese problema. Se requiere de una adecuada selección de los abresurcos de la máquina, los que deben contar con discos cortadores de rastrojos.

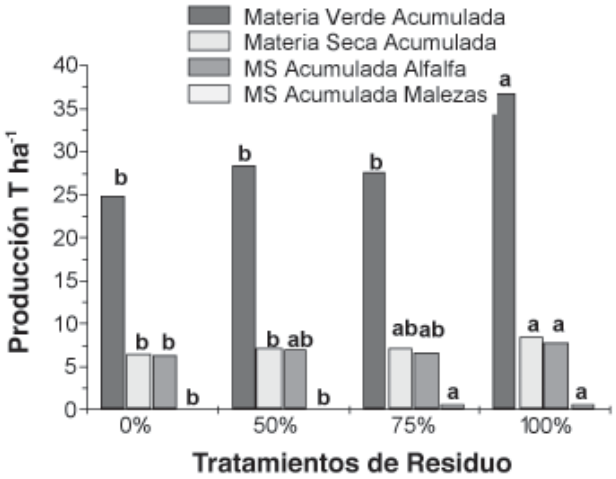


Figura 3.5. Producción acumulada (T ha^{-1}) de la pradera de alfalfa. El 100% de residuos correspondió a 5 T ha^{-1} de rastrojo de trigo parado que no se cortó y se dejó tal como estaba después de enfardar el cordón de paja que dejo la cosechadora (Riquelme, 2003).

Picar o cortar el rastrojo. El rastrojo se deja sobre la superficie del suelo en trozos de 10 a 15 cm de largo. A mayor cantidad, éste se debe picar más fino para disminuir el volumen y facilitar la siembra. Esta práctica permite un mejor contacto entre el suelo y el rastrojo lo que aumenta la actividad microbiana en la etapa inicial de la descomposición. Es así como en ensayos realizados en la precordillera de la VIII Región se ha observado que picando el rastrojo se obtiene hasta 3 T ha^{-1} menos de rastrojo a la siembra comparado con el rastrojo parado. El picado de rastrojo tiene un costo aproximado de $10.000 por hectárea.

Hilerar el rastrojo. Una vez que el rastrojo se ha picado se usa un rastrillo de descarga lateral que acumula el rastrojo en hileras cada 7 a 10 m. La siembra se realiza entre las hileras, dejando sin sembrar el área ocupada por las hileras que corresponde aproximadamente a un 8 a 13% de la superficie del campo. El costo del hilerado puede variar entre los $ 5.000 a $10.000 la hectárea.

Manejo de los rastrojos con animales. Consiste en pastorear los rastrojos luego de cosechado el cultivo. Se deben manejar cargas animales bajas para evitar compactación de suelo , o bien altas cargas por cortos períodos de tiempo. Esta es una muy buena opción de manejo para sistemas agrícola-ganaderos de producción que permite reducir el monto de rastrojos a los niveles deseados. La paja de cereales es asimilable en un 65 % por el ganado vacuno. El otro 35 % se convierte en guano. Se puede mejorar la palatabilidad de la paja asperjando sobre el campo con una mezcla de (100 l de melaza + 5 Kg de urea + 100 l de agua) ha^{-1}.

Extracción de los rastrojos del campo.

Los rastrojos extraídos pueden ser utilizados en:

- Alimentación animal.
- Cama de animales.
- Llenado de silos que provengan de forrajes con exceso de humedad.

- Lombricultura en mezcla con guano y otros residuos.
- Sustrato para el cultivo de hongos.
- Usos industriales como compactación (pellets), paneles aislantes, materia prima para celulosa y papel.

Síntesis.

- Los rastrojos sobre el suelo son esenciales para disminuir la erosión del suelo, capturar carbono, mejorar la estructura y balance hídrico del suelo y, en el largo plazo, mejorar la fertilidad.
- La descomposición de los rastrojos sobre el suelo está regulada fundamentalmente por la humedad, temperatura y relación C/N de los rastrojos.
- Hay cultivos que disminuyen su rendimiento en presencia de rastrojos, en particular las leguminosas sembradas sobre rastrojo de cereales, por lo que los rastrojos deben ser manejados.
- El manejo de los rastrojos comienza en la cosecha del cultivo anterior. Las opciones de manejo de rastrojos incluyen remoción parcial, hilerado, picado, paja parada y manejo con animales. La paja parada y el manejo con animales merecen especial atención.

Bibliografía.

BOLAÑOS, J. 1988. Suelos en relación a labranza de conservación: Aspectos físicos. In: Labranza de conservación en maíz. Barreto, H., Raab, R., Tasistro, A. y Violic, A. (eds.) CIMMYT, El Batán, México. 39-58.

CROVETTO, C. 1992. Rastrojos sobre el Suelo. Una Introducción a la Cero Labranza. Santiago, Chile, Ed. Universitaria. 301 p.

CROVETTO, C. 2002. Cero Labranza. Los Rastrojos, la Nutrición del Suelo y su Relación con la Fertilidad de las Plantas. Talcahuano, Chile, Trama Impresores. 225 p.

GARCIA DE CORTAZAR, V. 2003. Simulación de la dinámica de los rastrojos sobre el suelo en cero labranza. In: Sustentabilidad en Cultivos Anuales: Cero Labranza, Manejo de Rastrojos. Acevedo, E. (ed.). Santiago, Universidad de Chile. Fac. de Cs. Agronómicas, serie Ciencias Agronómicas N°8. 99-110.

GARCÍA DE CORTAZAR, V. SILVA, P. y ACEVEDO, E. 2003. Descomposición del rastrojo de trigo. Agricultura Técnica (Chile) 61(1):69-80.

RIQUELME, J. 2003. Mecanización agrícola en cero labranza. In: Sustentabilidad en Cultivos Anuales: Cero Labranza, Manejo de Rastrojos. Acevedo, E. (ed.). Santiago, Universidad de Chile. Fac. de Cs. Agronómicas, serie Ciencias Agronómicas N°8. 111-133.

VIDAL, I. y TRONCOSO, H. 2003. Manejo de rastrojos en cultivos bajo cero labranza. In: Sustentabilidad en Cultivos Anuales: Cero Labranza, Manejo de Rastrojos. Acevedo, E. (ed.). Santiago, Universidad de Chile. Fac. de Cs. Agronómicas, serie Ciencias Agronómicas N°8. 57-82.

4

Efecto aleopático de los rastrojos

La cero labranza, dejando los rastrojos sobre el suelo, es una práctica agrícola que tiene diversas ventajas, tales como disminución de la erosión hídrica y eólica y mejor balance hídrico y de nutrientes del suelo. Por otra parte, constituye uno de los factores más importantes secuestrantes de dióxido de carbono atmósferico. Además, desde el punto de vista agronómico, los rastrojos de trigo, cebada, avena, centeno y sorgo son efectivos supresores de malezas, especialmente malezas anuales de hoja ancha. Sin embargo, a pesar de sus ventajas, se ha observado menor tasa de germinación y largo de raíces cuando hay presencia de rastrojos, lo que se atribuye a productos químicos presentes en los rastrojos que afectan el establecimiento del siguiente cultivo. Existe evidencia de reducción del rendimiento en trigo debido a la presencia de rastrojos de sorgo sobre el suelo. Estudios realizados en Australia muestran que los residuos de trigo reducen el rendimiento, observándose recientemente en Chile su efecto de disminución de rendimiento en raps y lupino. En Oklahoma, EE.UU., se observó un efecto inhibitorio en el crecimiento de trigo de extractos de suelo provenientes de parcelas con tratamientos de labranza tradicional y cero labranza con rastrojos de trigo. El efecto negativo se presentó desde la cosecha del trigo y perduró por diez meses en los extractos de las parcelas de cero labranza, en cambio, en labranza tradicional se observó un efecto negativo sólo durante tres meses después de la cosecha. Esto ha sugerido la presencia de alelopatía en suelos trigueros, especialmente en los de cero labranza, debido probablemente a que los residuos en cero labranza tienen una descomposición microbiana más lenta.

Alelopatía.

La alelopatía se define como el grado de inhibición del crecimiento de una planta sobre otra, entre especies diferentes y entre cultivares de una misma especie, debido a la liberación de compuestos químicos (aleloquímicos). Los síntomas relacionados con estos compuestos en el campo son reducción de la germinación, menor vigor de la plántula, radículas con escaso desarrollo, amarillamiento de hojas y muerte de plántulas. En el caso de plántulas de lupino afectadas por aleloquímicos de rastrojos de trigo se observa menor largo de hipocotilo y menor largo y número de raicillas secundarias (Figura 4.1). Diversos autores señalan que el efecto de estos compuestos es más pronunciado en el crecimiento de la radícula que sobre la germinación o el crecimiento de brotes, lo que se evidencia en una reducción en la relación raíz:brote.

Los aleloquímicos están presentes en todos los tejidos de la planta, incluyendo flores, frutas, hojas, raíces, rizomas, semillas y polen. Estos compuestos son sintetizados y almacenados en diferentes células de la planta en forma libre o conjugada con otras moléculas y son liberados en el entorno en respuesta a diferentes estreses bióticos y abióticos. Se desconoce si los aleloquímicos son liberados en forma activa o pasiva y el modo de liberación de un agente alelopático depende de su naturaleza química.

Las plantas superiores liberan regularmente compuestos orgánicos por volatilización desde la planta viva, por lixiviado de compuestos solubles en agua por acción de la lluvia, neblina o rocío, o por exudado de las raíces (Figura 4.2). Los residuos del cultivo, como los rastrojos, liberan aleloquímicos al entorno a través de procesos de descomposición. Durante el proceso de descomposición se pierde la permeabilidad diferencial de las membranas y se activan enzimas hidrolíticas que permiten la liberación de compuestos fitotóxicos al medio.

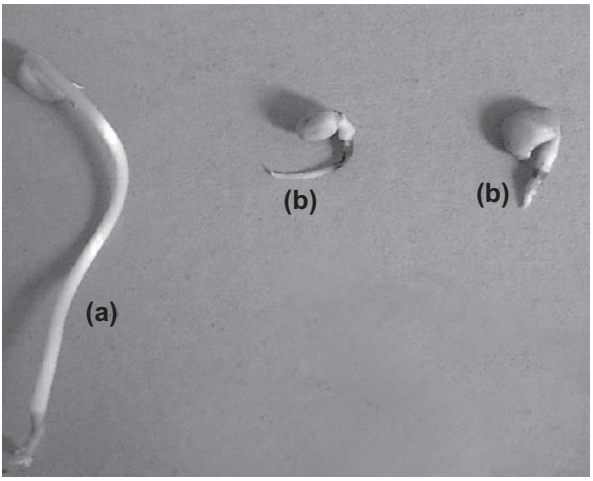


Figura 4.1. Sintomatología de alelopatía de rastrojos de trigo sobre plántulas de lupino. Plántula normal, coleoptilo largo (a), plántulas afectadas por aleloquímicos (b).

Los compuestos alelopáticos pueden afectar directamente a otras plantas o pueden ser utilizados por los microorganismos del suelo degradándolos o sintetizando nuevos aleloquímicos. Es así como un agente tóxico, patulina, producido por el hongo *Penicillum urticae Bainier* inhibe el crecimiento de plántulas de maíz y trigo. Este hongo comprende la mayor parte (90%) de la población fúngica en los residuos de trigo.

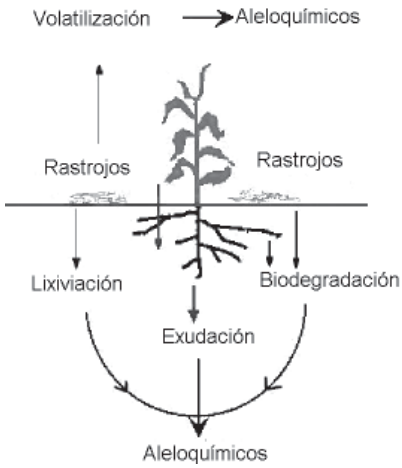


Figura 4.2. Liberación de aleloquímicos desde la planta.

Aleloquímicos asociados al rastrojo.

Cada especie posee distinto tipo y cantidad de aleloquímicos en su rastrojo, siendo los compuestos más comunes los ácidos fenólicos, los alcaloides y los ácidos hidroxámicos (Hx). Se identifica a los ácidos fenólicos como los principales responsables de la alelopatía de arroz y sorgo y a los ácidos hidroxámicos en centeno y trigo (Cuadro 4.1).

Cuadro 4.1. Principales aleloquímicos de cereales (Olofsdotter, 2002).

Cultivo	Aleloquímico
Avena	Escopoletina
Cebada	Hordenina
Arroz	Ac. fenólicos
Sorgo	Ac. fenólicos
Centeno	Ac. hidroxámicos (DIBOA)
Trigo	Ac. fenólicos/ Ac. hidroxámicos (DIMBOA)

Liberación de aleloquímicos desde los rastrojos.

Los rastrojos de cereales de invierno y en especial el trigo están compuestos en un 75% por caña y capotillo (glumas y aristas de las espiguillas), estructuras que poseen mayor contenido de C estructural y lignina por lo que su descomposición es más lenta. En arroz se ha determinado que el capotillo es el tejido con mayor efecto alelopático, por sobre las hojas y tallos. Estas estructuras se acumulan a la salida de las cosechadoras, por lo que se concentran en sectores del potrero.

Existe una estrecha correlación entre la producción de aleloquímicos y la cantidad de biomasa del cultivo. Altos rendimientos de los cultivos aumentan los problemas alelopáticos de sus rastrojos en condiciones de campo. Los suelos con rastrojos concentran un mayor porcentaje de estos compuestos en los primeros 2,5 cm de profundidad, observándose una mayor concentración de éstos en cero labranza que en labranza tradicional.

Los ácidos fenólicos se disuelven lentamente en agua a temperatura ambiente. Se puede acelerar su solubilización aumentando la temperatura y el pH. Mientras que los Hx se encuentran en forma estable como glucosidos en el tejido vegetal y son liberados por la acción de enzimas hidrolíticas, las cuales son activadas por la muerte del tejido. La descomposición da origen a la producción de aleloquímicos que se inicia con la presencia de humedad en el rastrojo y una temperatura del aire sobre congelación. Las condiciones óptimas para la descomposición del rastrojo son una temperatura ambiente de 30°C y un contenido relativo de agua (CRA) en el rastrojo de 100%. El rastrojo de trigo tiene una capacidad de almacenamiento del orden de 3 kg agua kg^{-1} MS, es decir, 10 T ha^{-1} de rastrojo de trigo almacenan 3 mm agua, por lo que lluvias superiores a estos niveles no afectan el proceso, más bien lo afectan los eventos de lluvia. Por otra parte, la humedad del rastrojo puede evaporarse en un día. En Chile, dadas las condiciones de clima mediterráneo con lluvias concentradas en los meses más fríos y veranos secos, las condiciones no son óptimas para la descomposición, por lo que los rastrojos se descomponen con lentitud. Por esta razón, en los secanos, la liberación de compuestos alelopáticos desde los rastrojos comienzan con las primeras lluvias del otoño, las temperaturas descienden haciendo la liberación de aleloquímicos más lenta, dejando a las siembras que se realizan en otoño más expuestas al problema.

El potencial alelopático de los rastrojos cambia durante la descomposición en el campo y además, cambia con la especie, es así como el rastrojo de trigo tiene un valor máximo de toxicidad a las cuatro semanas, perdiendo su efecto después de ocho semanas de iniciada la descomposición. La mayor toxicidad de los rastrojos de avena ocurre a la cosecha y, al igual que el trigo, desaparece su actividad inhibitoria ocho semanas después de iniciada la descomposición. La toxicidad de los rastrojos de sorgo y maíz es mayor a las 16 y 22 semanas, respectivamente, después de iniciada la descomposición. Ambos pierden su efecto alelopático después de 28 semanas (Cuadro 4.2).

Cuadro 4.2. Persistencia de los aleloquímicos de rastrojos (modificado de Guenzi et al., 1967).

Rastrojos	Tiempo desde que comienza la descomposición (semanas)	
	Máxima Fitotoxicidad	Cero Fitotoxicidad
Trigo	4	8
Avena	0	8
Sorgo	16	28
Maíz	8	28

La interacción de aleloquímicos con las semillas y raíces de plántulas en el suelo depende de la tasa de liberación del compuesto alelopático desde los rastrojos, la acción de microorganismos, la fijación por el suelo y la lixiviación desde el suelo.

Variabilidad genética en el potencial alelopático.

Los rastrojos de cereales menores como centeno, cebada, trigo, triticale y avena generan compuestos aleloquímicos, principalmente durante los primeros procesos de descomposición de sus rastrojos.
Potencial alelopático. Se ha encontrado variación en el potencial alelopático del rastrojo de distintos cultivares de arroz e híbridos de sorgo. En el caso de trigo existe evidencia de diferente potencial alelopático entre variedades para el control de malezas como ballica (*Lolium rigidum*) y sobre la germinación y elongación de la radícula de variedades de raps.

Variabilidad genética en la sensibilidad a la alelopatía de los rastrojos.

Hay variación en la sensibilidad a la alelopatía de los rastrojos. Es así como cultivares de soya presentan una mayor o menor reducción de su biomasa ante la presencia de rastrojos de trigo, dejando de manifiesto la posibilidad de seleccionar cultivares de soya más adaptados para una segunda siembra después de trigo (Cuadro 4.3). También se ha observado diferencias varietales en la germinación y elongación de la radícula en cultivares de raps ante la presencia de lixiviados de los rastrojos de trigo.

Cuadro 4.3. Tolerancia de los cultivares de soya al rastrojo de trigo (modificado de Herrin et al., 1986).

Materia Seca (g maceta-1)			
Cultivar	Tratamiento de rastrojo		
	Sin rastrojo	Con rastrojo	Tolerancia (%)
Davis	3,83	3,17	82
Centennial	5,50	4,38	79
Tracy M	5,44	3,51	65
Forrest	4,40	2,77	62

Las especies de lupino cultivadas en Chile (*Lupinus albus* y *Lupinus angustifolius*) han mostrado un menor establecimiento cuando se siembran directamente sobre rastrojo de trigo. Sin embargo, ambas especies se comportan diferente en siembras que se realizan con presencia de rastrojos en diferentes épocas. En el mes de Abril, *Lupinus albus* tiene perdidas de aproximadamente 25% de plantas en el establecimiento con respecto a un testigo en que se ha quemado el rastrojo, mientras que *Lupinus angustifolius* tiene perdidas de 40%. En siembras tardías, realizadas en el mes de Julio ambas especies tienen pérdidas no mayores al 20%

con respecto al testigo con rastrojo quemado (Figura 4.3). La diferencia en establecimiento de estas dos especies de lupino en las diferentes fechas se debe al efecto alelopático del rastrojo de trigo sobre lupino. Entre Abril y Julio hay suficiente tiempo y lluvia como para descomponer y lixiviar una fracción importante de los compuestos alelopáticos.

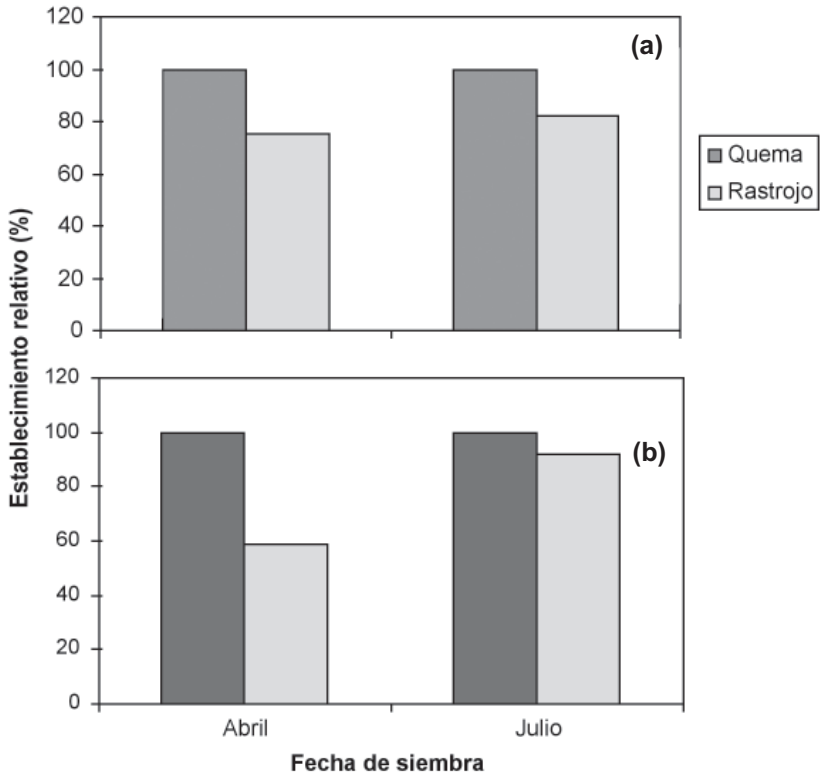


Figura 4.3. Establecimiento relativo (rastrojo quemado=100) de *Lupinus albus* (a) y *Lupinus angustifolius* (b) en presencia y ausencia de rastrojo en dos fechas de siembra (Silva, P. y Acevedo, E. datos no publicados).

Solución agronómica al problema de alelopatía de los rastrojos.

El efecto alelopático de los rastrojos sobre el suelo depende, en gran medida, del grado de descomposición que tengan los rastrojos antes de sembrar el próximo cultivo. Manejos como picar y distribuir uniformemente los rastrojos, regar y aplicar nitrógeno pueden acelerar la descomposición de los rastrojos y con ello pueden disminuir su efecto alelopático. El barbecho también puede reducir los efectos alelopáticos por la descomposición que ocurre durante este período de los residuos vegetales.

Para evitar la presencia de aleloquímicos puede retrasarse la fecha de siembra hasta después que hayan ocurrido lluvias que permitan la descomposición de los rastrojos junto con la solubilización y lixiviado de estos compuestos.

Hay alguna evidencia que siembras entre las hileras del cultivo anterior pueden permitir una mayor germinación y peso de plántulas que la siembra realizada sobre la hilera. La edad de la semilla también tiene un efecto sobre la tolerancia del cultivo a los rastrojos, siendo las semillas más recientes, de uno y dos años más tolerante que las de tres años. El tamaño de la semilla, por otra parte, no influye en una mayor o menor tolerancia a los aleloquímicos.
Las rotaciones que se realizan en cero labranza deben considerar el efecto alelopático de los rastrojos y la sensibilidad del siguiente cultivo. En trabajos realizados en invernadero se observó que rastrojos de cereales de invierno como trigo, triticale y avena no afectaron el establecimiento de los mismos cereales, sin embargo, estos rastrojos afectaron el establecimiento de leguminosas como garbanzo, lenteja y lupino. En Australia se ha encontrado una reducción en el establecimiento y rendimiento de trigo cuando se siembra sobre rastrojos de sorgo, trigo y raps. De éstos, el rastrojo de mayor toxicidad fue el de sorgo, que provocó 20% de reducción en el rendimiento de trigo (Figura 4.4). El sorgo posee en sus tallos, hojas y raíces componentes que reducen en un 75% la elongación de la radícula de plántulas de trigo.

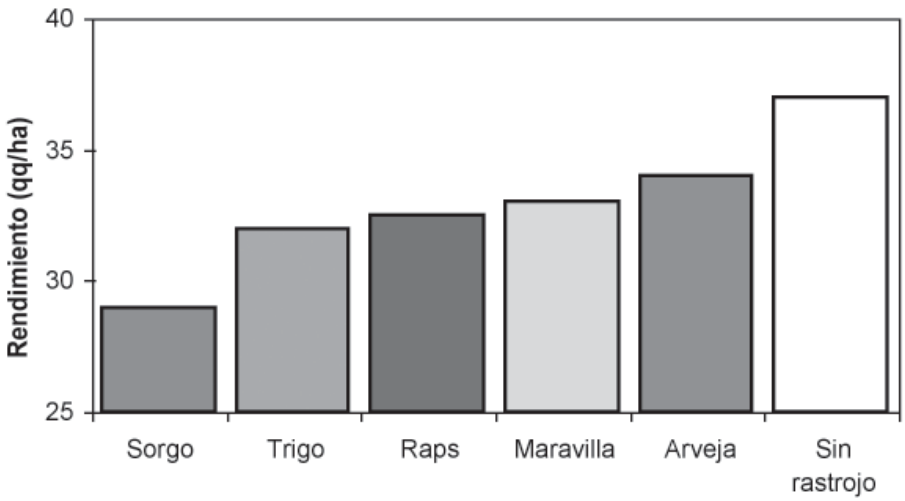


Figura 4.4. Rendimiento de trigo sin rastrojo y en presencia de 5 T ha^{-1} de rastrojos de distintos cultivos (Purvis, 1990).

Los agricultores australianos a menudo han señalado un aumento de rendimiento de trigo cuando se rota con raps. Ambos cultivos no se realizan en una misma temporada, por lo que existe tiempo suficiente para la descomposición de los rastrojos de raps previo a la siembra de trigo. Si el trigo se sembrara después de un cultivo de verano como sorgo o maravilla, el tiempo para el lixiviado y descomposición de los rastrojos sería insuficiente. En estos casos, la elección de cultivares y el manejo adecuado de la cantidad de rastrojos, especialmente en las colas de las cosechadoras, tiene importantes implicaciones para minimizar el efecto de los aleloquímicos.

En la zona central del país es común realizar segundas siembras inmediatamente después de un cultivo de invierno como el trigo. En ensayos realizados en invernadero y en condiciones de campo, con riego, en Antumapu (Santiago) se observó que los rastrojos de avena y trigo no afectaron el establecimiento de maíz ni el de maravilla. En este caso existe la posibilidad que las altas temperaturas del período hayan acelerado la degradación de los compuestos.

Finalmente, como se mencionó, existe diversidad genética tanto para el potencial alelopático de los rastrojos como para la sensibilidad de los cultivos a estos compuestos. La obtención de variedades de bajo potencial alelopático y/o alta resistencia a la alelopatía a través de mejoramiento genético es una interesante posibilidad al problema de alelopatía en siembras en cero labranza.

Síntesis.

- La liberación de aleloquímicos esta relacionada con la descomposición de los rastrojos. Manejos que aceleran la descomposición del rastrojo pueden permitir la liberación y degradación más rápida de estos compuestos.
- En general los rastrojos de cereales de invierno son fuertemente alelopáticos.
- El capotillo es el tejido con mayor efecto alelopático. Este tejido se acumula a la salida de las cosechadoras, por lo que es importante dispersarlo en el campo.
- Hay evidencia de variación genética intra especie para resistencia a la alelopatía y para la producción de compuestos alelopáticos por los rastrojos, por lo que existe la posibilidad de producir variedades con menor efecto alelopático y/o más resistentes a la alelopatía.

Bibliografía.

GUENZI, W.D., MC CALLA, T.M. and NORSTADT, F.A. 1967. Presence and persistence of phytotoxic substances in wheat, oat, corn, and sorghum residues. Agron. J. 59:163-165.

HERRIN, L.L., COLLINS, F.C. and CAVINESS, C.E. 1986. Techniques for identifying tolerance of soybean to phytotoxic substances in wheat straw. Crop Sci. 26:641-643.

OLOFSDOTTER, M. 2002. Allelopathy for weed control. [En línea]. (Consultado el 1 de Junio de 2002). http://www.agsci.kul.dk/weedsci/teaching/lectures/ukrudt/allelo98.

PURVIS, C.E. 1990. Differential responses of wheat to retained crop stubbles: I. Effect of stubble type and degree of decomposition. Aust. J. Agric. Res. 41:225-242.

SILVA, P. 2003. Efecto alelopático de los rastrojos. In: Sustentabilidad en Cultivos Anuales: Cero Labranza, Manejo de Rastrojos. Acevedo, E. (ed.). Santiago, Universidad de Chile. Fac. de Cs. Agronómicas, serie Ciencias Agronómicas N°8. 83-98.

5

Maquinaria[1]

En este capítulo se presentan dos tipos de sistemas mecanizados para la aplicación a la cero labranza, uno para predios de agricultores medianos y grandes y el otro para predios de pequeños agricultores.

Sistema mecanizado para medianos y grandes empresarios agrícolas.

Adecuación del suelo. Previo al uso de la cero labranza es necesario en algunos casos, dependiendo de la condición en que se encuentre el potrero, adecuar el suelo. Pueden existir problemas de microrelieve y/o compactación de suelo. Es necesario efectuar un manejo de suelo tendiente a mejorar el microrelieve y eliminar la compactación. Para impedir la pérdida por microrelieve en el manejo de suelo se pueden aprovechar los rastrojos que queden del cultivo anterior, evitando quemarlos, deben picarse utilizando un equipo apropiado como la trituradora de rastrojos, seleccionando aquella que cuente con un distribuidor de rastrojos. Luego, de preferencia se deben utilizar herramientas que efectúen una labranza vertical, como el arado cincel de vástago rígido, las que deben usarse con el suelo relativamente seco de modo de favorecer el rompimiento de las estratas compactadas. La necesidad de utilizar subsolador dependerá de una evaluación técnica apropiada.

Para medir la compactación se utiliza el penetrómetro. Este es un instrumento que mide la resistencia a la penetración, expresada por la fuerza necesaria para introducir una punta cónica del equipo hasta una cierta profundidad en el suelo.

La compactación del suelo se produce generalmente por la acción del peso de la maquinaria trasmitido al suelo a través de las ruedas u otros elementos de apoyo, siendo los factores más importantes el número de veces que la maquinaria pasa por el terreno, la humedad del suelo y la presión ejercida por las ruedas. También el pastoreo de los animales efectuado sobre suelos con alta humedad favorece la compactación del suelo.

La presión de contacto rueda-suelo se puede mantener constante si al aumentar el peso en la rueda también aumenta el tamaño del neumático, ya que así se compensa el aumento de peso con una mayor superficie de contacto entre la

1-/Este capítulo transcribe parte del trabajo Mecanización Agrícola en Cero Labranza presentado por J.Riquelme al Seminario «Sustentabilidad en Cultivos Anuales» Santiago, Chile, 3 y 4 de Diciembre, 2002.

rueda y el suelo, por lo que eligiendo los neumáticos apropiados se evita un aumento de la compactación del suelo. Pesos en las ruedas superiores a 2500 kg, producen niveles apreciables de compactación.
La siguiente relación permite predecir la densidad aparente en el suelo tras haber pasado sobre el mismo una rueda:

$$\mathbf{Da} = A + B \log (NP) + C \log H \qquad (1)$$

Donde:
Da = densidad aparente del suelo (T/m^3)
A, B, C = constantes del suelo (T/m^3)
N = número de pasadas de la rueda sobre el terreno
P = presión de contacto en la interfase rueda-suelo (KPa)
H = contenido de humedad del suelo en peso (%).

De acuerdo a esta relación la compactación del suelo depende del contenido de humedad del suelo, del número de pasadas del vehículo sobre el terreno y de su peso.
Otros factores que influyen son la presión de inflado de los neumáticos y sus características. El patinaje de la rueda influye también en la compactación, una rueda arrastrada sin patinaje puede elevar la densidad aparente de un suelo desde 1,58 g cm^{-3} hasta 1,7 g cm^{-3}, la misma rueda con un patinaje de un 50% eleva dicho valor hasta 1,9 g cm^{-3} .
Las labores convencionales de preparación de suelo compactan el suelo, por ejemplo la reja del arado de vertedera crea una zona compactada en el fondo del surco, las rastras de disco y fresadoras rotativas de eje horizontal crean capas compactadas más superficiales. En cero labranza en cambio se ha observado que a los tres años el suelo alcanza la suficiente resistencia para soportar el paso de la maquinaria agrícola sin que su compactación aumente. Es importante evitar el paso de la maquinaria cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo, ya que en este caso la compactación puede llegar a ser 5 veces mayor a la producida en el suelo seco. También conviene mejorar la estructura del suelo superficial dejando sobre el suelo los restos de cosechas en vez de quemarlos y estableciendo cultivos con sistema radicular superficial y vigoroso.
La decisión de subsolar un suelo debe provenir de un estudio técnico apropiado, donde se debe tener presente el tipo de suelo. Así, los efectos del subsolado duran menos de un año cuando se realizan sobre un suelo de textura media o gruesa.

Selección del tractor para cero labranza. La condición de trabajo para el tractor en cero labranza es diferente a un sistema convencional. La fuerza máxima de tracción que puede ejecutar un tractor sobre el suelo depende de la siguiente relación :

$$\mathbf{H}_{max} = c^*A + Q^* \text{ Tangf} \qquad (2)$$

Donde: H_{max} = Fuerza de corte máxima
c = Cohesión del suelo
A = Área de la superficie de apoyo de la rueda del tractor
Q = Peso sobre la superficie de apoyo de la rueda del tractor
Tangf = Tangente del ángulo de fricción interna suelo / suelo

La cohesión del suelo es una propiedad física dinámica que depende del contenido de arcilla y del contenido de humedad. Suelos con mayor contenido de arcilla y de consistencia friable presentan mayor cohesión. Suelos arenosos o que han sido labrados tienen valores mínimos de cohesión. Sobre un suelo no labrado la cohesión del suelo es el parámetro más importante en la determinación de la tracción, por lo que ésta puede incrementarse, de acuerdo a la ecuación 1, aumentando la superficie de contacto del tractor con el suelo. En suelos labrados, por otra parte, la fricción es prácticamente la única propiedad que interviene en la determinación de la fuerza de corte máxima, por lo que en esas condiciones es necesario aumentar el peso del tractor para aumentar su capacidad de tracción. La fricción es una propiedad física dinámica del suelo que está relacionada al contenido de arena del suelo, su valor es menor a medida que el suelo es más arcilloso.
En cero labranza, el tractor trabaja sobre un suelo firme, donde interviene principalmente la cohesión del suelo y es factible aumentar la capacidad de ejecutar tracción aumentando la pisada del neumático, con ruedas más anchas o de mayor diámetro. El tractor con doble tracción aumenta, en este caso, la capacidad de tracción distribuyendo su peso en una mayor área de contacto. La mayor distribución de peso por área de contacto disminuye, por su parte, el efecto de compactación. Suelos que llevan muchos años manejados con cero labranza presentan valores más altos de cohesión a un mismo contenido de humedad, lo que representa una ventaja para labores que necesariamente deben realizarse con contenido de humedad más alto, como aplicación de biocidas y fertilizantes.
La potencia de un tractor que muchas veces interesa es aquella que puede suministrar en la barra de tiro. Esta varía dependiendo de varios factores, incluyendo la superficie del suelo y tipo de enganche. El patrón de referencia para potencia es la Potencia en el Toma de Fuerza (PTF), ya que evita las variables relacionadas con el esfuerzo de tracción entre las ruedas y la superficie del terreno. Mientras menos firme es el suelo, más potencia se pierde en la barra de tiro. En el Cuadro 5.1 se relaciona la potencia en la barra de tiro con aquella requerida en la toma de fuerza del tractor, según condición del suelo y tipo de tracción.

Cuadro 5.1. Coeficiente de eficiencia tractiva (Donato, 1999).

Condición del suelo	Tipo de tracción		
	Simple	Delantera asistida	Doble
Labrado	0,45	0,60	0,68
Firme	0,50	0,65	0,75

Ejemplo. Se requiere saber cual será la potencia necesaria de un tractor con tracción delantera asistida para trabajar con una sembradora de cereales de cero labranza de 15 hileras. La sembradora tiene un requerimiento de tracción de 150 kg por hilera de siembra y se operará a una velocidad de trabajo de 6 km h^{-1}.
La potencia requerida en la barra de tiro del tractor se obtiene mediante la siguiente relación:

$$PBDT = \frac{EDT * NH * V}{273} \qquad (2)$$

Donde:
- PBDT = Potencia a la barra de tiro del tractor (HP)
- EDT = Esfuerzo de tracción por hilera (kg)
- NH = Número de hileras de la sembradora
- V = Velocidad de trabajo (km h^{-1})

De esta manera,

$$PBDT = \frac{150 * 15 * 6}{273} = 49{,}5 \text{ HP}$$

Si el tractor es de tracción asistida y trabaja sobre suelo firme, que es el caso de cero labranza, la demanda de potencia equivalente al Toma de Fuerza sería de:

$$PTF\ (HP) = \frac{49{,}5 \text{ HP}}{0{,}65} = 76{,}2 \text{ HP}$$

Si se desea mover la misma sembradora con un tractor de tracción simple, entonces la demanda de potencia equivalente al TDF, sería de:

$$PTF\ (HP) = \frac{49{,}5 \text{ HP}}{0{,}50} = 99 \text{ HP}$$

De esta manera sería necesario un tractor con un 30% más de potencia en el motor al usar un tractor de tracción simple. Por lo tanto, es conveniente utilizar tractores de tracción asistida en cero labranza, ya que la mayor demanda de potencia no sólo esta relacionada con el costo más alto de un motor más grande sino que además con el consumo de combustible. Al respecto, se considera que el consumo horario de petróleo (l h^{-1}) por HP de potencia del tractor es del orden de 0,19 l HP^{-1} h^{-1}. De esta manera para la misma labor el consumo de combustible para el tractor de tracción asistida sería de 14,5 l h^{-1} y para el tractor de tracción simple de 18,8 l h^{-1}, lo que significa un 30% de ahorro en combustible.

Sembradora. Las sembradoras se clasifican en dos grandes grupos, sembradoras en líneas a chorro continuo y sembradoras a golpes y monograno. De acuerdo al tamaño de grano que se quiere sembrar pueden ser sembradoras de grano fino o de grano grueso. En Chile, la mayoría de las siembras de cero labranza

corresponden a siembras en líneas o de grano fino, como trigo, avena y praderas. Se analizará a continuación la sembradora en línea o de grano fino.

En la actualidad existe una gran diversidad de sembradoras atendiendo a las características técnicas de los abresurcos. Se pueden encontrar cuatro grandes grupos bien diferenciados: sembradoras de triple disco; sembradoras de doble disco desencontrados; sembradoras de mono disco; sembradoras con cinceles.

Las sembradoras de triple disco se caracterizan por una mayor relación peso / ancho de trabajo, 1,100 kg m^{-1}, pero ejerce menor presión por disco, ya que debe distribuir su peso prácticamente en tres discos por unidad. El peso aumenta el requerimiento de tracción y potencia en 38 HP m^{-1}. Este tipo de abresurco evolucionó a doble disco desencontrado, con el objeto de facilitar el corte y penetración en el suelo. Se eliminó el disco delantero, reduciendo el número de órganos activos con lo que se aumentó el peso por unidad de siembra, mejorando la penetración y ganando espacio.

El doble disco desencontrado consta de dos discos que pueden ser de 38 cm de diámetro con el centro desplazado de modo tal que uno queda por delante del otro enfrentando al suelo con un solo filo, semejando la acción del disco de corte delantero del triple disco. Otra posibilidad es utilizar discos de diferente diámetro, 38,0 y 35,5 cm, desencontrados.

Las sembradoras de monodisco poseen una relación peso / ancho de trabajo menor que en el caso anterior (800 kg m^{-1}) pero una mayor presión por disco, ya que el peso se distribuye en un disco por unidad sembradora y los requerimientos de potencia son menores (27 HP m^{-1}). Estas sembradoras se adaptan mejor a condiciones de excesivo rastrojo, pero en condiciones de suelo muy saturado se tiende a compactar el surco y dejar la semilla descubierta, además, presenta problemas en condiciones de excesiva pedregosidad.

Las sembradoras con cincel no requieren de peso para que el cincel corte el suelo, son más livianas (200 kg m^{-1}) y requieren menos potencia (20 HP m^{-1}), pero no se adaptan bien a condiciones de exceso de residuo y son las mas adecuadas en terrenos muy pedregosos. Debido a que el cincel aumenta la capacidad de estallamiento del suelo a medida que aumenta la velocidad de avance, es necesario trabajar con estas maquinas a baja velocidad.

Dosificación de semilla y fertilizante. Cualquiera sea la máquina sembradora utilizada se deben seguir los mismos procedimientos para lograr una adecuada dosificación tanto de la semilla como del fertilizante:

1. Vigilar los abresurcos de la sembradora. Para una germinación adecuada las semillas deben colocarse bajo la superficie del suelo. Los dispositivos de siembra deben estar en buen estado, debidamente lubricados y fijos en su soporte. Los reguladores de profundidad de siembra deben ajustarse de acuerdo al tipo de semilla. El chasis principal de la sembradora debe trabajar nivelado respecto al suelo para que los abresurcos funcionen adecuadamente.
2. Dosificación de la semilla. Para obtener un rendimiento óptimo durante la cosecha hay que tener una cantidad de semilla controlada, la que puede expresarse en kilos por hectárea. Todas las sembradoras cuentan con un

mecanismo dosificador de semilla, el que de acuerdo al manual de operaciones de la maquina indica la dosis esperada para una determinada posición del mecanismo regulador. El resultado de la dosificación puede ser evaluado con sencillas prácticas, como una regulación estática: levantar la rueda de la sembradora, ubicar una bolsa plástica en cada tubo sembrador, hacer una señal en la rueda y dar veinte vueltas utilizando la marca como referencia. Una vez terminada esta operación, retirar y pesar cada bolsa, el peso de cada una de ellas deberá coincidir con el calculo teórico de la siguiente expresión:

$$PE = 0{,}01257 * DS * RD * DEH \qquad (3)$$

Donde :
- PE : Peso esperado (kg)
- DS : Dosis de semilla (kg ha^{-1})
- RD : Radio dinámico de la rueda (m)
- DEH : Distancia entre las hileras de siembra (m)

El radio dinámico de la rueda de la sembradora se obtiene, midiendo la distancia que existe desde el eje de la rueda hasta la superficie del suelo a sembrar con la máquina cargada. Al comparar el peso de todas las bolsas se sabrá si el mecanismo es uniforme para todas las hileras, si no es así, hay que revisar el dosificador correspondiente y efectuar los ajustes mecánicos necesarios. En el caso de la semilla se acepta una desviación $\pm$ 7% en torno a la media de todas las hileras.

Se debe observar el estado de la semilla recogida en las bolsas, si existen semillas partidas, conviene revisar el o los dosificadores correspondientes para hacer los ajustes necesarios, por ejemplo, en el caso de dosificadores tipo rodillo acanalado existe una pequeña palanca que permite modificar la abertura del regulador de semilla dependiendo del tamaño de ésta.

3. Dosificación del fertilizante. Los pasos de regulación son similares a los de la semilla. En este caso también conviene revisar el estanque antes de llenarlo con el fertilizante. Para el caso de dosificadores tipo estrella conviene controlar si éstos giran, al hacer girar la rueda ya que pudiera estar roto el mecanismo de enganche y de esta manera no arrastrar fertilizante durante la siembra, además, este sistema cuenta con un regulador individual que se abre o cierra dependiendo de la posición de una palanca general asociada a una escala de regulación. Una manera sencilla de ajustar la ubicación de estos reguladores individuales es ubicar la palanca general en cero, ubicar una moneda de $10 en cada estrella y ajustar cada regulador de manera que todos sujeten la moneda en esa posición, esto asegura que todos lo reguladores en cualquier posición de la palanca general mantienen la misma altura. En el caso del fertilizante se acepta una desviación $\pm$ 12,5% en torno a la media de todas las hileras.
4. Debido a sus sistemas de dosificación, algunas sembradoras son muy sensibles al movimiento sobre el terreno de siembra y presentan diferencias con respecto a la regulación estática. En este caso se puede efectuar una regulación dinámica, para ello se ubican bolsas en los tubos de salida de semilla y fertilizante y se hace trabajar la sembradora en el mismo terreno

de siembra, se avanza una distancia de 50 m y luego se pesan las bolsas, las que también deberán llevar un número para identificar el dosificador que corresponde. El peso de cada bolsa deberá coincidir con el calculo teórico de la siguiente expresión:

$$PE = 0.005 * DS * DEH \qquad (4)$$

5. La sembradora debe colocar uniformemente las semillas en condiciones de suelo disparejo. Este proceso debe ser aún más cuidadoso en siembras de mínima o cero-labranza, para lo cual debe escogerse adecuadamente la tensión del resorte sobre el abresurco.
6. Cuidar la colocación de la semilla con respecto al fertilizante, no todas las sembradoras tienen un abresurco independiente para la semilla y el fertilizante, si se utilizan fertilizantes amoniacales y las semillas son muy sensibles a éste, y ambos pasan por un mismo abresurco, retirar el tubo del fertilizante y ubicarlo delante del abresurco para que se incorpore primero en el suelo. Nunca utilizar mas de 40 unidades de nitrógeno ha^{-1} como fertilizante amoniacal.
7. Revisar los dispositivos compactadores de semilla. En cero labranza el cubrimiento de la semilla depende del contenido de humedad del suelo. En un suelo saturado (muy húmedo), el surco quedará abierto. Si el suelo esta seco se formarán terrones encima de la semilla. Por ello la mejor condición es la intermedia, denominada friable, en la que el suelo se cierra por su propiedad cohesiva inmediatamente después de abierto el surco. Un rodillo compactador cóncavo sólo asegura una compresión lateral, dejando el suelo suelto sobre la semilla, con ello se evitan problemas de encostramiento que pudieran afectar a la semilla.
8. Al finalizar cada jornada revisar pernos y tuercas de la máquina sembradora. Un perno quebrado puede soltar una pieza de alto costo. Al final de la siembra lavar los cajones abonadores lejos de cursos de agua (50 m) evitando que el agua que escurra caiga a un estero o canal para no contaminar el agua con sales. Lubricar y engrasar la máquina todos los días que trabaje. Con ello alargará la vida útil de su sembradora.

Pulverizador. En cero labranza las labores de preparación de suelo que permiten controlar las malezas de presiembra son reemplazadas por un barbecho químico. Al trabajar con cero labranza se debe tener un mayor cuidado con la regulación y utilización del pulverizador, ya que muchos fracasos se deben a una mala aplicación de los herbicidas, la que además puede afectar el medio ambiente. Como una manera de lograr mayor precisión y reducción de los efectos nocivos de una mala aplicación, se sugiere las siguientes medidas:

1. Comprobar el funcionamiento del pulverizador con agua limpia. Si el equipo ha sido utilizado en la pulverización de un pesticida, llenar el depósito hasta la mitad con agua, y agregar 1,5 kg de soda por cada 100 l de agua o 1 l de amoníaco de uso domestico diluido en 250 l de agua. Poner en marcha la bomba y lavar todo el equipo, incluyendo brazos y boquillas. Tirar el agua en un lugar no cultivado, pero no siempre en el mismo sitio. Nunca realizar esta labor en o cerca de cursos de agua.

2. Una vez limpio, comprobar con agua que el caudal de las boquillas no se desvíe ±5% del promedio. Estas desviaciones pueden deberse a filtros o boquillas tapadas o gastadas. Si las boquillas presentan un caudal superior al 10% del original deben reemplazarse.
3. Para evitar la deriva por el viento no efectuar aplicaciones cuando la velocidad del viento supera 6,5 km h^{-1} (observar las hojas y ramillas de los árboles, si éstas se mueven, suspender la aplicación). En la actualidad se ofrecen pulverizadores con asistencia de aire que aseguran una aplicación sin deriva hasta velocidades de viento de 8 km h^{-1}, también mejora la penetración en el cultivo en aplicaciones de fungicidas o insecticidas.
4. Al utilizar boquillas de chorro de abanico, espaciadas a 50 cm, se debe ajustar la altura de la barra a 50 cm del punto de aplicación. Si la altura es mayor o menor la distribución será muy irregular.
5. La presión de trabajo de boquillas tipo abanico no debe superar 3 bares, si la presión es superior se producen gotas muy finas lo que aumenta el riesgo de deriva. Para disminuir la deriva se puede trabajar con menos presión hasta 1,5 bar efectuando las correcciones respectivas, ya que a menor presión se entrega menor caudal.
6. Para obtener una distribución óptima y asegurar una mejor penetración del producto, no trabajar a velocidades superiores a 8 km h^{-1}. A mayor velocidad también se aumenta el riesgo de deriva. En base a estos criterios se puede seleccionar las boquillas de caudal más apropiado para el volumen requerido.
7. Si al terminar el trabajo aún queda mezcla en el estanque, conviene diluir el resto en 10 partes de agua y volver a repetir el tratamiento sobre el mismo campo.

Sistema mecanizado para pequeños agricultores.

La información sobre áreas sembradas con siembra directa en pequeñas propiedades en diferentes partes del mundo es escasa. El Cuadro 5.2 indica el estado de la adopción de la siembra directa en pequeñas propiedades en el mundo.

Cuadro 5.2. Superficie estimada de siembra directa con manejo de residuos en las pequeñas propiedades de algunas regiones del mundo (Wall,1998).

Región	Superficie (ha)
Cono Sur de Sudamérica	25.000
India, Bangladesh, Nepal	10.000
México y América Central	menos de 10.000
Africa del Sur	Poco
Africa Occidental	Poco
Africa Oriental	Muy poco
Región Andina	Muy poco

El grado de adopción de la cero labranza por parte de los pequeños agricultores del mundo es muy limitado. Existen varias razones para ello, entre las que se incluyen la falta de capital para cambiar de maquinaria y tecnología, la aversión al riesgo, el sistema de producción de subsistencia y la utilización de rastrojos para otros fines.
Actualmente hay en algunas comunas chilenas programas de ayuda estatal orientados a la reconversión de los pequeños agricultores. La sustentabilidad de muchos sistemas agrícolas de pequeños agricultores depende del manejo adecuado de la cobertura del suelo de las microcuencas, las que debido a su manejo tradicional, no permiten la infiltración del agua en el suelo durante la época de lluvia generando un rápido escurrimiento de las aguas con arrastre de sedimentos, que pueden colmar rápidamente las estructuras de almacenaje y cosecha de agua. Por ello, dentro de un sistema apropiado de manejo, la cero labranza juega un rol importante en conseguir una cobertura permanente así como permitir que los agricultores puedan continuar produciendo sus cultivos tradicionales, que son de fuerte arraigo cultural.

Adecuación de suelo. Una de las principales labores a ejecutar es revisar el potrero donde se efectuará la cero labranza eliminando los obstáculos que puedan impedir el correcto funcionamiento de la sembradora: piedras, troncos, restos de raíces. Si el suelo proviene de un sistema de labranza tradicional y presenta muchos surcos de erosión que afectan su microrrelieve, es conveniente efectuar primero una mínima labranza.
La mínima labranza se efectúa con un arado cincel de tracción animal, el que no invierte suelo y posibilita mejorar el microrrelieve del suelo para facilitar el paso de la sembradora. El arado cincel de tiro animal efectúa una labor primaria de suelo identificada como labranza vertical, cuya principal característica es soltar el suelo sin invertir ni mezclar las distintas capas del perfil. El sistema permite una mejor protección del suelo contra la erosión, dado que el rastrojo queda cerca o en la superficie, se evita la formación de una estrata impermeable o pie de arado, y se mejora la infiltración de agua en el suelo. Desde el punto de vista de la rapidez de la labor, el arado cincel ocupa menos de la mitad del tiempo en arar una hectárea de suelo que el arado de vertedera, dado el mayor ancho de trabajo que se logra con la labranza vertical. El arado cincel cuenta con vástagos vibrocultores, los que contribuyen a mejorar el tiro de los animales, ya que la vibración absorbe las variaciones del esfuerzo de tracción que se producen durante la labor de estallamiento de suelo, las que en un equipo rígido, mediante los aperos, se trasmiten directamente a los animales.
Mediciones de tracción realizadas, durante la labor de un arado cincel de 5 vástagos, trabajando a 12 cm de profundidad, con un ancho de trabajo de 47 cm, en un suelo de origen granítico en condiciones friables, indicaron una tracción de 136 kg, por lo que una pareja de animales resuelve en forma apropiada estos requerimientos.
La mayor capacidad de trabajo del arado cincel, permite pensar en eliminar la práctica tradicional del barbecho, uno de los principales factores causante de la erosión de suelo, ya que el suelo queda sin una cubierta protectora que aminore el impacto de la gota de lluvia. La profundidad de trabajo del arado cincel no

llega a más de 10 cm, por lo tanto, en suelos compactados por el pastoreo animal en invierno o en aquellos que han sido arado durante muchos años con arado de vertedera, y se ha formado una estrata compactada denominada "pie de arado" es necesario utilizar una herramienta denominada "subsolador de tracción animal". Para utilizar correctamente el implemento es conveniente, en primer lugar, efectuar calicatas en el suelo para determinar la existencia y profundidad de la estrata compactada. Luego se regula el equipo para conseguir que la punta del subsolador pase justo por el centro de la estrata compactada, se efectúa una primera pasada y se mide el ancho de las grietas formadas. El promedio de los anchos medidos indica la distancia de pasada para el equipo. Esta labor es conveniente efectuarla a comienzos de invierno con las primeras lluvias, o a salida de invierno en una condición tal que el suelo no tenga excesiva humedad. Si hay mucha humedad el suelo no se agrieta, y si esta muy seco se incrementa el requerimiento de tracción para los animales.
Mediciones de tracción realizadas con este equipo trabajando a una profundidad de 20 cm, indicaron un requerimiento de tracción de 200 kg de tiro, demanda de fuerza que sólo puede ser satisfecha utilizando animales pesados y bien alimentados. La capacidad de trabajo del implemento depende del ancho de trabajo requerido para la labor. De este modo para un ancho de trabajo de 30 cm, podrían requerirse 15 horas de trabajo para subsolar una hectárea de suelo.

Manejo de rastrojos. Los potreros más adecuados para la cero labranza, son aquellos que provienen de una pradera natural y que no presentan problemas de compactación. En el caso que se trate de rastrojos de cultivos como trigo o avena es conveniente efectuar una labor de manejo de rastrojos. Los rastrojos se pueden picar con una rastra de disco de tiro animal, trabajando en el verano con el suelo seco. También una barra segadora de tracción animal puede ser útil en el corte de los rastrojos. Después de picar los rastrojos, éstos se pueden rastrillar con un rastrillo de tracción animal o una rastra de clavo formando cordones. Es conveniente dejar estos cordones en forma transversal a la pendiente a una distancia de 8 a 10 m, los que pueden servir de marcadores naturales para el paso de un pulverizador. Los cordones de un ancho promedio de 1 metro no ocupan más de un 9 a un 10% del potrero, contribuyendo al mejoramiento del suelo y frenando el escurrimiento superficial del agua durante las lluvias.
Siembra. Después de transcurridos 4 días de la aplicación del herbicida, se puede efectuar la siembra. Lo ideal es trabajar con humedad adecuada en el suelo, ni muy seco en que se corre el riesgo de dejar la semilla destapada, ni demasiado húmedo en que el surco de siembra se compacta y la semilla queda descubierta. Para siembra de grano fino y semillas de praderas se puede utilizar una sembradora de tracción animal (Figura 5.1), la que corresponde a una sembradora con dosificadores de flujo continúo. Cuenta con un depósito para semilla de grano fino (trigo, avena, cebada, arroz, lenteja, porotos, arvejas, lupino), otro para empastadas (tréboles, alfalfa, hualputras) y uno para fertilizante. El sistema abridor de surco permite la siembra directa sobre un suelo no labrado previamente, mediante la utilización de un vástago tipo "S" con una herramienta cincel. En la parte posterior de la herramienta lleva una zapata especial que permite depositar

la semilla y el fertilizante en el surco abierto por el cincel, antes de que éste se cierre por la propiedades cohesivas de un suelo sin labrar. En la década de 1980 se desarrolló una de estas máquinas sembradoras de tracción animal para cero labranza que se comercializa en Temuco y Chillán.

En el Estado de Paraná, Brasil, se ha dado un fuerte impulso a la siembra directa de cultivos mediante la introducción de una sembradora mateadora, con deposito para el abono denominada "Gralha Azul" desarrollada por IAPAR. Esta sembradora es capaz de sembrar en condiciones de gran cantidad de paja, sembrando principalmente maíz y soya. Consta de un disco cortador de rastrojo, que también funciona como rueda de transporte y transmisión mecánica, para conseguir una adecuada distribución de semilla y dosificación del fertilizante.

En Paraguay la siembra directa se realiza con sembradoras manuales, las que también se originaron en Brasil. Estas sembradoras se denominan "matraca" (Figura 5.2). La matraca siembra y aplica fertilizante al mismo tiempo, sirve para sembrar maíz, soya y frejol. Se puede usar terrenos de alta pendiente y la siembra es rápida y pareja.

En Chile, se ha probado que es posible hacer cero labranza sin una máquina especial. La técnica consiste en aplicar un herbicida y luego de por lo menos 4 días abrir los surcos de siembra de 2 a 3 cm de profundidad con un cultivador o escarificador que tenga puntas separadas entre 15 a 25 cm, distribuir las semillas al voleo y taparlas con una rastra de rama pasada perpendicularmente a la dirección de los surcos, igual cosa con los fertilizantes (Letelier y Ubilla, 1985). Es posible también, hacer estos surcos con el arado de tracción animal corriente.

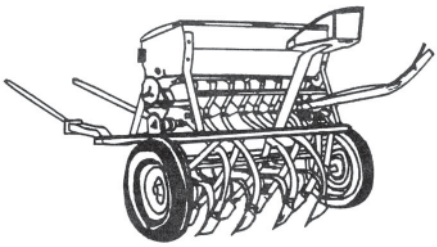


Figura 5.4. Sembradora de cero labranza de tracción animal con abresurco cincel.

Figura 5.1. Sembradora manual "matraca". Regional de la Araucanía. Carahue. Chile.

Síntesis.

- Existe disponibilidad de maquinaria agrícola adecuada para realizar cero labranza tanto en grandes extensiones como en pequeñas propiedades. En este último caso, la maquinaria de tracción animal debiera recibir especial atención.
- Previo a la incorporación de un suelo a cero labranza es esencial solucionar problemas de microrrelieve y de compactación del suelo.
- En cero labranza se deben tomar las precauciones necesarias en el uso de equipo pesado de manera de minimizar los problemas de compactación del suelo.
- Los criterios de selección de tractor para labranza tradicional y cero labranza difieren notablemente. En cero labranza se debe maximizar la superficie de contacto con el suelo.La selección adecuada tiene gran incidencia económica.

Bibliografía.

AGDEX. 1996. Equipment Issues in Crop Residue Management for Direct Seeding. 519-24

BAUMER, C. 1999. Sembradoras y fertilizadoras, para siembra directa. Editorial Amalevi. Santa Fé, Argentina. 345 p.

BRAGAGNOLO, N. 1995. Manual integrado de prácticas conservacionistas. Proyecto Regional GCP/RKLA/107/JPN. FAO. Santiago, Chile. 128 p.

CROVETTO, C. 1992. Rastrojos sobre el suelo una introducción a la cero labranza. Editorial Universitaria, Santiago, 301 p.

CROVETTO, C. 2002. Cero Labranza. Los rastrojos, la nutrición del suelo y su relación con la fertilidad de las plantas. Trama Impresores. Talcahuano. Chile. 225 p.

DÍAZ, R. 2001. Siembra Directa en el Cono Sur. PROCISUR. Montevideo. 450 p.

DONATO, L. 1999. Gestión integral de la maquinaria agrícola. En: Selección y utilización correcta de las maquinas en cero labranza. Curso Internacional. INIA, CRI Quilamapu. Chillán 56p.

LETELIER, E. y UBILLA, C. 1985. Cero labranza popular para trigo. Investigación y Progreso Agropecuario La Platina 28:26-29.

ORTIZ-CAÑAVATE, J. y HERNANZ, J. L. 1989. Técnica de la Mecanización Agraria. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 641 p.

RIQUELME, J. 2003. Mecanización Agrícola en cero labranza. In: Sustentabilidad en Cultivos Anuales: Cero Labranza, Manejo de Rastrojos. Acevedo, E. (ed.). Santiago, Universidad de Chile. Fac. de Cs. Agronómicas, serie Ciencias Agronómicas N°8. 111-134.

SANCHEZ-GIRON, VICTOR. 1996. Dinámica y Mecánica de Suelos. Ediciones Agrotécnicas, S.L. 426 p.

WALL, P.1998. Introducción a la cero labranza. En: Curso Taller Internacional Cero labranza para la agricultura campesina. INIA, CRI Carillanca-PROCISUR-Gobierno Regional de la Araucanía. Carahue. Chile.

6

Fertilización

En la actualidad la mayoría de los agricultores chilenos practica labranza tradicional (LT) en la que se remueve el suelo y se incorporan o queman los residuos del cultivo anterior. El arado corta e invierte total o parcialmente los primero 20 cm de suelo, permitiendo que éste se suelte, airee y mezcle, produciendo una distribución homogénea de los nutrientes en la capa arable, facilitando la oxidación de substancias alelopáticas o tóxicas generadas por la descomposición de la MO, facilitando la mineralización de nutrientes y evitando que las plagas y enfermedades se desarrollen en el rastrojo. Sin embargo, con este sistema se producen pérdidas de suelo y con ello de elementos nutritivos, principalmente por erosión, el suelo se compacta por el tráfico de maquinaria y se mineraliza la materia orgánica con rapidez afectando negativamente las propiedades físicas del suelo y perdiéndose una importante cantidad de carbono a la atmósfera, (capítulo 2).
La disminución de la biomasa microbiana producida por pérdidas de C orgánico en suelos que ingresan a LT determina una disminución del suministro de nitrógeno (N), en el largo plazo, y su disponibilidad para las plantas (Figura 6.1). Además, otros elementos nutritivos que integran el ciclo del carbono, como el azufre, boro y también fósforo orgánico, ven afectada su disponibilidad para las plantas. Un caso típico de este efecto es la respuesta al azufre y al boro detectado en suelos del secano de la VII y VIII regiones, la cual se explica fundamentalmente por la intensa erosión de estos suelos.

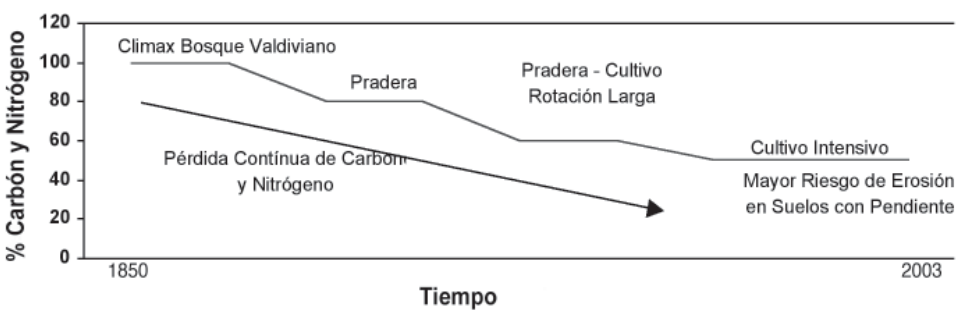


Figura 6.1. Equilibrio ecológico del C y N del suelo en la zona sur (adaptado de Sierra,1990).

El contenido de materia orgánica disminuye progresivamente en un suelo que se remueve anualmente. Las observaciones en general muestran que el cultivo del suelo por 30 o 40 años consecutivos disminuye su contenido de materia orgánica a la mitad del valor original. En regiones de clima templado se pierde anualmente entre el 1 y 3% del humus estable mientras que en CL se descompone menos del 0.5%. En la precordillera de la VIII región, Chile, se determinó pérdidas de materia orgánica, en LT de 2.831 Kg ha^{-1} $año^{-1}$, las que disminuyeron significativamente en CL (458 Kg ha^{-1} $año^{-1}$). La disminución de la materia orgánica redujo el C y N potencialmente mineralizable (Figura 6.2), y restringió la habilidad del suelo para inmovilizar y conservar el N mineral.

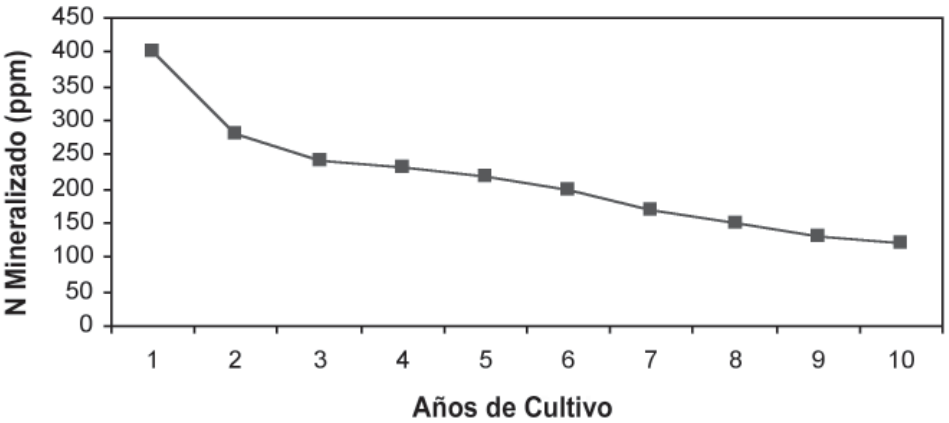


Figura 6.2. Relación entre manejo del suelo y mineralización de nitrógeno a los 102 días de incubación (Sierra, 1990).

Cambios de manejo asociados a la cero labranza y su posible efecto en la disponibilidad de nutrientes.

En CL prácticamente todo el rastrojo queda en la superficie con un mínimo de perturbación del suelo, lo que tiene importantes efectos sobre el suelo, aumentando el contenido de materia orgánica y algunos nutrientes, especialmente en el estrato superficial. Tres factores de manejo influyen marcadamente sobre las características químicas del suelo en CL:

1. La falta de mezcla del suelo con los residuos orgánicos;
2. La aplicación superficial de los fertilizantes y enmiendas;
3. Los efectos de los rastrojos sobre la retención de humedad y la disminución de la temperatura del suelo.

La mayoría de los cultivos requieren adición de fertilizantes debido a la baja concentración de elementos nutritivos que comunmente se encuentra en los suelos, siendo los principales el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K), elementos químicos básicos en la nutrición vegetal. En CL pueden cambiar las necesidades de fertilización del cultivo ya que varía lo concerniente a la disponibilidad de

nutrientes en el suelo. Los parámetros tradicionales en nutrición cambian cuando el suelo deja de cultivarse y los rastrojos se integran al manejo productivo.
En LT generalmente el rastrojo se quema antes de arar y discar perdiéndose por volatilización el N y azufre (S). Una fracción importante de las cenizas remanentes, que son las que contienen los elementos minerales, son arrastradas por el viento.
En CL el rastrojo del cultivo anterior queda sobre el suelo. Los rastrojos sobre el suelo aportan nutrientes y la cantidad de nutrientes en tales residuos puede ser alta. Además, los rastrojos son fuente de micronutrientes que, generalmente, no se encuentran en fertilizantes tradicionales en base a N, P y K.
Los residuos de cosecha de los cultivos dejados sobre la superficie del suelo persisten por más tiempo que los residuos que son incorporados, lo que genera una disponibilidad diferencial de nutrientes, en especial del N. Los rastrojos aportados al suelo necesitan ser mineralizados para que el N y otros elementos se tornen disponibles, lo que ocurre con la actividad de los microorganismos del suelo.
En CL se produce una mayor concentración de elementos nutritivos en los primeros 5 cm de suelo. La materia orgánica se acumula en la superficie del suelo, con lo que aumentan las cantidades de C y N potencialmente mineralizables en esta zona, y se incrementa la actividad microbiana que consume nutrientes, por lo que la disponibilidad de éstos inicialmente puede ser menor que la encontrada en LT. La materia orgánica es la fuente del 90 a 95% del N en suelos no fertilizados así como también de fósforo, azufre y microelementos que son liberados al medio cuando ésta se mineraliza. Además, la materia orgánica mejora la disponibilidad y asimilabilidad de los nutrientes poco solubles (fósforo y manganeso), suministra microelementos (zinc, cobre, molibdeno y otros) y disminuye los fenómenos de antagonismo entre los elementos nutritivos abundantes, como el calcio, y aquellos que suelen ser minoritarios, como magnesio y fierro.
La disponibilidad de nutrientes en CL es inicialmente menor que en LT. Sin embargo, la disponibilidad en LT disminuye en el tiempo, de manera que la disponibilidad total en el tiempo es proporcionalmente mayor en suelos en CL.
La necesidad de fertilización de presiembra debiera tender a disminuir con el tiempo en CL en relación a la quema debido al aporte de nutrientes de los rastrojos. Esto es efectivo en el mediano plazo en la transición de LT a CL pero no lo es al inicio del cambio, por el aumento de demanda de nutrientes que ejerce el crecimiento de la flora del suelo, que incluso puede llegar a ocasionar "hambre de N" y por el secuestro de N en el humus, asociado al secuestro de C (ver más adelante). En el equilibrio los residuos incrementan los nutrientes en aquella cantidad que se dejan de extraer del sistema.

Nitrógeno.

El nitrógeno es el elemento más importante desde el punto de vista de la nutrición de los cultivos. En el suelo se distingue un "pool" (fuente) de N activo y un "pool" de N pasivo. En el "pool" de N activo del suelo se encuentra el "pool" de N orgánico lábil, el "pool" de N orgánico estabilizado y el "pool" de N inorgánico. En el "pool" de N pasivo se encuentra el""pool" de N orgánico húmico (Figura 6.3).

EL "pool" de N húmico conforma un material complejo, difícilmente atacable por los microorganismos del suelo. A pesar de que constituye entre el 80 y 90% del N total del suelo, su participación en la nutrición de los cultivos es baja debido a su lento proceso de degradación. El "pool" de N orgánico lábil corresponde aproximadamente a un 30% del N total de los residuos de cosecha y entre un 1 y 2% del N total del suelo. Puede ser utilizado en su totalidad por los cultivos durante el transcurso del año. El "pool" de N orgánico estabilizado del suelo corresponde a alrededor de un 70% del N total de los residuos de cosecha y entre un 10 y 20% del N total del suelo. La contribución de éste a la nutrición de los cultivos depende de las condiciones dadas por el agroecosistema y por su manejo. El "pool" de N lábil y el""pool" de N orgánico estabilizado son mineralizados por los microorganismos con distintas tasas y pasan a incrementar el "pool" de N inorgánico, principalmente nitrato (NO_3^-) y algo de amonio (NH_4^+). Como el N es absorbido principalmente en forma de NO_3 y de NH_4^+ por las raíces de las plantas, se satisface de este modo parte importante de las necesidades de N del cultivo.

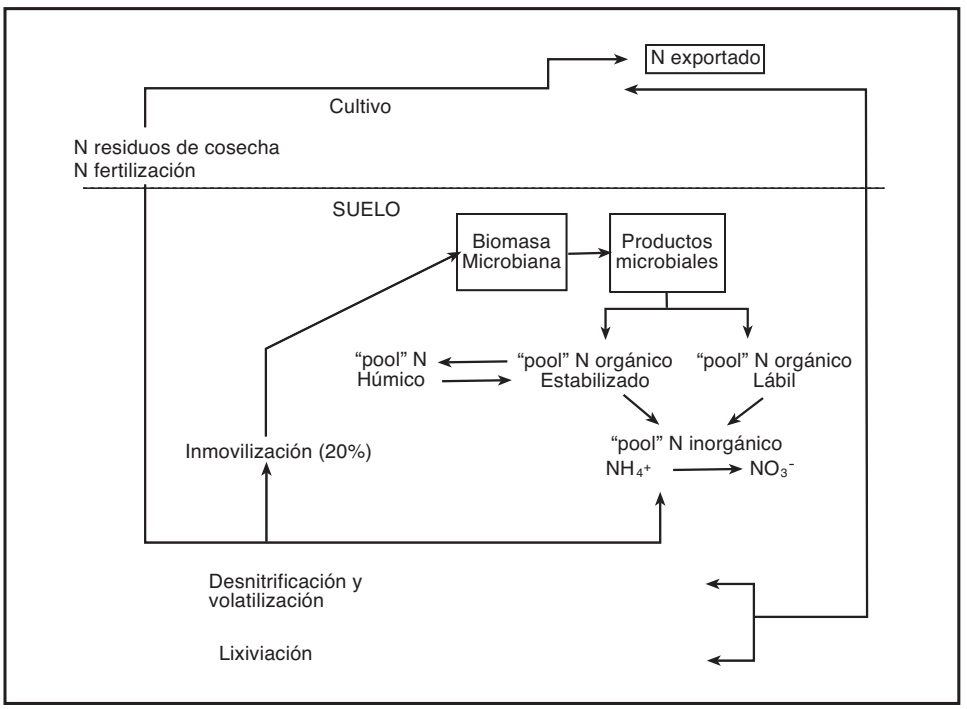


Figura 6.3. Esquema del sistema del N en el suelo (adaptado de Rodríguez, 1993)

Cero labranza y disponibilidad de N en el suelo.

El nitrógeno inorgánico es el que está disponible para las plantas. Los niveles de nitrato cambian significativamente con el sistema de labranza y el tiempo en que se esta realizando CL. La cero labranza induce una menor disponibilidad

de NO_3^- después de unos años de iniciada esta práctica (Figura 6. 4). En suelos cultivados con CL el menor nivel de NO_3^- puede deberse a una menor tasa de mineralización, menor tasa de nitrificación, o bien a un aumento de la tasa de desnitrificación o lixiviación.

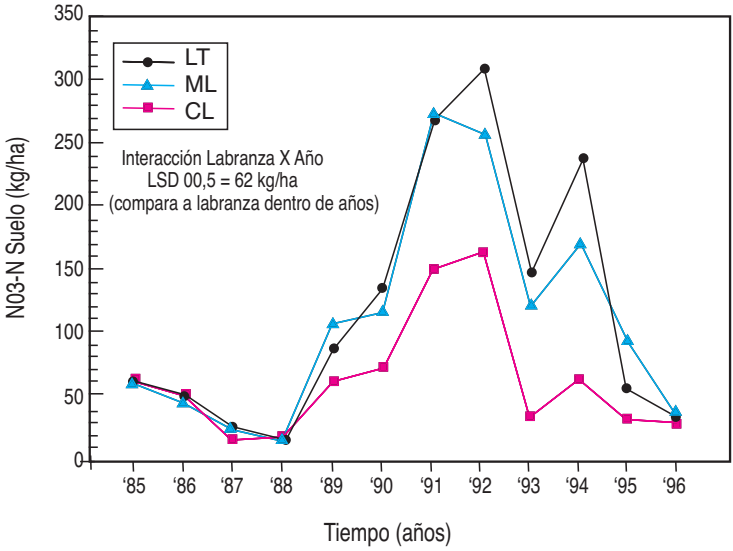
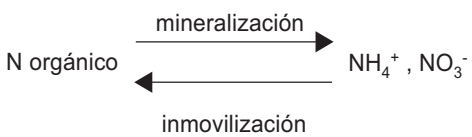


Figura 6.4. N0 -N en los primeros 120 cm del perfil de suelo en función de años para labranza tradicional (LT), mínima labranza (ML) y cero labranza (CL) (Halvorson, et al. 2000).

Knowless, et al. (1993) observó que al realizar aplicaciones altas de nitrógeno (135 Kg N ha^{-1}), el rendimiento de grano y la absorción de N en trigo fue similar en CL y LT. En cambio, una aplicación de 90 Kg N ha^{-1} produjo 41% menos de acumulación de N y 39% menos de rendimiento de grano en el sistema CL en comparación a LT. Se observó deficiencia de N en trigo de invierno cultivado en sistema de CL y en rotación sorgo-trigo, lo que se pudo deber en parte a una reducida tasa de mineralización del N del suelo y/o a una inmovilización del N aplicado como fertilizante (producto de la descomposición del rastrojo).

Mineralización e inmovilización del N en CL.

La mineralización e inmovilización de N son procesos microbiológicos de gran importancia agronómica. La mineralización es la transformación del N orgánico en amonio y nitrato (N inorgánico), mediante la acción de microorganismos del suelo. La inmovilización es el proceso contrario (N inorgánico N orgánico).



La disponibilidad de N en suelos sometidos a un sistema de CL se ve a menudo disminuida producto de una mayor inmovilización, de una menor tasa de mineralización y/o un menor metabolismo oxidativo de los microorganismos. Entre las razones que explican esta menor disponibilidad de N en CL destacan las siguientes:

La alta relación C/N genera dos situaciones que disminuyen la disponibilidad de N: "Hambre de N" producida por la actividad microbiana y""Secuestro de N" asociado al secuestro de C en el suelo, la primera a corto y la segunda a largo plazo.

Hambre de N. La relación C/N de los rastrojos (mayor de 30, en especial en paja de trigo o rastrojo de maíz) retarda el proceso de amonificación, provoca la inmovilización del N y disminuye la actividad microbiana durante el proceso de descomposición inicial. Esto se debe a que existe muy poco N para satisfacer las demandas de la microflora. Existe una inducción a la inmovilización microbiológica del N en el suelo que rodea a rastrojos con alta relación C/N.

Los hongos, a pesar de tener una concentración inferior de N que las bacterias, inmovilizan más N debido a la alta eficiencia de conversión del C del sustrato en C microbiano, llevándose a cabo la liberación luego de la muerte y descomposición de esos microorganismos. El N liberado puede ser absorbido por las plantas o nuevamente por otros microorganismos. Con relaciones C/N entre 20 y 30 puede que no haya ni inmovilización ni liberación de N mineral. Con relaciones C/N menores de 20 hay una liberación de N al principio del proceso de descomposición (Figura 6.5).

Durante las etapas iniciales de la descomposición de los rastrojos existe un rápido aumento de los organismos heterótrofos, acompañado por la producción de grandes cantidades de dióxido de C. Al ser la relación C/N alta, hay una inmovilización neta del N. Luego la relación C/N se hace más pequeña y el suministro de C disminuye. Una proporción de los microorganismos muere por causa de la disminución del alimento disponible y se alcanza por último un nuevo equilibrio que va acompañado por la liberación de N mineral. El nivel final de N (NO_3^-) en el suelo puede ser mayor que el nivel original. El tiempo requerido para que este ciclo de descomposición se realice completamente depende de la cantidad de rastrojo añadido, de la dosis de fertilizante nitrogenado aplicada, de la resistencia del material al ataque microbiano (en función de la cantidad de ligninas, grasas y ceras presentes), temperatura y niveles de humedad del suelo.

Secuestro de N. Además del fenómeno mencionado anteriormente, debe tenerse presente que la relación C/N de la materia orgánica del suelo es de aproximadamente 10 y que la relación C/N de los residuos es de 30 a 80. Una vez que los residuos son incorporados a la materia orgánica del suelo, bajan su relación C/N a 10 en los compuestos húmicos. El secuestro anual de C por hectárea en el sistema de cero labranza en Antumapu es de 500 kg por año (Capítulo 2) y, a partir de paja de trigo, la mantención de una relación C/N de 10 implica un secuestro de N del orden de 50 Kg por año.

El abono nitrogenado suele aplicarse en la superficie del suelo, donde se produce una acumulación en el material orgánico disponible, con su consecuente inmovilización. Aplicaciones de N un 30% más altas se requieren para

compensar esta lenta tasa de mineralización en etapas iniciales de crecimiento. Con un laboreo conservacionista continuo eventualmente se produce un nuevo equilibrio.

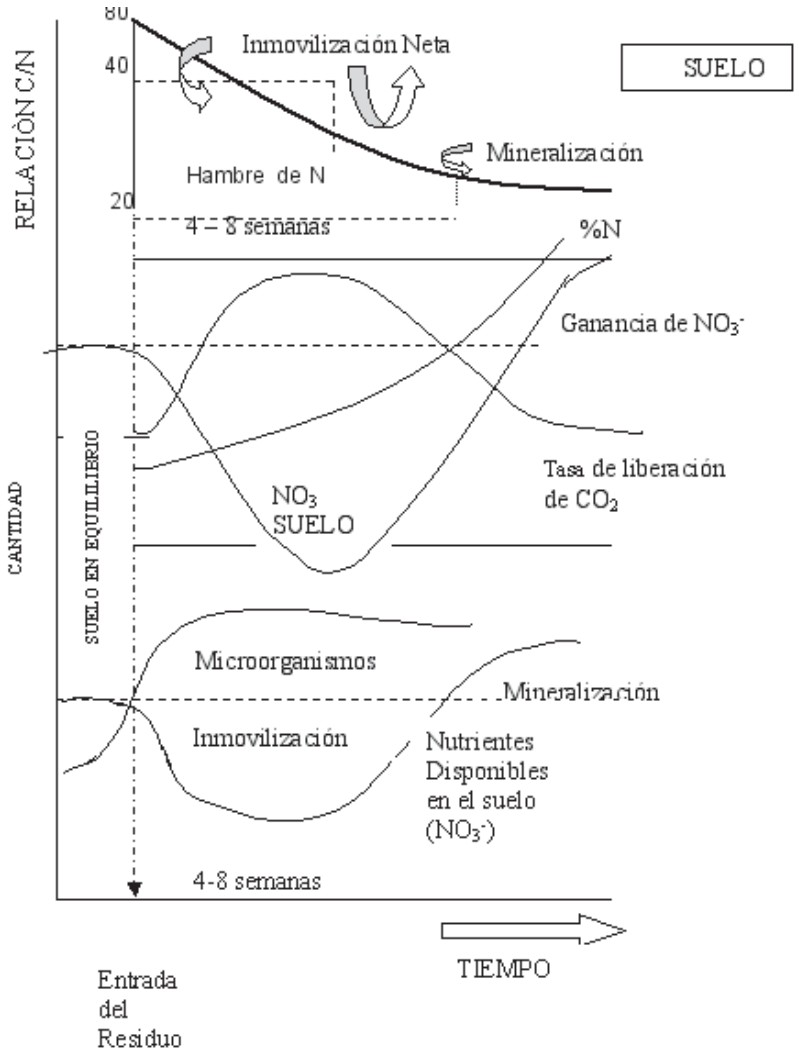


Figura 6.5. Tendencias generales en la descomposición de un rastrojo de alto cuociente C/N y su relación con el medio (adaptado de Stevenson, 1986).

La menor temperatura del suelo debido a la presencia de rastrojos (2 a 6 ºC a inicios de la primavera) puede reducir en forma importante la mineralización que tiene su óptimo entre 25 y 35 °C. Existe una descomposición de la materia orgánica más lenta, por lo tanto, la conversión de N orgánico en N inorgánico disponible para la planta es también más lenta.

No siempre hay una menor mineralización y una mayor inmovilización en suelos trabajados con CL. La información disponible referente a estos procesos no es precisa debido a que existen otros factores que también influyen en los resultados obtenidos. El momento en que tienen lugar las reacciones de mineralización- inmovilización puede ser más importante que su magnitud. En LT la incorporación de residuos conlleva a la inmovilización del N durante sólo una o dos semanas y luego hay una liberación neta de éste. Este fenómeno provoca una menor captación de N por parte de la planta. El período de inmovilización de N es más prolongado, aunque menos intenso, con los residuos en la superficie del suelo CL.

Nitrificación y desnitrificación en CL. La nitrificación corresponde a un proceso de oxidación enzimática, mediante el cual el amonio se transforma primero en nitrito y éste en nitrato, mediante la acción de bacterias aerobicas del suelo.

$$2NH_4^+ + 3O_2 \xrightarrow{\text{Nitrosomas}} 2NO_2^- + 2H_2O + 4H^+ + \text{energía}$$

$$2NO_2^- + O_2 \xrightarrow{\text{Nitrobacter}} 2NO_3^- + \text{energía}$$

Existen antecedentes que señalan que la nitrificación puede ser algo más lenta en suelos con CL, lo que se debería a la acidificación de la superficie del suelo, y a la sensibilidad que presentan las bacterias nitrificantes frente a ésta.

La desnitrificación es la conversión del nitrato en N gaseoso o en óxidos de N, que pasan a la atmósfera. Este fenómeno se debe a que, en condiciones de mucha humedad en el suelo, la falta de oxígeno obliga a ciertos microorganismos a emplear nitrato como aceptor de electrones, en vez de oxígeno en su respiración. Algunas de las propiedades de los suelos en CL sugieren que las pérdidas por desnitrificación pudieran ser mayores que en los suelos labrados como consecuencia de una mayor cantidad de materia orgánica, mayor compactación y menor densidad aparente que pueden tener alquinos los suelos en CL, junto con la mayor humedad presente. Por otro lado, se puede pensar que las bajas concentraciones de nitrato (NO_3^-) y el menor pH en la superficie del suelo limitan la desnitrificación. Valores experimentales muestran que la tasa de desnitrificación biológica en suelo sin remover guarda una relación lineal con su contenido hídrico. Dado que éste es más alto en suelos con CL y cobertura superficial, cabe esperar que la tasa de desnitrificación sea más alta que en suelos con LT. Las pérdidas acumulativas de N gaseoso (N_2O y N_2) varían de 1-7 Kg N ha^{-1}año^{-1} para LT a 12-16 Kg N ha^{-1} año^{-1} para CL. Según la humedad o clase de drenaje del suelo, este efecto de la CL puede ser pequeño o bien la mayor desnitrificación asociada puede llegar a ser un factor importante que limite la aplicación de esta práctica en suelos con mal drenaje (Cuadro 6.1).

Cuadro 6.1. Pérdidas de N (%) por desnitrificación en función del contenido de materia orgánica y el tipo de drenaje (www. Cfnavarra.es/agricultura/buenas/cap4.htm).

Contenido de materia orgánica	Drenaje	
	Bueno	Malo
Menos del 2%	2-4	10-30
Entre el 2-5%	5-10	20-50

En CL se ha detectado un aumento de entre seis a cuarenta veces la población de bacterias desnitrificantes en comparación a LT. Vale destacar que el recuento de bacterias desnitrificantes indica el potencial de desnitrificación, pero que las tasas reales de desnitrificación y el número de desnitrificadores pueden tener una baja correlación.

Lixiviación.

Otra característica de los suelos con cero labranza es que tienden a favorecer la lixiviación de nitratos. El efecto inmediato de los rastrojos sobre el suelo es modificar el balance hídrico aumentando la infiltración del agua y disminuyendo la evaporación directa de agua desde la superficie del suelo. En un suelo sin labranza, por otra parte, aumenta la macroporosidad, estos poros grandes pueden extenderse a una gran profundidad en los suelos bien estructurados aumentando la conductividad hidráulica. Por consiguiente, las lluvias intensas causan pérdida de nitratos, siendo este un problema de mayor importancia en suelos con buen drenaje. La figura 6.6 muestra los componentes del balance hídrico para suelos manejados con y sin rastrojos sobre la superficie. La percolación bajo la zona de raíces se duplica en el suelo cubierto con rastrojos picados. El cuadro 6.2 muestra los efectos promedio del balance hídrico sobre el balance de nitrógeno en una simulación por 20 años de una rotación trigo-lupino cultivada bajo diferentes condiciones en las localidades de Santiago y Temuco.

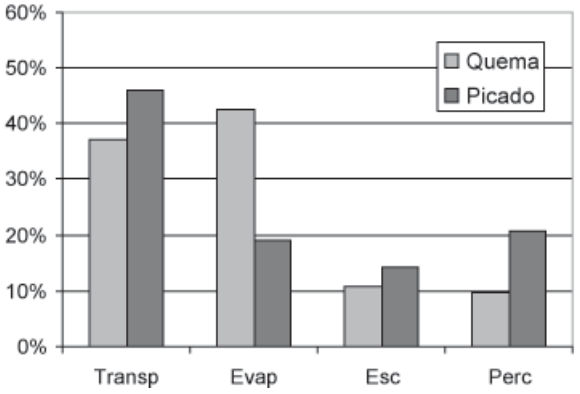


Figura 6.6. Valores relativos promedio de 20 años de simulación para los componentes de un balance hídrico (Transp.= transpiración, Evap = evaporación, Esc = escurrimiento superficial , Perc = percolación) bajo dos situaciones, quema y rastrojo picado sobre la superficie del suelo en Santiago (adaptado de García de Cortazar, 2003).

Cuadro 6.2. Simulación de los componentes de balance de nitrógeno anual en kg de nitrógeno por hectárea. Promedio de 20 años (adaptado de García de Cortazar, 2003).

Lugar	Condición de riego/secano	Manejo de residuos	Fertilización	Mineralización	Lixiviación	Absorción	Fijación simbiótica
Santiago	Riego	Quema	100	46	8	99	109
		Picado	100	86	19	127	99
	Secano	Quema	100	36	8	93	27
		Picado	100	69	15	117	52
Temuco	Trumao delgado	Quema	100	228	96	210	75
		Picado	100	265	122	214	78
Temuco	Trumao profundo	Quema	100	232	73	227	73
		Picado	100	267	103	226	75

Fósforo.

El fósforo (P) es un elemento esencial en el desarrollo de las plantas. Los requerimientos por parte de éstas son diez veces más bajos que los de N, siendo incluso menor que de K. En Chile, la deficiencia de fósforo es la segunda más extendida después de nitrógeno, principalmente en suelos volcánicos.

Gran parte del P presente en los suelos no es aprovechable para las plantas. Sus formas solubles se fijan con gran facilidad a la fase sólida del suelo, siendo su lixiviación nula o muy escasa (con excepción de suelos muy arenosos). La disponibilidad del P se ve estimulada por la mineralización del N, encontrándose una mayor concentración de este elemento donde existe una mayor concentración de N. Desde el punto de vista de la nutrición de los cultivos, el P en el suelo se clasifica como P lábil, P no lábil y P de la solución suelo. El P lábil corresponde al P adsorbido por la superficie de la fase sólida del suelo y se encuentra en equilibrio con el P de la solución. Este se puede encontrar adsorbido por arcillas formando una unión de ligando con el aluminio estructural de éstas, compartiendo un oxígeno. En suelos rojo arcillosos y graníticos, la unión de ligandos se encuentra asociada también a los óxidos de fierro. En el caso de suelos ácidos, se encuentran fosfatos de fierro y aluminio. Aquí el P del suelo puede pasar a formas inorgánicas insolubles, y a su vez, éstas pueden ser fuentes de P para la solución del suelo. En suelos calcáreos, se encuentran fosfatos di y tricálcicos.

La asimilación de los compuestos inorgánicos de P en el suelo está controlada por diversos factores. El pH del suelo determina la forma iónica en que se encuentra el P, y su consecuente aprovechamiento. En soluciones muy ácidas predomina el $PO_4H_2^-$ mientras que en soluciones muy alcalinas predomina el anión $PO_4^=$. En niveles intermedios de pH están presentes simultáneamente

$PO_4H_2^-$ y $PO_4H^=$, siendo el primero más aprovechable para la planta. Sin embargo, en ciertos suelos esta relación viene complicada por la presencia o ausencia de otros compuestos o iones (iones de Fe, Al, Mn o Ca). En suelos ácidos los iones $PO_4H_2^-$ quedan fijados con el Fe, Al o Mn, formando fosfatos hidroxidados. También puede reaccionar y fijarse con óxidos hidratados (suelos ácidos). El encalado en suelos ácidos ayuda a mantener un mayor nivel de fosfatos solubles. En suelos alcalinos la precipitación de los fosfatos es producida por compuestos cálcicos. El máximo de aprovechamiento de fosfatos para las plantas se obtiene cuando el pH del suelo se mantiene entre 6 y 7.

El segundo factor determinante de la disponibilidad del P en el suelo tiene relación con la materia orgánica fresca y los microorganismos presentes en el suelo. Al igual de lo que ocurre con el N, la rápida descomposición de los rastrojos, y el consecuente aumento de los microorganismos del suelo, conduce a una retención temporal de fosfatos inorgánicos.

Algunos productos de descomposición orgánica, tales como ácidos orgánicos y humus, toman parte activa en la formación de complejos con los compuestos de Fe y Al. Esta unión del Fe y Al reduce notablemente la fijación de los fosfatos inorgánicos. La importancia exacta de este último efecto no ha sido aún totalmente evaluada.

Otros factores determinantes de la disponibilidad del P en el suelo son el contenido de P en el suelo, el tipo de arcilla con que los fosfatos son adsorbidos, la humedad del suelo (a mayor humedad mayor disponibilidad de P) y la habilidad específica de absorción de P por plantas (exudados, microflora, capacidad de absorción y exploración radicular).

Cero labranza y la disponibilidad de P en el suelo.

La CL que deja los rastrojos sobre la superficie del suelo permite un reciclaje de alrededor de un 30% del P absorbido por el cultivo. De este total, un 70% del P orgánico de los residuos de cosecha pasa al "pool" orgánico de P estabilizado y un 30% al "pool" de P lábil. El primero se mineraliza con una tasa muy baja, mientras que el segundo lo hace a una tasa más alta. La baja concentración de P en los residuos y la baja proporción que queda lábil determina que la mineralización del P orgánico no sea significativa.

El constante uso del sistema de CL conduce a una mayor eficiencia del fertilizante fosfatado, aumentando la concentración y disponibilidad del P en el suelo superficial. Esto es producto de una menor mezcla y fijación del P por el suelo, lo que aumenta la saturación de los sitios de fijación de P, dejando un mayor porcentaje del P total disponible para reponer lo absorbido por las plantas. En suelos con aluminio activo, el aumento de materia orgánica puede disminuir la capacidad de fijación del P del suelo. En CL las mayores concentraciones de P del suelo se encuentran entre 0-5 cm y decrece en profundidad.

En el Cuadro 6.3 se aprecia un aumento de P total en suelos bajo CL en relación a labranza tradicional y un aumento notable del P disponible en CL. El aumento o preservación de la materia orgánica en suelos bajo sistema de CL, se ve acompañado de un mayor nivel de P total. Este P total, siendo orgánico en su

mayor parte, tiene un grado de disponibilidad mayor ya que no se encuentra unido a las fracciones más insolubles. Además, los rastrojos sobre la superficie permiten tener suelos con mayor contenido de agua. De este modo, se mejora la velocidad de difusión del P hacia las raíces, las que proliferan en esa zona.

Cuadro 6.3. P total y disponible en un suelo Santa Bárbara (Aguilera et al., 1996).

Tipo de labranza	Profundidad de suelos (cm)	P total(mg Kg^{-1})	P disponible(mg Kg^{-1})
Labranza	0-5	1.910	0,0
tradicional	5-10	1.417	0,6
	10-20	1.190	0,0
Cero labranza	0-5	2.312	1,0
	5-10	2.205	1,3
	10-20	1.939	1,0

Otro factor que incide sobre la absorción de P dice relación con la temperatura media del suelo. En general, en suelos con CL se registran temperaturas medias inferiores, en relación a LT. Importante es considerar que cuando éstas están por debajo de la temperatura crítica para el crecimiento y desarrollo de la plántula (por ejemplo, para maíz 10ºC), la captación de P se ve inhibida.

Cero labranza y desarrollo de micorrizas vesículo-arbusculares en el suelo.

Los microorganismos desempeñan un rol fundamental en el movimiento del P en el suelo, ya que de ellos depende que el P no lábil pueda ser solubilizado y aprovechado por las plantas. Existen situaciones de deficiencia de este elemento, donde las plantas son capaces de desarrollar mecanismos biológicos capaces de aliviar este problema. Entre ellos se encuentra una posible extensión del desarrollo radicular, exudación de sustancias ácidas y/o quelantes, liberación de fosfatasas al medio y asociación con microorganismos de vida libre o simbiontes (Micorrizas).

Es importante destacar que existen bacterias y hongos (*Aspergillus* y *Penicillum*) que ejercen su acción sobre hidroxiapatitas, fluoroapatitas y fosfatos tricálcicos, solubilizando estos fosfatos inorgánicos y dejándolos disponibles para las plantas. Simultáneamente se encuentran microorganismos capaces de transformar fosfatos orgánicos en inorgánicos disponibles para el crecimiento de la planta.

Las micorrizas son asociaciones simbióticas mutualísticas desarrolladas por las raíces de plantas superiores y ciertos hongos del suelo. La planta suministra al hongo sustratos funcionales y energéticos conjuntamente con un nicho ecológico que lo protege del antagonismo microbiano, propio de la rizósfera, y a su vez el hongo suministra a la planta agua y nutrientes (principalmente P). Existen dos

grupos principales de micorrizas: las ectotróficas o micorrizas de manto (presentes en especies arbóreas) y las endotróficas (presentes en especies agrícolas). Dentro de las endotróficas, las más extendidas son las del tipo vesículo-arbuscular, encontrándose en el 90% de las especies conocidas de mayor interés agrícola e industrial.

Las hifas de las micorrizas vesículo-arbusculares (MVA) mejoran la estructura del suelo, lo que permite mejorar la aireación, compactación, intercambio de gases y disminuir pérdidas por erosión. Químicamente evitan que patógenos se instalen en la raíz y aportan nutrientes. El papel clave de las micorrizas radica en que las hifas del hongo extienden el campo de absorción de la raíz más allá de su zona. La red de hifas externas permite a la raíz aumentar su superficie de absorción (extendiendo la zona de captación en unos 7 cm) y, explorar un volumen de suelo mayor del que lo hacen las raíces no micorrizadas. Además, las raíces micorrizadas absorben nutrientes más eficazmente que las no micorrizadas.

En el caso de la CL, el desarrollo de los microorganismos del suelo y sus actividades enzimáticas (deshidrogenasa y fosfatasa) se ven favorecidas. La materia orgánica que se obtiene, constituida principalmente por ácidos fúlvicos y residuos carbonados fácilmente asimilables, conducen a un crecimiento y mayor desarrollo de actividades microbianas.

Suelos sometidos a CL, presentan una mayor infectividad por MVA, encontrándose un mayor número de esporas, mayor cantidad de micelios y mayor infección de raíces. Se ha logrado determinar que un centímetro de raíz infectada, posee más de un metro de hifas, lo cual permite un aumento sustancial en la capacidad de absorción de nutrientes. Plantas con raíces micorrizadas pueden absorber cuatro veces más P que las plantas no micorrizadas.

En suelos del secano interior de la IX región (ultisol) manejados con el sistema de CL y LT, se determinó su nivel de micorrización y de P disponible. El sistema de CL presentó valores más altos en todos los parámetros medidos (Cuadro 6.4) .

Cuadro 6.4. Nivel de micorrización y P disponible de un suelo ultisol, usando LT y CL en avena y lupino (adaptado de Rouanet, et al. 2003).

Sistema	Cultivo de manejo	Micorrizas Totales(m g^{-1})	Micorrizas Activadas(%)	P disponible (mg Kg^{-1})	P total (mg Kg^{-1})
CL	Avena	13.10	33.20	21.60	2482
	Lupino	13.38	33.80	22.20	2566
LT	Avena	15.15	16.10	17.60	2317
	lupino	11.86	18.70	15.10	2203

En un experimento similar, pero con una rotación de 5 años, realizado en un suelo transicional de la localidad de Carillanca, se pudo constatar que los índices de micorrización fueron mayores en la medida que el suelo fue tratado con menos grado

de inversión y los rastrojos fueron dejados sobre la superficie. Además, se observó una movilización de P de formas menos lábiles a formas más lábiles y P disponible inorgánico al variar el manejo del suelo en los primeros 10 cm de profundidad.

Potasio.

El potasio (K) es un catión monovalente, con pequeño diámetro atómico hidratado, capaz de desplazarse en el suelo por simple difusión. Se distingue el K no intercambiable, el K presente en los coloides del suelo o K intercambiable (Ki) y el K de la solución del suelo. El K de la solución es aquel que se encuentra como ión libre en la solución suelo y las plantas lo utilizan directamente para satisfacer sus requerimientos nutritivos. El K no intercambiable es aquel retenido fuertemente por minerales primarios y arcillas micáceas, siendo éste de lenta disponibilidad.

El K retenido por adsorción por los coloides del suelo o Ki, es capaz de neutralizar las cargas negativas de las arcillas e intercambiarse con otros cationes (principalmente Ca^{++}). Se encuentra en equilibrio con el K de la solución suelo. El tipo y la cantidad de arcilla determinan el K de intercambio y la energía con que es retenido. Existe una estrecha relación entre el tipo de arcilla, el contenido de arcilla y los valores de K intercambiable y no intercambiable.

Los suelos aluviales de la zona Central y los suelos graníticos del Secano de la Cordillera de la Costa de la V a la VIII región tienen alta reserva de K intercambiable. En los suelos del Valle Central a partir de la VI región hacia el sur, los valores de K no intercambiable comienzan a disminuir. En los suelos del sur del país, rojos arcillosos, trumaos, ñadis, arenales, lacustres de las regiones VII y VIII (arroceros), graníticos de las regiones VIII y IX y terrazas recientes (arenosos), la reserva de K es muy baja (Ki <100 ppm).

La capacidad tampón es un índice de la labilidad del Ki y de las características del equilibrio que se produce entre el Ki y el K de la solución. La capacidad tampón del K (CTK) está determinada por dos factores, la especificidad de los sitios de intercambio dada por el tipo de arcilla, y la cantidad de sitios dada por la CIC. Un suelo con un valor alto de CTK permite una nutrición adecuada de los cultivos con una baja fertilización potásica. Suelos con baja CTK requieren dosis más altas de fertilizante para superar la deficiencia de K.

Contenido y disponibilidad del K en el suelo bajo un sistema de cero labranza.

Existen varios factores o condiciones de los suelos que influyen en las cantidades de K fijadas. Entre ellos se pueden mencionar los efectos de los coloides, de la humedad y de la temperatura. Suelos ricos en caolinita fijan poco K, mientras que arcillas del tipo 2:1 (principalmente illita) fijan K con mayor avidez y en grandes cantidades. Por otro lado, la montmorillonita y minerales similares fijan este elemento cuando el suelo se seca, sin embargo, estos iones son liberados una vez que el suelo se humedece. Bajo condiciones de alta humedad la fijación ocurre en minerales derivados de la mica, tales como la illita. Otro aspecto que parece influir en la disponibilidad de K es la rotación cultural, ya que hay cultivos

que absorben más K. La absorción de K por las plantas es elevada, a menudo 3 ó 4 veces la de P e igual a la de N.
A diferencia del N y el P, el comportamiento del K en el suelo con CL no es tan distinto a suelos con LT. En condiciones de CL el factor que más afecta la distribución de K es la falta de movimiento de suelo. El K proveniente tanto de rastrojos, fertilizantes y/o guanos, se "incorpora" al suelo por difusión. Tanto la mineralización del K orgánico contenido en los rastrojos y la mayor actividad biológica, que tiende a hacer más solubles formas de K no disponibles, conducen a que las principales concentraciones de K se encuentren en la superficie, disminuyendo en profundidad.
En CL se observa una estratificación del K, donde los niveles de K extraible son mayores que en LT en los primeros 5 cm del suelo. En un suelo aluvial de la zona central de Chile, trabajado durante 4 años con CL , el valor más alto de K disponible se encontró en los primeros 2 cm de suelo (250.7 ppm). El promedio de K en los primeros 15 cm de suelo (165.3 ppm) en CL fué significativamente superior a LT (93.3 ppm).
En el caso del maíz, en CL, los primeros 7,5 cm de suelo, contribuyen a las mayores concentraciones de K total extraído, en comparación con LT.
La morfología y la distribución de las raíces cambia de acuerdo al sistema de labranza. La distribución de raíces determina en el suelo la zona de agua y nutrientes disponibles para las plantas. En CL las raices se desarrollan más superficialmente en el perfil de suelo, cuando el suelo es trabajado anualmente, las raíces se desarrollan más en profundidad y con una ramificación más fina.La mayor humedad del suelo, resultado de dejar los rastrojos sobre la superficie, aumenta la difusión del K hacia las raíces, posibilitando la extracción de éste.
Se ha observado estratificación de nutrientes inmóviles (P y K) en campos trabajados por largos períodos con CL. La estratificación del K en superficie (0-5 cm) es un fenómeno producido por la falta de mezcla del suelo, las aplicaciones superficiales de K y el K liberado de los residuos de cosecha en superficie.

Los rastrojos como fuente de nutrientes.

Los constituyentes orgánicos mayoritarios de los vegetales pueden agruparse en seis grandes categorías. La *Celulosa* es el constituyente vegetal más importante, ubicado en la pared celular de la célula vegetal, puede constituir de un 15 a un 60% del peso seco de los rastrojos. La *Hemicelulosa*, ubicada en la pared celular, junto a la celulosa generalmente es el segundo compuesto orgánico en importancia después de la celulosa. La *Lignina* constituye entre un 5 y 30% del peso seco y se encuentra asociado a la celulosa en la pared celular. Otros compuestos corresponden a *azúcares simples, aminoácidos y ácidos alifáticos* y son la fracción soluble al agua. Las *grasas, aceites, resinas y pigmentos* constituyen la fracción soluble en éter y alcohol. Las *proteínas* constituyen el 10% del peso seco de los vegetales
La composición de la especie vegetal y el estado de desarrollo en que se encuentre, determina el porcentaje de los constituyentes orgánicos de los rastrojos. En general, a medida que la planta avanza en su estado fenológico, los contenidos de celulosa y lignina aumentan, disminuyendo las fracciones

solubles al agua y las proteínas. La celulosa es el principal compuesto generador de humus, mientras que la lignina es la responsable de la formación de huminas.
Los rastrojos retornan al suelo una cantidad no despreciable de nutrientes minerales. En Chile, los residuos producidos por los tres principales cereales sembrados (trigo, avena, maíz) se estiman en 4 millones de toneladas al año con una cantidad total de los principales nutrientes (N, P, K) de 113.000 T año^{-1}.
El N orgánico presente en los rastrojos es mineralizado por los microorganismos del suelo a distintas velocidades de acuerdo a factores físicos y biológicos. El nivel de lignina presente en los residuos de cosecha determina su velocidad de descomposición. Se han distinguido tres fracciones de acuerdo a la velocidad de descomposición: muy lábil, vinculada al contenido celular (protoplasma); lábil, ligada a la celulosa y hemicelulosa; y resistente, ligada al nivel de lignina presente en las paredes celulares. En la paja del trigo, el 77% del N se encuentra en la fracción muy lábil, el 10% en la fracción lábil y un 13% en la resistente. Por otra parte, en la parte aérea del trébol rosado, el 93% del N aparece en la fracción muy lábil, 4% en la lábil y sólo el 3% en la resistente.
En términos generales, los cultivos anuales aportan entre 40 y 80 Kg N ha^{-1} a través de residuos de cosecha. Los mayores aportes son de las oleaginosas seguidas de legumninosas y cereales. En relación a la cantidad de nutrientes presentes en los rastrojos, mediciones realizadas en la precordillera andina de la VIII región, en suelos derivados de cenizas volcánicas (andisoles y ultisoles) arrojó los siguientes resultados (Cuadro 6.5):

Cuadro 6.5. Cantidad de nutrientes presentes en una tonelada de rastrojo de algunos cultivos (Kg T^{-1}) (adaptado de Vidal y Troncoso, 2002).

	Trigo	Avena	Raps	Lupino
Nitrógeno	5.8	5.5	7.2	7.8
Fósforo	0.4	0.3	0.5	0.4
Potasio	11.4	15.1	13.8	6.0
Calcio	5.1	4.2	10.0	15.6
Magnesio	0.9	0.8	1.2	3.4

Los principales elementos que contienen los diferentes cultivos son K, N y Ca. Los cereales se destacan por un mayor contenido de elementos monovalentes como K^+, mientras que, oleaginosas y leguminosas como raps y lupino poseen mayor contenido de iones divalentes como Ca^{++} y Mg^{++}. Del Cuadro 6.5 resulta que 10 T ha^{-1} de rastrojo de trigo aportarían al suelo 58 Kg de N ha^{-1}, 4 Kg de P ha^{-1},114 Kg de K ha^{-1}, 51 Kg de Ca ha^{-1} y 9 Kg de Mg ha^{-1}.
Parte del valor de los rastrojos corresponde a la cantidad de C aportado al suelo. Entre 40 y 50% del peso seco de los rastrojos es C. El contenido de N es altamente variable dependiendo de la especie, órgano y condiciones de cultivo (Cuadro 6.6), lo

cual origina amplias variaciones en la relación C/N. También se observan variaciones importantes en al contenido de P y fibra detergente neutra (Morón, 1996).

Cuadro 6.6. Composición química de la parte aérea de diferentes rastrojos (adaptado de Morón, 1996).

Especie	%C	%N	C/N	%P	%FDN [1]	%FDA [2]
Maíz-caña	40.5	0.68	59.6	0.25	60.4	30.4
Maíz-hoja	41.6	1.85	22.5	0.30	67.2	31.7
Sorgo-caña	39.7	0.29	137.0	0.15	69.9	40.5
Sorgo-hoja	40.3	0.93	43.3	0.23	69.6	35.9
T.blanco	41.3	3.04	13.6	0.33	31.5	23.0

[1] FDN: fibra detergente neutra (contenido de celulosa, hemicelulosa, lignina y sílice);

[2] FDA: fibra detergente ácida (excluye hemicelulosa).

Aspectos a considerar para una fertilización nitrogenada en CL.

Tanto en CL como en LT la necesidad de N por parte del cultivo es similar si la cosecha es similar, por lo tanto, las diferencias de requerimiento en fertilizante nitrogenado provienen de las diferentes expectativas de cosecha y de las distintas reacciones del suelo a uno y otro sistema. Algunos de los principales problemas relacionados con el N en suelos en CL son el "hambre de N", su menor velocidad de mineralización, su menor tasa de nitrificación y el aumento de pérdidas por lixiviación. Como consecuencia se requiere más N para obtener un rendimiento máximo de algunos cultivos desarrollados en CL.

En CL es importante considerar la diferencia que existe entre la relación C/N del suelo y la de los rastrojos, para poder realizar una fertilización nitrogenada suplementaria adecuada al inicio del sistema. Rastrojos de leguminosas, capaces de fijar N atmosférico, tienen una relación C/N más estrecha en comparación a rastrojos de gramíneas. Un rastrojo de porotos contiene 1,2 a 1,6% de N, el maíz 0,7 a 1,0% y la caña de trigo 0,2 a 0,6%, por lo tanto el rastrojo de trigo requerirá más N adicional que el de maíz y que el de porotos. Aquellos rastrojos que contengan más de un 1% de N no requieren de aplicaciones adicionales. El cuadro 6.7 presenta dosis de N recomendadas para rectificar la relación C/N en diferentes rastrojos.

Cuadro 6.7. Dosis de N requerida para corregir la relación C/N en rastrojos sobre el suelo (adaptado de Crovetto, 2002).

Rastrojo	Rendimiento (14%humedad) (T ha^{-1})	Rastrojo en superficie (T ha^{-1})	N (Kg ha^{-1})	Nitrato de amonio Calcio magnésico (Kg ha^{-1})
Trigo	5-6	5-7	55-77	203-290
Maíz	10-12	10-12	70-84	259-310
Porotos	2-3	1-1.5	5-7.5	18-27

El fertilizante a aplicar puede ser en base a N nítrico (nitrato de sodio, nitrato de calcio y nitrato de amonio) o nítrico amónico. Se debe agregar al voleo sobre la superficie en el rastrojo antes de la siembra. La dosis recomendada para paja de trigo y otros cereales menores es de 10 Kg de N T^{-1} de materia seca, y para maíz 7 Kg de N T^{-1} de materia seca.

La urea que es un fertilizante bastante usado por razones de costo, sin embargo, los fertilizantes amónicos tienen altas pérdidas de N por volatilización del amoniaco en suelos con pH superiores a 7.5. El uso de urea en estos suelos requiere que el rastrojo se riegue o existan posibilidades de lluvia próximo a la aplicación. Al usar urea en suelos ácidos se recomienda agregar carbonato de calcio dos meses antes sobre la superficie del suelo para evitar problemas de acidificación. Por cada 100 Kg de urea se debe aplicar aproximadamente 160 Kg de carbonato de calcio para su neutralización.

Del N total absorbido por un cultivo de trigo, aproximadamente un 40% proviene del N del fertilizante y un 60% proviene del N del suelo en cultivos en cero labranza de suelos ultisoles y alfisoles del secano interior de la IX región de Chile. En LT, donde se invierte el suelo y se eliminan los rastrojos, estas cifras se invierten. El sistema CL establecido por 6 años permitió obtener un rendimiento de 8 T de trigo ha^{-1} con una dosis de 150 Kg N ha^{-1}. El rastrojo de trigo, al permanecer sobre la superficie, permitió reciclar alrededor de 20 Kg N total ha^{-1} de los que 9 Kg de N provenían del fertilizante.

Aspectos a considerar para una fertilización fosforada en CL.

En el caso del P, también se debe rectificar la relación C/P, ya que al igual de lo que ocurre con el N en el suelo, la descomposición de la materia orgánica requiere de P por parte de los microorganismos. Se estima que las necesidades de P para una normal descomposición de los rastrojos es la mitad de lo requerido en N. Para este caso se recomienda roca fosfórica (una forma de fosfato tricálcico) ya que es fácilmente degradada por los microorganismos del suelo.

Es posible que se pueda mejorar la relación costo / beneficio rebajando la dosis de P a aplicar en CL. Esto se debe a que en CL se ha encontrado un aumento de la biomasa microbiana asociado principalmente al aumento de bacterias del suelo. Este hecho ha mostrado una relación positiva con el aumento en la concentración de P total y disponible en la solución del suelo. Una alta proporción de este P se encuentra asociado al ácido fúlvico y es fácilmente hidrolizable.

Aspectos a considerar para una fertilización potásica en CL.

El K no representa problema alguno para la CL. Aquellos suelos y zonas que requieran un aporte inicial y/o niveles altos de este elemento deben ser previamente definidos a través de un análisis de suelo, de modo de satisfacer los requerimientos de las cosechas.

Implicaciones económicas.

La CL es un sistema de producción conservacionista que junto con presentar ventajas económicas, permite preservar los recursos naturales. Las principales economías que resultan de la CL son la menor necesidad de mano de obra, economía de tiempo, menor desgaste de la maquinaria, economía de combustible, aumento de la productividad a largo plazo, aumento de la fertilidad natural del suelo, mejoramiento de la calidad del agua superficial, disminución de la erosión, mayor retención de humedad, aumento de la infiltración del agua en el suelo, disminución de la compactación del suelo, mejoramiento de la estructura del suelo, aumento de la vida silvestre, menor emisión de gas carbónico a la atmósfera y reducción de la contaminación del aire (Capítulo 9).

Teóricamente, en CL los costos de producción disminuyen sustancialmente, hasta en un 40% por mayor disponibilidad de nutrientes, lo que permitiría disminuir el uso de fertilizantes cuando los nutrientes esten disponibles. En el caso de trigo con rendimiento de 7 T ha^{-1}, la valoración de nutrientes que quedan con el residuo (N, K, Ca, S y Mg) considerando los fertilizantes más económicos del mercado, da una cifra de 90-100 US$ ha^{-1}. Al dejar este material en el suelo, junto con adicionar nutrientes se agregan casi 400 Kg de C por tonelada de rastrojo.

Una estimación del impacto de la quema en términos de kilos de nutrientes que se pierden considerando que gran parte de las cenizas son barridas por el viento y el costo que significaría comprar igual cantidad de nutrientes aparece en el Cuadro 6.8.

Cuadro 6.8. Costos estimados de la pérdida de nutrientes por la quema de rastrojo de Trigo (Vidal y Troncoso, 2003).

Nutrientes	Cantidad contenida rastrojo (Kg ha^{-1})	Valor unitario ($ kg^{-1})	Total ($ ha^{-1})
N	58	254	14.720
P_2O_5	14	314	4.390
K_2O	164	213	35.000
CaO	61	66	4.000
MgO	22	364	8.000
TOTAL			**66.110**

De este modo se observa una pérdida de $66.110 (aproximadamente US$ 100) por hectárea, por concepto de pérdida de nutrientes producida por la quema de rastrojos, siendo de mayor importancia para K y luego N.

Síntesis.

- La cero labranza genera profundos cambios en la estratificación del suelo con respecto a la labranza tradicional, lo que tiene implicaciones desde el punto de vista de fertilización.
- Con respecto al nitrógeno se debe tener presente la diferencia de relación C/N de los rastrojos y de la materia orgánica del suelo y la necesidad de suministrar aproximadamente un 30% adicional.
- La cero labranza puede reducir la eficiencia de utilización del nitrógeno debido a posible mayor volatilización, mayor inmovilización y menor mineralización del N.
- La disponibilidad de fósforo generalmente aumenta en cero labranza con respecto a labranza tradicional por lo que, con el tiempo, en cero labranza podría disminuir la fertilización fosforada.
- La necesidad de fertilización potásica también debiera tender a disminuir con el tiempo en cero labranza.

Bibliografía.

AGUILERA, S.M., BORIE, G., DEL CANTO, P. y PEIRANO, P. 1996. Contribución del sistema conservacionista cero labranza en los niveles de C, P y bioactividad de suelo Santa Bárbara. Agricultura Técnica. 56 (4): 250-254.

COSTA, R. 2002. El mercado del carbono. Nace el comercio de créditos de carbono.[en línea] Bolsa de Cereales de Buenos Aires, Dirección de Estudios Económicos, Buenos Aires; Argentina. Disponible en el World Wide Web (Consultado el 1 de Noviembre de 2002). http://www. Bolcereales.com.ar/carbono/archivos/BC-Carbono-B%C3%A1sico parte5.pdf.

CROVETTO, C. 2002. Cero labranza. Los rastrojos, la nutrición del suelo y su relación con la fertilidad de las plantas. Trama Impresores S.A. Talcahuano, Chile. 225p.

GARCÍA DE CORTAZAR, V. 2003. Simulación de la dinámica de los rastrojos sobre el suelo en cero labranza. In: Sustentabilidad en Cultivos Anuales: Cero Labranza, Manejo de Rastrojos. Acevedo, E. (ed.). Santiago, universidad de Chile. Fac. de Cs. Agronómicas, serie Ciencias Agronómicas N°8. 99-110p.

HALVORSON, A., BLACK A., KRUPINSKY, J.M., MERRILL, S.D., WIENHOLD, B.J. and TANAKA, D.L. 2000. Spring wheat response to tillage and nitrogen fertilization in rotation with sunflower and winter wheat. Agron. J. 92:136-144.

KNOWLESS, T.C., HIPP, B.W., GRAFF, P.S., and MARSHALL, D.S. 1993. Nitrogen nutrition of rainfed winter wheat in tilled and no till sorghum and wheat residues. Agronomy Journal. 85: 886–893.

MATURANA, L. 2003. Variación en la disponibilidad de nutrientes asociado al manejo de rastrojos en el sistema de cero labranza. Tesis Ing. Agr. U. Mayor Santiago, Chile 120p.

MORON, A. 1996. El rol de los rastrojos en la fertilidad del suelo. [En línea] INIA La Estanzuela, +Colonia, Uruguay. Disponible en el World Wide Web (Consultado el 1 Agosto 2002).–E-mail: moronainia.org.uy.

RODRIGUEZ, J. 1993. La Fertilización de los Cultivos. Un Método Racional. Santiago, Chile. Central de publicaciones Facultad de Agronomía, P.U.C. 291p.

ROUANET, J.L., PINO, I. URIBE, H., NARIO, A., SCHULLER, P., BORIE, F., BARRIENTOS, L., PARADA, A.M., ALVEAR, M. Y MERA, M. 2003. Manejo integrado suelo-planta y desarrollo sustentable de la agricultura del sur de Chile. In: Sustentabilidad en cultivos anuales: cero labranza, manejo de rastrojos. Acevedo, E. (ed.). Santiago, Universidad de Chile. Fac. de Cs. Agronómicas, serie Ciencias Agronómicas N°8. 29-55p.

SIERRA, C. 1990. Fertilidad de los suelos en cero labranza. p 196–209. In: 1º Jornadas Binacionales de Cero Labranza. 1990, Concepción, Chile.

STEVENSON, S.J. 1986. Cycle of soil. Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients. New York, Wiley. 380 p.

VIDAL, I. y TRONCOSO, H. 2002. Quema y manejo de rastrojos en cultivos de la precordillera de la VIII Región. En: U. De Concepción-U. De Chile. Informe de avance proyecto FONDEF D99I1081 Enero 2000-Marzo 2002.p:2-28.

VIDAL, I. y TRONCOSO, H. 2003. Manejo de rastrojos en cultivos bajo cero labranza In: Sustentabilidad en Cultivos Anuales: Cero labranza, Manejo de Rastrojos. Acevedo, E. (ed.). Santiago, Universidad de Chile. Fac. de Cs. Agronómicas, serie Ciencias Agronómicas N°8. 57-82p.

7

Malezas en Cero Labranza

El control de malezas es a menudo identificado como el principal problema para la adopción de sistemas de labranza de conservación como la cero labranza. El uso masivo de la cero labranza en el mundo ha estado asociado a la disponibilidad de herbicidas post emergentes no selectivos (paraquat, glifosato) que permiten la eliminación de las malezas previo a la siembra.

Al eliminar la labranza no sólo se elimina un importante método en el control de malezas sino que también se altera el ambiente en que las malezas y los herbicidas interactúan. Se generan cambios físicos y químicos que pueden provocar la desaparición de algunas especies y la aparición de otras más adaptadas. Se producen cambios en la población de malezas por la no inversión de suelo y por la presencia de rastrojos.

En general los herbicidas que se emplean en cero labranza son los mismos que se utilizan en labranza tradicional, siendo igualmente eficientes, a excepción de los herbicidas suelo activos que se aplican al suelo y requieren ser incorporados. Debido a la presencia de rastrojos sobre el suelo, muchos herbicidas suelo activos quedan en el rastrojo y requieren de una lluvia o un riego para ser incorporados al suelo. En estas condiciones los herbicidas quedan expuestos a procesos de volatilización y fotodescomposición que pueden disminuir su efectividad. Debido a estos cambios algunos herbicidas que trabajan bien en condiciones de labranza tradicional no logran un buen control de malezas en cero labranza.

Especies de malezas que predominan en cero labranza.

En general el cambio de labranza tradicional a cero labranza ha provocado incremento de las gramíneas anuales de verano, bianuales y especies anuales de invierno, en tanto que las dicotiledóneas de semilla grande han disminuido. No es recomendable el uso de cero labranza en áreas fuertemente infestadas con malezas perennes, sin embargo, con la eliminación de la labranza se evita el corte de los tallos subterráneos, tubérculos y rizomas, reduciendo así la proliferación de estas malezas, lo que sumado a aplicaciones de glifosato puede permitir un buen control.

En cero labranza aumentan las especies anuales de semilla pequeña como especies del género *Carduus sp., Centaurea sp., Amaranthus sp., Taraxacum officinale*,

Salsola iberica, *Senecio vulgaris*, *Conyza canadense*, *Hordeum juvatum*, *Setaria sp.*, *Poa annua* y *Alopecurus sp* y cultivos voluntarios. Por otra parte, disminuyen las especies de hoja ancha de semilla grande como zapallito amargo, *Datura sp.*, *Abutilon theophrasti* y *Senna obtusifolia*.

En Chile, en los últimos años, algunas malezas gramíneas y de hoja ancha tales como la ballica (*Lolium multiflorum*), vulpia (*Vulpia* sp.), viola (*Viola arvensis*) y lengua de gato (*Galium aparine*), entre otras, han adquirido una importancia creciente en la mayor área productora de trigo del país, principalmente en el sistema de cero labranza.

Cantidad y diversidad de malezas.

Diversos autores han observado un aumento de las malezas al reducir las labores de preparación de suelo. Este aumento se puede asociar a la presencia de una mayor cantidad de semillas de malezas cuando se realiza cero labranza que cuando se utiliza arado de vertedera. En cero labranza hay una disminución de la cantidad de semillas de malezas en profundidad del suelo, mientras que al utilizar arado de vertedera se observa una distribución uniforme. En cero labranza un 60% de esta semilla se concentra en la superficie del suelo (Cuadro 7.1), produciéndose un cambio en la distribución vertical del reservorio de semillas.

Cuadro 7.1. Distribución de semillas de malezas en los primeros 20 cm del suelo (n°semillas 100cm^{-3} suelo) (Yenish et al., 1992)

Sistema de labranza	Profundidad del suelo (cm)				
	0-1	1-3	3-6	6-9	9-19
Arado de vertedera	56	42	40	49	70
Cero labranza	891	199	67	41	13

La distribución vertical de las semillas en el perfil de suelo puede afectar su nivel de dormancia, longevidad y profundidad de emergencia. La profundidad para la germinación y desarrollo óptimo de las malezas cambia con la especie, así *Abutilon theophrasti* tiene un óptimo a 2,5 cm, mientras que *Taraxacum officinale* tiene un óptimo sobre la superficie del suelo. Al dejar de laborar el suelo y controlar las malezas con herbicidas se dan condiciones que pueden permitir que el reservorio de semillas se agote dando oportunidad a que otras especies adaptadas a las nuevas condiciones se establezcan y prosperen.

La diversidad de malezas disminuye en cero labranza, probablemente debido a que no se produce una reactivación del banco de semillas de malezas presentes en el suelo. Como se observa en la Figura 7.1, en la medida que se dejan rastrojos sobre el suelo, disminuye el número de especies de malezas presentes.

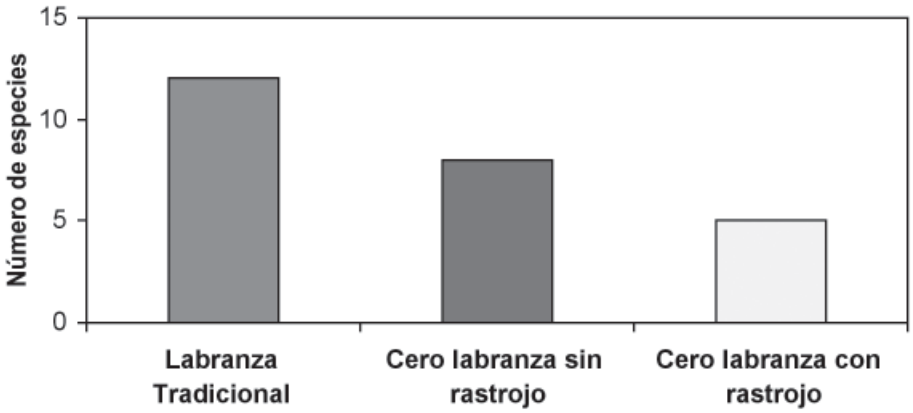


Figura 7.1. Número de especies de malezas en maíz con diferentes sistemas de labranza (adaptado de Munro et al., 2001).

La presencia de rastrojos sobre el suelo provoca una serie de cambios que pueden hacer variar la población de malezas. Entre estos destacan el impedimento físico, la disminución de la intensidad de luz que llega a la superficie del suelo, la disminución de la temperatura y la liberación de compuestos alelopáticos en los primeros centímetros del suelo. La presencia de rastrojo sobre el suelo impide, por otra parte, que las semillas de malezas tengan contacto con el suelo. Las semillas más pequeñas son las únicas que encuentran condiciones de humedad dentro del rastrojo, germinando con sólo un mínimo contacto con el suelo. En contraposición las semillas más grandes necesitan un íntimo contacto con el suelo, situación que no se obtiene con este tipo de labranza. Existen malezas que requieren un estimulo de luz para germinar (Cuadro 7.2), por lo que malezas como Mikania y Pichoga tienden a disminuir en cero labranza por falta de luz para su germinación.

Cuadro 7.2. Germinación de semillas de malezas bajo condiciones de luz y oscuridad (Kogan, 1992).

Especie	Luz	Oscuridad
	(%)	
Mikania (*Mikania micrantha*)	63	0
Pichoga (*Euphorbia hirta*)	38	7
Amor seco (*Bidens pilosa*)	95	77
Quinuilla (*Chenopodium album*)	77	68

La descomposición de rastrojos libera numerosas sustancias orgánicas, muchas de las cuales son fitotóxicas. El grado de fitotóxicidad depende del tipo de rastrojo y de la madurez y grado de descomposición que éste tenga. El control de malezas es más eficiente en presencia de rastrojos de gramíneas (maíz, sorgo, arroz, cebada, avena, trigo, triticale y centeno), las que ejercen efectos alelopáticos más pronunciados. Los residuos verdes de estos cultivos son más alelopáticos que

los maduros. La fitotóxicidad de estos residuos desaparece con su descomposición. Los residuos de los cultivos varían en su capacidad para cubrir suelo, los residuos de granos pequeños, como trigo son más eficientes por unidad de peso, comparado con otros residuos. A pesar de las ventajas de la utilización de residuos como supresores de malezas, debe considerarse que dan lugar a rebrotes. Los cereales, maravilla, col forrajera y nabo forrajero producen fuertes rebrotes, lo que exige el uso de herbicidas para su eliminación.

Los rastrojos de trigo inhiben la germinación y el crecimiento de plántulas de malezas en el siguiente orden descendente: *Ipomaea hederacea, Abutilon theophartis, Ipomoea lacunosa, Sesbania exaltata, Cassia obtusifolia* y *Echinochloa cruz-galli* var. Frumentacea.

Control de malezas en cero labranza.

Control cultural. Para realizar un buen control de las malezas es importante considerar los siguientes aspectos:

- Reducir el período de barbecho. Estos períodos resultan en proliferación de malezas y producción de semillas de malezas. En vez de dejar el suelo en descanso, los agricultores deberían sembrar un cultivo inmediatamente o tan luego sea posible después de la cosecha del cultivo anterior. Entre otras ventajas esto reducirá la infestación de malezas y no permitirá que las malezas produzcan semillas viables que infesten el terreno (Derpsch, 2003). Para cubrir períodos muy largos en que el suelo queda sin cultivos, es necesario a veces sembrar dos especies de cultivos de cobertura una detrás de la otra. Por ejemplo, en el sur de Brasil o Paraguay la soya se cosecha en marzo y se vuelve a sembrar en noviembre, quedando el suelo sin cultivo durante 7 meses. En estos casos se suele sembrar maravilla en alta densidad (50 kg ha^{-1} de semillas cosechadas de semilla híbrida) y en espaciamiento de 17 a 20 cm (con lo que se consigue un perfecto control de malezas sin herbicidas). Después de 55 a 60 días se aplasta la maravilla y se siembra inmediatamente avena negra para cubrir el suelo hasta octubre. Luego se corta la avena negra y se siembra soya en cero labranza sobre los residuos de avena.
- Picar y distribuir homogéneamente el rastrojo sobre el suelo para aprovechar los efectos del rastrojo sobre el control de malezas y facilitar la aplicación homogénea de los herbicidas.
- Reducir la distancia entre hileras para aumentar la competitividad del cultivo, permitiendo con ello un mayor sombreamiento, disminuyendo el período de emergencia de malezas.
- Realizar rotaciones de cultivo que impiden el desarrollo de grupos de malezas y que permiten el uso de herbicidas con distinto modo de acción. Es así como el uso de una leguminosa en la rotación ofrece la posibilidad de utilizar graminicidas más eficaces que los utilizados en cereales, posiblemente de grupo químico diferente, particularmente en el control de malezas de difícil control como *Arthenatherum elatius* o *Avena fatua.* Por otra parte, la posibilidad de utilizar triazinas (por ejemplo, simazina, metribuzina) en cultivos de leguminosas ofrece la oportunidad para controlar *Vulpia* sp., maleza que constituye un problema en cereales establecidos con cero labranza.

Control químico. El control químico de malezas, en cero labranza, debe considerar dos partes; primero se debe controlar las especies presentes antes de la siembra del cultivo y segundo controlar a aquellas malezas que se establecen simultáneamente con el cultivo.

Antes de la siembra. Si el terreno tiene especies anuales y perennes, gramíneas y/o dicotiledóneas, una alternativa es la aplicación de productos sistémicos no selectivos y sin acción residual tales como glifosato**,** el cual es absorbido por las hojas y traslocado a toda la planta. La acción de este producto es lenta (10 a 15 días para matar la maleza), su agresividad se incrementa al adicionar a la mezcla de aspersión 2,5 a 3% de sulfato de amonio o urea y al aplicarlo con volúmenes bajos de aspersión (de 50 a 100 l ha^{-1}) y es mas efectivo cuando las malezas están en período de crecimiento activo. La adición de 2,4 D puede incrementar su acción sobre especies "aletargadas" o que normalmente presentan cierta tolerancia a este producto (*Ipomoea, Gnaphalium, Conyza, Eupatoriu*m y otras).

Si en el terreno existen sólo malezas anuales, tanto gramíneas como dicotiledóneas, puede usarse un producto no selectivo, sin acción residual como paraquat, diquat o mezcla de ambos, que será absorbido por el follaje y desecará las partes con las que entre en contacto. No obstante, si la maleza presente tiene más de 30 cm de altura, es preferible cortarla una semana antes de la aplicación con el fin de asegurar un mejor cubrimiento de la aspersión y con ello su control. El efecto se observa antes de 24 horas de la aplicación, por lo que de existir fallas en el control hay oportunidad de efectuar otro tratamiento de herbicidas antes de la emergencia del cultivo. Tanto el paraquat como el glifosato pueden utilizarse para control de malezas pequeñas hasta antes de la emergencia del cultivo.

Después de la emergencia. Los cultivos pueden infestarse nuevamente con malezas anuales o perennes, de hoja ancha o de hoja angosta, por ello debe planificarse la aplicación de herbicidas selectivos al cultivo que controlen esas malezas. En general, los herbicidas que se emplean en cero labranza, aplicados al cultivo, no tienen problemas en el control de malezas (2,4-D, MCPA, iloxan, etc). Por ejemplo, comparaciones de herbicidas de pre y post emergentes para trigo de secano, en la VI Región, mostró que si se usaba herbicidas adecuados (paraquat o glifosato de pre siembra y tribunil más iloxan de post emergencia) se lograba buen control de las malezas y rendimientos similares en cero labranza a la labranza tradicional (Letelier et al., 1986).

Sin embargo, se pueden presentar problemas con los herbicidas selectivos pre-emergentes que son aplicados al suelo (Cuadro 7.3).

Cuadro 7.3. Herbicidas suelo activos más comunes.

Nombre común	
Alaclor	Linuron
Atrazina	Metribuzina
Cianazina	Metalaclor
Diuron	Simazina
EPTC	Trifluralina
Imidazolinonas	

Los herbicidas aplicados al suelo (suelo activos) requieren ser incorporados al suelo. Los rastrojos pueden impedir una buena incorporación y distribución de estos herbicidas y el aumento de materia orgánica y de actividad biológica en el suelo pueden reducir la actividad del herbicida.

Herbicidas suelo activos. Las características del suelo como carbono orgánico, pH, textura, estado nutricional, humedad, y población microbiana tienen un efecto importante en la interacción de los herbicidas con el suelo. Muchas de estas propiedades son fuertemente influenciadas por la cero labranza y los residuos dejados sobre el suelo.

Varios factores relacionados con la presencia de rastrojos pueden contribuir a reducir la eficiencia de los herbicidas aplicados al suelo. Los rastrojos son una barrera física para el herbicida que debe llegar al suelo, el herbicida queda en el rastrojo expuesto a la descomposición por la radiación solar (fotodescomposición) y volatilización, lo que provoca una disminución de su efecto. Esta perdida de eficiencia se puede evitar regando inmediatamente después de aplicado el herbicida y aumentando la dosis.

Los suelos en cero labranza aumentan su contenido de materia orgánica (Capítulo 2), lo que aumenta la adsorción de los herbicidas y queda menos producto en la solución suelo, reduciendo su acción herbicida. La capacidad de adsorción del suelo esta influenciada por pequeñas variaciones en el contenido de materia orgánica, la que tiene afinidad tanto por herbicidas iónicos como no iónicos. La intensidad de la adsorción se mide a través del Coeficiente de Adsorción Efectiva (Kd) que corresponde a la concentración de herbicida adsorbido en relación al herbicida en solución (Kd= [herbicida adsorbido] / [herbicida en solución]).

La adsorción es intensa en materiales con elevada superficie específica, por lo que en suelos ricos en arcilla el problema también se presenta. La adsorción es más fuerte en suelos ácidos que en alcalinos. Este efecto es importante para herbicidas iónicos, cuya adsorción se reduce considerablemente a medida que el pH se acerca o supera a 7. Un ejemplo de esto son las ureas que presentan mayor actividad a pH ácidos y una excepción lo son la triazinas, cuya mayor actividad se observa a pH básicos.

Por otra parte, se debe considerar que en cero labranza aumenta la actividad microbiológica y con ello la posibilidad de una rápida degradación del herbicida en el suelo. En cero labranza aumenta la macroporosidad del suelo y disminuye el escurrimiento superficial, por lo que existe una mayor infiltración de agua y con ello aumenta la posibilidad de lixiviación de los herbicidas suelo activos.

Un herbicida que sufre pérdidas importantes por fotodescomposición es la napropamida, si luego de su aplicación permanece por más de una o dos semanas sobre la superficie del suelo, dependiendo de las condiciones de luminosidad.

Diversos autores señalan pérdida de efectividad en el control de malezas y menor persistencia en el suelo de la simazina en condiciones de cero labranza comparado con labranza tradicional. Al comparar tres cloro-triacinas (atrazina, simazina y cianazina) en cero labranza y labranza tradicional se observó menos persistencia de los tres herbicidas en cero labranza, siendo menor la de cianazina, seguida por atrazina y simazina.

La eficacia de los herbicidas en ocasiones es inhibida por el incremento de los niveles de residuos. Por ejemplo, la intercepción de herbicidas por el rastrojo de trigo reduce el potencial control de malezas de varios cloro-acetamidas (alaclor, metalaclor). Otras investigaciones han mostrado que los rastrojos interceptan una considerable cantidad de herbicidas en el momento de la aplicación. Una significativa cantidad de atrazina y metalaclor pueden ser retenidos por el rastrojo, aún después de varias lluvias, reduciendo la cantidad de herbicida que llega al suelo. Sin embargo, este comportamiento no es general para todos los herbicidas suelo activos, así aunque el rastrojo reduce la recepción inicial de metribuzina, éste no influye en la persistencia de este herbicida una vez que alcanza el suelo. Metribuzina demostró ser más eficiente en el control de malezas de lupino que otros herbicidas suelo activos en cero labranza (Capítulo 8).

Algunos herbicidas están disponibles en formulaciones de microencapsulado, y son especialmente diseñados para tener un movimiento en el rastrojo hasta el suelo. En algunas regiones también se recomienda el uso de herbicidas granulados. La actividad foliar de algunos herbicidas residuales puede ser aumentada con aplicaciones de aceite, surfactantes o fertilizantes.

Otro enfoque al control de malezas. Una nueva opción para el control de malezas es la utilización de herbicidas postemergentes que controlan un amplio espectro de malezas en variedades de cultivo resistentes a estos herbicidas. Ejemplos de esta aproximación son el herbicida Liberty sobre cultivos liberty-link, imidazolinonas sobre cultivos Clearfield (IMI), Roundup sobre cultivos Roundup ready.

En Chile aún no se pueden utilizar cultivos transgénicos resistentes a herbicidas como podrían ser los cultivos Roundup ready. Sin embargo, están en evaluación nuevas variedades no trangénicas de maíz, trigo y raps Clearfield que abren una buena posibilidad a los cerolabrancistas (Capítulo 8).

Síntesis

- En terminos generales se puede lograr un control eficiente de las malezas en cero labranza.
- Cultivos cuya base de control de malezas sea el uso de hercicidas suelo activos pueden presentar problemas en el control de malezas.
- Dentro de las prácticas culturales que se deben tener presentes en cero labranza destacan, distribución homogenea del rastrojo, no dejar el suelo en descanso, para lo cual se recomienda el uso de cultivos de cobertura, evitar que las malezas semillen y realizar rotaciones de cultivo que impidan el desarrollo de grupos de malezas y que permitan el uso de herbicidas con distinto modo de acción.
- El control de malezas se facilita enormemente con herbicidas de amplio espectro como glifosato en barbecho químico y con el uso de cultivos Roundup-ready o bien, imidazolinonas en cultivos Clearfield (IMI).

Bibliografía

BANKS, P.A. and ROBINSON E.L. 1982. The influence of straw mulch on the soil reception and persistance of metribuzin. Weed Sci. 30:164-168.

BANKS, P.A. and ROBINSON E.L. 1986. Soil reception and activity of acetochlor, alachlor, and metolachlor as affected by wheat. Weed Sci. 34:607-611.

BUHLER, D.D. 1992. Population dynamics and control of annual weeds in corn (*Zea mays*) as influenced by tillage. Weed Sci. 40:241-248.

BUHLER, D.D. and DANIEL, T.C. 1988. Influence of tillage systems on giant foxtail, *Setaria faberi*, and velvetleaf, *Abutilon theophrasti*, density and control in corn, *Zea mays.* Weed Sci. 36:642-647.

DAO, T.H. 1987. Crop residues and management of annual grass weeds in continuous no-till wheat (*Triticum aestivum*) Weed Sci. 35:395-400.

DERPSCH, R. 2003. http://www.rolf.derpsch.com/

KOGAN, M. 1992. Malezas. Ecofisiología y estrategias de control. Colección en Agricultura. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. 402p.

KOGAN, M. 1993. Dinámica de los herbicidas en el suelo. In: Manejo de Malezas en Plantaciones Frutales. M. Kogan (Ed.) Colección en Agricultura. Publicación de la Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. 193-223.

LETELIER, E., NOVOA, R. y TORTELLO, L. 1986. Comparación de herbicidas de pre y post emergencia para cero labranza en trigo, en el secano costero de la VI Región. Agr. Tec. 46:165-171.

MERA, M. y ROUANET, L. 2003. Contribución de las leguminosas de grano en rotación con cereales. En: Sustentabilidad en Cultivos Anuales: Cero Labranza, Manejo de Rastrojos. Acevedo, E. (ed.). Santiago, Universidad de Chile. Fac. de Cs. Agronómicas, serie Ciencias Agronómicas N°8. 135-156.

WITT, W.W. 1986. Respuesta de las malas hierbas y los herbicidas en condiciones de laboreo nulo. In: Agricultura sin laboreo. Phillips, R.E y Phillips, S.H. (eds.). Ediciones Bellaterra S.A. España. 157-174.

YENISH, J. P., DOLL, J.D. and BUHLER, D.D.1992. Effects of tillage on vertical distribution and viability of weed seed in soil Weed Sci. 40:429-433.

8

Manejo de Cultivos en Cero Labranza

El manejo de cultivos en cero labranza debe considerar una serie de aspectos que le son propios para lograr éxito productivo. Estos incluyen tratamientos al suelo, disponibilidad de maquinaria, variedades apropiadas, tratamientos a las semillas, manejo de los rastrojos, control de malezas, fertilización, dosis de semilla y fechas de siembra. Algunos de estos tópicos como control de malezas, fertilización, maquinaria y manejo de rastrojos han sido discutidos en detalle en capítulos precedentes y el lector es referido a ellos. Acá se mencionarán sólo los principales problemas que cada uno de estos tópicos involucra y la solución mirada desde un punto de vista agronómico en la medida que interesen directamente al manejo.

La cero labranza constituye una forma diferente de hacer agricultura si se le compara con la labranza tradicional. El hecho de no labrar el suelo y dejar los rastrojos sobre él determina una serie de consecuencias agronómicas. La primera y tal vez más evidente es que los residuos de cosecha no son incorporados al suelo produciéndose una acumulación y estratificación de materia orgánica sobre el suelo, la que se descompone lentamente, excepto por aquella fracción que está directamente en la superficie de contacto con el suelo.

La estratificación de la materia orgánica sobre el suelo y su lenta descomposición tiene variados efectos que inciden sobre el manejo de los cultivos.

Preparación del suelo.

Cuando se introduce un suelo a cero labranza debe considerarse que será por un largo período de tiempo, tal vez en forma indefinida. Por ello, cualquier problema que tenga el suelo debe tratarse con anterioridad a la puesta en marcha del sistema. Es común que en los suelos trabajados en forma tradicional, con arado y rastra, exista pie de arado. Suelos de la Cordillera de la Costa suelen presentar una estrata endurecida a diferentes profundidades que dificultan el crecimiento de las raíces, la infiltración del agua y la difusión de los gases. Además, es común que exista microrrelieve más o menos acentuado. Las labores previas al uso de la cero labranza en un campo deben considerar la corrección de estos problemas mediante el uso de arado cincel que rompa los panes o endurecimientos y emparejamiento que corrija el microrrelieve.

Cosecha del cultivo anterior.

El manejo del suelo en cero labranza comienza con los cuidados que se deben tener a la cosecha del cultivo anterior. Se debe poner especial atención al picado de los rastrojos lo más fino posible y a su distribución en el campo en forma uniforme. Deben evitarse las "colas" o acumulaciones de rastrojos que dejan las máquinas cosechadoras. La distribución uniforme del rastrojo requiere de aditamentos especiales (picador de paja y esparcidores) en las cosechadoras. Con ellos el rastrojo queda uniformemente distribuido en el campo, lo que favorece su descomposición y disminuye las dificultades de siembra del siguiente cultivo. Resultados de experimentos señalan, además, que es posible lograr buenas cosechas dejando la paja "parada" del cultivo anterior (Cuadro 8.1). Esto es especialmente recomendable para rotaciones con cultivos que presentan buen establecimiento con rastrojos sobre el suelo Ej. Cereal-cereal.

Cuadro 8.1. Efecto del manejo de residuos sobre rendimiento en cultivos de trigo, avena y raps (adaptado de Vidal y Troncoso, 2003).

Tratamiento	Rendimiento (T ha^{-1})		
	Trigo	Avena	Raps
Quema	6,75	5,73	3,35
Hilerado	5,20	4,67	2,31
Picado	6,37	4,85	2,25
Parado	6,17	4.95	2,30
DMS 0.05	0,70	0,97	-

Otras formas de manejar el rastrojo, que son especialmente recomendadas para cultivos que presentan problemas en el establecimiento en presencia de rastrojos (ej. leguminosas en la rotación cereal-leguminosa) son el hilerado o la reducción de los niveles de rastrojos en el campo (animales, enfardado u otro).

El hilerado se realiza mediante el uso de rastrillo de descarga lateral. Con el hilerado una fracción del rastrojo se pone en filas paralelas de aproximadamente 1,5 metros de ancho que se ubican a 10 o 12 metros de distancia. Con esto se disminuye la cantidad de rastrojos que se dejan en el campo a valores del orden de 2 T ha^{-1}. Estos niveles de rastrojo permiten defender el suelo contra los agentes erosivos (Cuadro 8.2), controlar mejor las malezas con herbicidas suelo activos y evitar que los residuos ejerzan un efecto alelopático con relación al próximo cultivo. La zona de acumulación de rastrojos aumenta su fertilidad con la descomposición de los rastrojos a lo largo del año y puede ser sembrada sin problemas a la temporada siguiente. El pastoreo con animales también disminuye la cantidad de residuos hasta llegar a los niveles deseados.

Cuadro 8.2. Pérdida de suelo en una rotación trigo-avena-raps. Suelo Santa Bárbara, Pinto. Pendiente 10%, Longitud de la ladera 150 m (Peña, 1986).

Manejo	T ha^{-1} $año^{-1}$
Convencional + Quema	31
Convencional + 0,2 T residuos sup.	17
Convencional + 1,0 T residuos sup.	8
Convencional + 2,0 T residuos sup.	4
Cero labranza	2

Siembra.

El rastrojo tiene un efecto físico que impide que las máquinas sembradoras tradicionales funcionen bien, por lo que se requiere de una sembradora especial equipada con instrumentos que corten el rastrojo y que permitan poner la semilla en el suelo para su adecuada germinación (Capítulo 5). La no existencia de una cama de semillas puede tener un efecto negativo en el establecimiento del cultivo, disminuyendo el porcentaje de semillas que dan origen a plántulas. Puede haber una disminución en el establecimiento de plantas por disminución de la germinación debido a menor contacto semilla-suelo, lo que provoca una disminución de la conductividad hidráulica del sistema suelo-semilla. La germinación también puede-verse afectada por la presencia de compuestos alelopáticos o por menor temperatura del suelo debido a la cubierta del mulch. Para disminuir los problemas de germinación y establecimiento se puede aumentar la dosis de semilla en un 10% y usar semillas grandes, que son más vigorosas.

Control de malezas.

El control de malezas es a menudo identificado como el principal problema para la adopción de los sistemas de labranza de conservación. En cero labranza, no hay destrucción mecánica de malezas y el control de malezas debe enfrentarse por medios químicos y culturales (Capítulo 7). Previo a la siembra se debe utilizar un herbicida de contacto o sistémico que destruya una gama de malezas lo más amplia posible. Herbicidas sistémicos de amplio espectro y de rápida descomposición en el suelo como el glifosato e imidazolinonas tienen amplio uso para este fin y son preferidos a los herbicidas de contacto como paraquat.

Al momento de la siembra los herbicidas suelo activos, ampliamente utilizados para destruir malezas de hoja ancha en leguminosas y otros cultivos, tienen problemas de aplicación por presencia de los rastrojos sobre el suelo que impiden que entren en contacto con éste. Por esta razón deben ser aplicados inmediatamente antes de un riego o de una lluvia para que el agua ayude en su incorporación. Datos preliminares muestran que metribuzin y linuron pueden ser muy efectivos (Figura 8.1) en contraste con simazina que muestra bajo nivel de control.

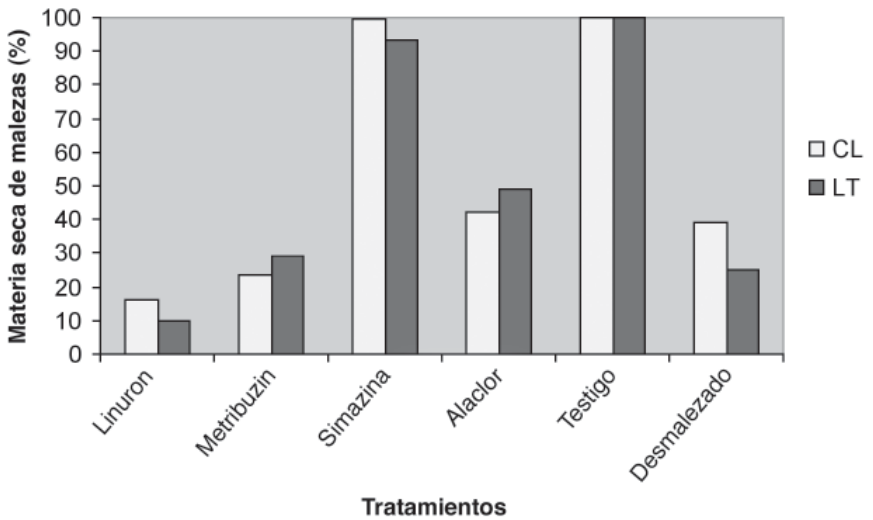


Figura 8.1. Control de malezas con herbicidas suelo activos en lupino bajo dos sistemas de manejo, cero labranza (CL) y labranza tradicional (LT). Porcentaje de malezas con respecto al testigo sin control. El rastrojo fue hilerado en CL dejando 2 T ha^{-1} de residuos. (Acevedo y Silva, datos no publicados).

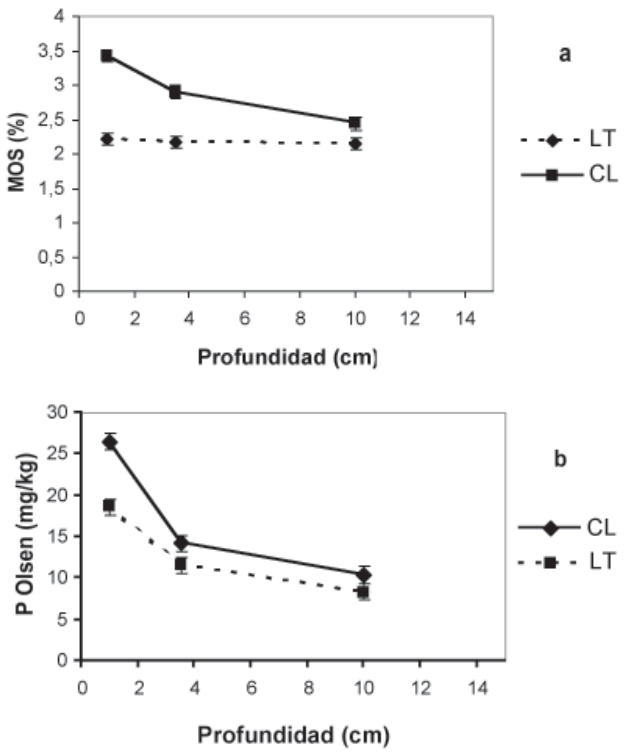
La situación ideal para el control de malezas en cero labranza consiste en la utilización de herbicidas post-emergentes de amplio espectro, selectivos para el cultivo. En la actualidad esto se logra con variedades resistentes a glifosato o bien a imidazolinonas. La ventaja de las variedades IMI de maíz, raps y otros (resistentes a imidazolinonas) es que pueden obtenerse por mejoramiento vegetal tradicional ya que hay variabilidad genética natural para esta resistencia en varios cultivos. El Cuadro 8.3 muestra resultados obtenidos con maíz México IMI de la empresa SemAmeris. La resistencia a glifosato en los cultivos requiere de manipulación genética a nivel molecular lo que aún es resistido por algún público.

Cuadro 8.3. Biomasa y rendimiento de híbridos México IMI y México en cero labranza (0% de humedad) (Acevedo y Silva, datos no publicados). D = Dosis simple de euro-lightning (300cc Dush ha^{-1} + 100cc Arsenal ha^{-1} + 70g Sweeper ha^{-1}), DD = Doble dosis de euro-lighting (600cc Dush ha^{-1} + 200cc Arsenal ha^{-1} + 140g Sweeper ha^{-1}) en IMI.

Tratamientos	Biomasa (qq ha^{-1})	Rendimiento (qq ha^{-1})
M. IMI Testigo	223	111
M. IMI D	282	135
M. IMI DD	309	164
M. Accent + 2,4-D	243	130
LSD (P£ 0,05)	57	41

Fertilización.

La fertilización del cultivo requiere especial preocupación en cero labranza ya que los residuos del cultivo anterior quedan sobre la superficie del suelo, lo que no ocurre cuando se incorporan a una profundidad de 15-30 cm al realizar labranza tradicional. En cero labranza se produce una menor disponibilidad de nitrógeno debido a diferentes razones (Capítulo 6). Los rastrojos de cereales tienen una relación carbono/nitrógeno (C/N) alta, lo que implica una lenta descomposición. En cero labranza los residuos al quedar en la superficie presentan un efecto similar a lo que ocurre en sistemas naturales, generándose un horizonte orgánico en superficie, lo que cambia la dinámica de los nutrientes del suelo. Además de la estratificación de la materia orgánica, debe tenerse presente que la relación C/N de ésta en el suelo es de aproximadamente 10 y que cualquiera que sea el valor de la relación C/N de los residuos, éstos una vez incorporados a la materia orgánica del suelo deben llegar a ese valor. Si se estima, por ejemplo, un secuestro anual de 500 kg C por hectárea en el sistema de cero labranza (valor medido en Antumapu) a partir de paja de trigo, la mantención de una relación C/N de 10 implica, sólo por secuestro, la retención de 50 Kg de N por año. Por otra parte, la menor tasa de descomposición y mayor estratificación de la materia orgánica en la superficie del suelo (Figura 8.2a) cambia la ubicación y disponibilidad de los nutrientes. Se producen aumentos en la disponibilidad de fósforo y potasio (Figuras 8.2b y 8.2c), pero disminuye la disponibilidad de nitrógeno (Figura 8.2d).



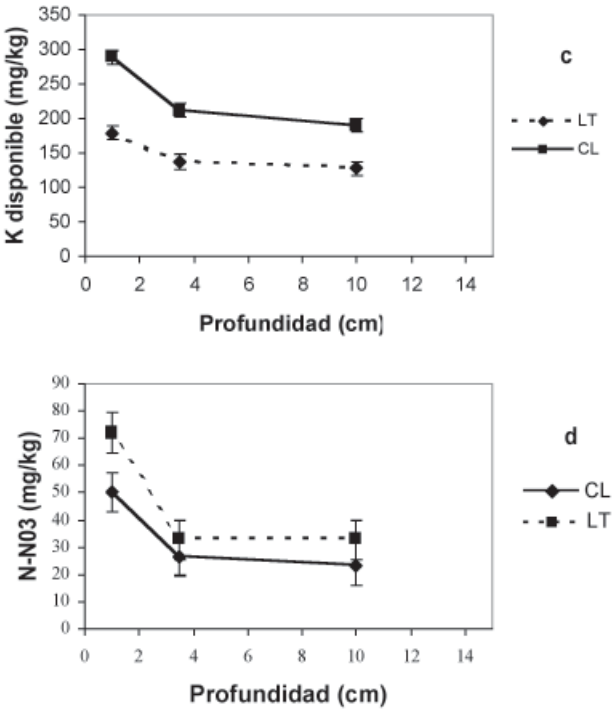


Figura 8.2. Cambios en los contenidos de materia orgánica (a), fósforo (b), potasio (c) y nitratos (d) en un suelo cultivado por seis años con cero labranza, en comparación con un suelo en que se mantuvo la labranza tradicional (Acevedo, Silva y Martínez, datos no publicados).

La cero labranza obliga a aplicar los fertilizantes en la superficie del suelo, sin incorporarlos al suelo. Este problema se ve compensado por mayor humedad del suelo en cero labranza que facilita el movimiento de los iones por difusión y un crecimiento más horizontal y superficial de las raíces del cultivo. Incluso, las raíces pueden crecer en la interfase entre el suelo y el mulch, por lo que las plantas pueden absorber iones de la superficie del suelo.
La Figura 8.2d muestra una disminución de la cantidad de nitratos en el suelo, lo que debe ser compensado con aplicaciones mayores de nitrógeno de hasta un 30% con respecto a la labranza tradicional (Capítulo 6).

Enfermedades.

Los microorganismos patógenos que completan su ciclo de vida en los rastrojos sobre el suelo aumentan con la cero labranza, incrementándose la probabilidad de realizar todas las fases de su ciclo biológico, lo que resulta en un aumento de la presión de la enfermedad. Los ascomicetes se caracterizan porque parte de su ciclo de vida lo realizan en el rastrojo del cultivo vegetal que utilizaron en su fase patogénica. Esto les permite una mayor sobrevivencia, ya que el peritecio o pseudotecio es, al menos parcialmente, una estructura fungosa de resistencia

y diseminación, dado que la ascospora es llevada a grandes distancias por el viento. Esta estructura proporciona, además, variabilidad puesto que la recombinación genética realizada en el intercambio de material nuclear de la fase sexuada les permite, eventualmente, generar virulencias capaces de atacar variedades de especies cultivadas que eran inicialmente resistentes.

La sobrevivencia de hongos que persisten en los residuos y la tasa de descomposición del residuo están relacionadas, es decir, aquellos factores que disminuyen la tasa de descomposición de los residuos, aumentan la longevidad de los patógenos.

En trigo se ha señalado aumento de ciertas enfermedades en cero labranza, tales como:

Fusariosis de la raíz (*Fusarium graminearum*) fase sexuada (*Giberella zeae*). De las enfermedades asociadas al rastrojo, tal vez la fusariosis, giberelosis o golpe blanco como se le llama en Argentina, constituye el mayor peligro asociado a la preservación de rastrojos intactos sobre el suelo, especialmente por la habilidad que tiene de contaminar con micotoxinas los granos. En EE.UU. y Canadá se le atribuye a la adopción de la cero labranza una alta responsabilidad en el aumento explosivo que tuvo esta enfermedad. Afortunadamente en Chile aun no se ha detectado la presencia de su fase sexuada, existiendo baja transmisibilidad natural por semilla, encontrándose el patógeno circunscrito a su fase conidial, especialmente como enfermedad radicular de cereales.

Septosiosis de la hoja (*Septoria tritici*) fase sexuada (*Mycosphaerella graminicola*). Esta enfermedad tiene carácter de endémica en nuestro país. La presencia de la fase sexual de este hongo fue informada en Chile en 1986.

Mancha ocular (*Pseudocercoporella herpotrichoides*) fase sexuada (*Tapesia yanllundae*). Esta enfermedad se determinó en el país en 1994. Se caracteriza por manchas en forma de ojo ubicadas en la base de la planta, las que destruyen la base del tallo causando la tendedura del macollo. También se ha informado en el país la presencia de su fase sexual, que ocurre en el rastrojo. Si bien esta enfermedad tiene control mediante genes de resistencia en Europa, se requerirá de varios años antes de contar con un control genético adecuado en las variedades de alto rendimiento y agronómicamente adaptadas que se utilizan en Chile.

Mancha parda o Helmintosporiosis (*Drechlera tritici repentis*) fase sexuada (*Pyrenophora tritici* repentis). Esta enfermedad foliar ha tenido un aumento en cero labranza en Australia, Brasil y en la VIII región de Chile. El control químico es poco efectivo, sin embargo, existen genotipos de trigo resistentes a esta enfermedad que no se han explotado en Chile.

Oidio (*Oidium monilioides*) fase sexuada (*Blumeria graminis*). La presencia de rastrojo infectado genera un ambiente frío y húmedo que facilita el establecimiento de la enfermedad. Hay genotipos de trigo resistentes a esta enfermedad, sin embargo, existe poco mejoramiento para resistencia al oidio.

Si bien no se cuenta con ensayos específicos a cada patología, en la VIII Región de Chile se ha observado que en el lupino establecido en cero labranza aumenta el ataque de rizoctonia (*Rhizoctonia* spp.) y la antracnosis (*Colletotichum gloesporoides*). También se ha observado aumento de pie negro (*Lepthosphaeria maculans = Phoma lingam*) en raps. Cada una de estas enfermedades requiere

proyectos de investigación de largo plazo que consideren aspectos de fitomejoramiento, manejo agronómico y nuevas tecnologías en agroquímicos para el desarrollo de estrategias que permitan practicar la cero labranza, conservando los rastrojos sobre el suelo.

Plagas

Entre las plagas que tienen mayor importancia en cero labranza destaca las babosas o chapes. Dadas las características de la cero labranza el habitat de estos moluscos permanece inalterado existiendo, además, sitios de protección bajo el rastrojo.
Las especies de babosas determinadas en cultivos de cero labranza en la IX Región de Chile corresponden a la babosa negra o gris mediana (*Milax gagates)*, babosa gris chica *(Deroceras reticulatum)*, babosa bicolor del campo *(Deroceras laeve)* y la babosa grande del jardín *(Limas maximus*).
Las babosas poseen cuatro tentáculos retráctiles. Los tentáculos superiores tienen en sus extremos ojos, los cuales cumplen funciones táctiles y olfativas. La boca posee dos mandíbulas dentadas y una lengua o rádula, dentada. Al costado derecho inferior cerca de la cabeza se ubica el poro genital. El escudo o manto situado detrás de la cabeza es una concha rudimentaria. A la derecha del escudo se encuentra el poro respiratorio y sobre éste se encuentra la abertura anal. El pie es la zona ventral musculosa que le permite reptar adherido al suelo ayudado por el mucus que es una secreción viscosa que recubre todo el cuerpo permitiéndole mantener la humedad.
Las babosas son animales nocturnos, longevos, que pueden vivir de 9 a 18 meses. Requieren de una temperatura media que fluctúa entre 12 a 18°C, de alta humedad relativa y buena humedad de suelo, inactivándose a 0°C y muriendo a -3°C.
Son animales hermafroditas capaces de poner entre 100 y 500 huevos por individuo en racimos de 10 a 50 huevos, los que dejan en agujeros en el suelo o en algún recoveco protector. La incubación dura 3 meses a 5°C y de 2 a 3 semanas a 20°C. Los períodos más favorables para la reproducción son el otoño y la primavera.
Son animales polifagos muy voraces, llegando a consumir hasta el 50% de su peso vivo en una noche. Dañan plántulas y plantas jóvenes pudiendo causar perdidas del 80% del área foliar. Su aparato bucal raspa los tejidos vegetales.
Para evaluar la presencia de babosas en el campo es aconsejable utilizar trampas. Para ello se debe mojar el suelo, cubrir una superficie de 1 m^2 con algún material que conserve la humedad (ej. plástico) y colocar molusquicida bajo él. Al otro día se debe contabilizar el número de individuos presentes bajo la trampa. Se considera daño severo de *D. reticulatum* en cereales cuando se detecta la presencia de 5 babosas m^{-2} y daño severo en lupino y raps cuando se encuentran 2 babosas m^{-2} .
El principal control que se puede hacer en Chile bajo condiciones de cero labranza es la utilización de cebos granulados que contienen un molusquicida que puede ser metaldehido, mercaptodimethur o tiodicarb. Existen dos tipos de granulos; en seco que se disgrega con la lluvia y los de vía humedad que se hinchan con la humedad, siendo estos últimos más persistentes. El INIA realiza actualmente en Chillán investigaciones tendientes a controlar biológicamente esta plaga.

Crecimiento del cultivo.

Debido a la menor temperatura que alcanza el suelo en cero labranza, la germinación y emergencia del cultivo es más lenta, observándose menor tasa de crecimiento inicial de las plantas, lo que normalmente se traduce en menor número de plantas por superficie. Se ha observado en trigo que plantas provenientes de semillas más grandes emergen más rápido en el campo, también se ha observado que la emergencia es mayor en aquellos genotipos de coleoptilo largo.

La capacidad compensatoria de los cereales, al aumentar el macollaje cuando es escaso el número de plantas por superficie evita reducciones importantes en el rendimiento. Otros cultivos, que no poseen esta capacidad, pueden ver fuertemente disminuido su rendimiento por un mal establecimiento.

En trigo cultivado en cero labranza se ha observado una menor tasa de producción de macollos, menor tasa producción de hojas, un retardo en la antesis, madurez y en la senescencia del cultivo. Esto ultimo asociado a una mayor permanencia del color verde de la hoja bandera. Todo esto debido principalmente a la menor temperatura del suelo en cero labranza, pero también debido a un aumento en la humedad aprovechable del suelo asociada a este sistema de cultivo.

En cero labranza las raíces presentan una distribución más horizontal que en labranza tradicional. Ball-Coelho et al. (1998), encontraron una mayor densidad radical en maíz bajo cero labranza que con labranza tradicional en los 10 cm superficiales del suelo y menor entre los 15 y 30 cm de profundidad de un suelo en Ontario, Canadá. Esta variación en las raíces, producida por la labranza, sigue la misma tendencia que la densidad aparente del suelo en profundidad, pudiendo ser éste el factor gatillante para el crecimiento lateral de las raíces.

Rendimiento.

En ensayos realizados en Antumapu, en un suelo mollisol de la zona central con igual manejo en cero labranza y labranza tradicional se ha observado una reducción del rendimiento de trigo y maíz en cero labranza con respecto a labranza tradicional, la brecha ha aumentado con el tiempo (Cuadro 8.4).

Cuadro 8.4. Rendimiento (qq ha^{-1}) de trigo y maíz en dos sistemas de labranza (Acevedo y Silva, datos no publicados).

Cultivo	Temporada	Sistema de labranza		
		CL	LT	Delta
Trigo	2000-2001	57.0	49.3	7.7
	2001-2002	41.7	45.3	-3.6
	2002-2003	48.6	59.9	-11.3
Maíz	2000-2001	131.9	150.0	-18.1
	2001-2002	122.0	153.3	-31.3
	2002-2003	114.3	180.1	-65.8

Al evaluar el rendimiento de trigo candeal con distintas dosis de siembra en un suelo mollisol con 6 años de cero labranza se observó una reducción de 36% del rendimiento en CL con respecto a la labranza tradicional (Figura 8.3). Al evaluar los componentes de rendimiento se observó que esta reducción se debió a un menor número de granos por espiga (Figura 8.4). Este componente del rendimiento se determina durante el crecimiento activo de la espiga, fase del desarrollo más exigente en agua y nutrientes.
Como el cultivo se realizó con riego, la situación puede estar asociada a la menor disponibilidad de nitratros que se produce en CL, señalada anteriormente (Capítulo 6).

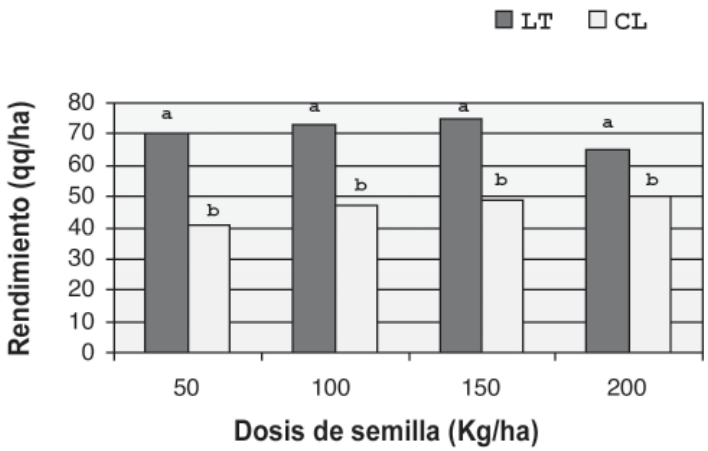


Figura 8.3. Promedio de rendimiento de trigo para cuatro dosis de siembra en dos sistemas de labranza (Acevedo y Silva, datos no publicados).

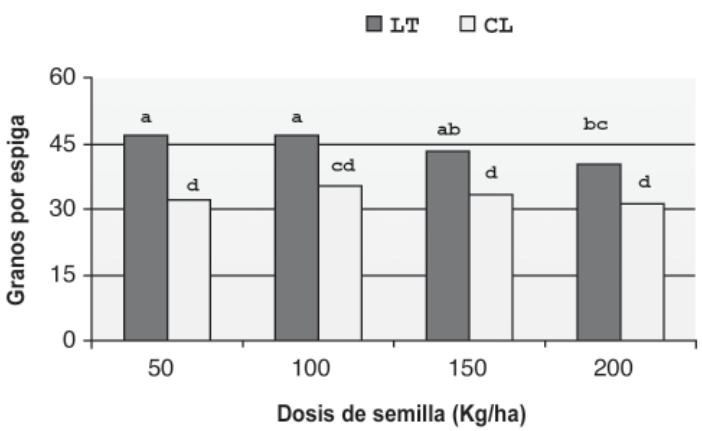


Figura 8.4. Promedio de granos por espiga para cuatro dosis de siembra en dos sistemas de labranza. (Acevedo y Silva, datos no publicados).

Interacción genotipo x sistema de labranza (G x SL).

Si existen genotipos que se comportan mejor en cero labranza que en labranza tradicional, esta variabilidad genética puede ser útil en programas de mejoramiento. En términos estadísticos esto se observa como una interacción genotipo x sistema de labranza (G x SL) significativa, es decir, el ranking de los genotipos en relación a un determinado carácter, como el rendimiento por ejemplo, cambia con el sistema de labranza, tomando importancia el sistema de labranza en que se cultiva el genotipo o se realiza la selección. Si no existe interacción G x SL el ranking de los genotipos no cambia con el sistema de labranza, es decir, el mejor genotipo será el mismo cualquiera que sea el sistema de labranza, y no tendrá importancia el sistema de labranza en que se realice la selección. De ahí que lo primero a aclarar es si existe interacción genotipo x sistema de labranza, y si es así, si se justifica el mejoramiento genético de cultivos para cero labranza. Se han realizado diversos trabajos tratando de dilucidar este punto. La respuesta de los cultivares al método de labranza varía dependiendo del carácter que se evalúe, de la especie, del número de genotipos evaluados, del adecuado control de malezas y del medio ambiente en que se haya realizado el ensayo.

En trigo se ha observado interacción G x SL para antesis, período de llenado de grano, duración del área foliar, tasa de crecimiento de los macollos y número de macollos al estado de embuche, sin embargo, existen trabajos contradictorios sobre la interacción G x SL para rendimiento. May y Cholick (1989), al trabajar con 18 cultivares de trigos primaverales observaron interacción G x SL para rendimiento. Las diferencias pueden deberse a la capacidad de los genotipos para soportar el estrés que sufren durante el crecimiento inicial (temperatura, alelopatía y otros), indicando que la selección y evaluación bajo la cero labranza debe ser considerada para desarrollar en forma eficiente cultivares adaptados a la cero labranza. Por otra parte, el medio ambiente en que se haga el estudio también influye sobre la interacción. Cox y Shelton (1992) observaron interacción G x SL para peso del volumen, cantidad de proteína y en el rendimiento de harina en un medio ambiente en que se produce muerte invernal de trigos. Elmore (1987) no encontró interacción G x SL para rendimiento en seis cultivares de soya (*Glycine max* (L.) Merr.) en la zona central de Nebraska. Sin embargo, en este cultivo, se ha informado interacción G x SL para el síndrome de muerte súbita (*Fusarium solani*), lo que en forma indirecta podría afectar el rendimiento.

En un estudio continuo de 5 años en Iowa, con 14 híbridos de maíz (*Zea mays* L.) no se observó interacción G x SL para rendimiento. Los híbridos respondieron en forma similar en los distintos métodos de labranza por lo que se concluyó que no sería necesario evaluaciones de híbridos para métodos específicos de labranza.

Las investigaciones no son claras en señalar si la labranza afecta el rendimiento de manera diferente a los cultivares. Sin embargo, otros caracteres, como resistencia a enfermedades y herbicidas, en forma indirecta pueden reflejar diferencias en el rendimiento de los cultivos dependiendo del sistema de labranza, siendo estos caracteres otra opción de mejoramiento en cultivos que se realicen bajo cero labranza.

Síntesis.

- Antes de incorporar un suelo a cero labranza es muy importante corregir los problemas de microrrelieve y compactación del perfil.
- Es esencial manejar el rastrojo en siembras de cero labranza. Las acumulaciones de rastrojo sobre el suelo generan serios problemas incluyendo dificultades de control de malezas, problemas con las máquinas sembradoras, variaciones en la profundidad de la semilla y problemas de alelopatía. El rastrojo y el capotillo deben esparcirse.
- Una opción interesante de manejo de rastrojo es dejar la paja parada.
- El control de malezas debe abordarse por medios químicos y culturales. Estos últimos incluyen rotación de cultivos y cultivos de cobertura. Los herbicidas de amplio espectro sobre cultivos resistentes al herbicida constituyen la tecnología más apropiada a la cero labranza.
- La fertilización de los cultivos en cero labranza debe considerar al menos un 30% más de nitrógeno durante el período que tarde el suelo en alcanzar un nuevo equilibrio. Los fertilizantes deben aplicarse principalmente en cobertera.
- En cero labranza aumenta la probabilidad de enfermedades fungosas que tienen su ciclo sexual en el rastrojo.

Bibliografía.

ACEVEDO, E.(ed.). 2003. Sustentabilidad en Cultivos Anuales: Cero Labranza, Manejo de Rastrojos.. Santiago, Universidad de Chile. Fac. de Cs. Agronómicas, serie Ciencias Agronómicas N°8 184p.

AGUILERA, A. 2001. Cero labranza. Babosas de importancia económica en Chile. Tierra Adentro N° 40: 40-43.

AGUILERA, A. 2001. Manejo de las babosas en cero labranza. Tierra Adentro N° 40: 44-46.

BALL-COELHO, B.R. ROY, R.C. and SWANTON, C.J. 1998. Tillage alters corn root distribution in coarse-textured soil. Soil & Tillage Research. 45: 237-249.

COX, D.J. and SHELTON, D.R. 1992. Genotype-by-tillage interactions in hard red winter wheat quality evaluation. Agron. J. 84: 627-630.

CROVETTO, C. 1992 Rastrojos sobre el Suelo. Una Introducción a la Cero Labranza. Santiago, Chile, Ed. Universitaria. 301 p.

CROVETTO, C. 2002. Cero Labranza. Los Rastrojos, la Nutrición del Suelo y su relación con la Fertilidad de las Plantas. Talcahuano, Chile, Trama Impresores. 225 p.

DERPSCH, R., 2001. Conservation Tillage, No-tillage and related technologies. In: Conservation Agriculture, a Worldwide Challenge, L. García-Torres, J. Benites, A. Martínez-Vilela Ed. Proceedings First World Congress on Conservation Agriculture, Madrid, 1-5 October, 2001, Volume 1: Keynote Contributions, p 161-170

DERPSCH, R. 2003. Expansión mundial y últimos avances tecnológicos en siembra directa. In: Memorias del Simposio "manejo Sustentable de Suelos Chilenos". Vidal, I. (ed.) 18-20 de Junio 2003, Chillán, Chile. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo Boletín N°19.118-139.

ELMORE, R.W. 1987. Soybean cultivar response to tillage systems. Agron. J. 79:114-119.

FRANCE, I. A., Gerding, P. M. , Cespedes, L. M., Cortez, A. M. 2002. Control de Babosas (*Deroceras reticulatum* Muller) con *P hasmarhabditis hermaphrodita* Schneider (Nematoda: R Habditidae) en suelos con sistemas de cero labranza.

MADARIAGA, R. 2003. Vida después de la muerte: Rastrojos e incidencias de enfermedades en cultivos anuales. En: Sustentabilidad en Cultivos Anuales: Cero Labranza, Manejo de Rastrojos. Acevedo, E. (ed.). Santiago, Universidad de Chile. Fac. de Cs. Agronómicas, serie Ciencias Agronómicas N°8. 157-164.

PEÑA, 1986.Control de erosión hídrica en suelos volcánicos (Dystrandeps), mediante labranza de conservación. Agro-Ciencia 2(1):59-64.

VIDAL, I. y TRONCOSO, H. 2003. Manejo de rastrojos en cultivos bajo cero labranza. In: Sustentabilidad en Cultivos Anuales: Cero Labranza, Manejo de Rastrojos. Acevedo, E. (ed.). Santiago, Universidad de Chile. Fac. de Cs. Agronómicas, serie Ciencias Agronómicas N°8. 57-82.

9

Aspectos Económicos de la Cero Labranza[1]

Economía de la cero labranza.

En todo el mundo los agricultores adoptan tecnologías porque son rentables y porque se muestran positivas a sus presupuestos y, rara vez, porque son ambientalmente deseables. Por ello una evaluación económica del sistema de cero labranza en las diferentes regiones agroecológicas y condiciones socio-económicas es indispensable para facilitar su adopción. La evaluación económica debe estar dirigida a todo el sistema con todos sus componentes, dando valores a la oportunidad de poder sembrar antes que en el sistema convencional, a la economía de tiempo, a la mayor vida de los tractores y menores costos de operación, a la mejoría de la calidad del suelo, a la reducción de los costos de fertilizantes y combustible así como a los beneficios ambientales del sistema en el largo plazo, tanto para los productores individuales como para la comunidad. Estudios económicos realizados con enfoque sistémico han presentado evaluaciones que consideran los beneficios económicos totales que resultan de la adopción de la cero labranza. En países como Paraguay en 480.000 ha, los beneficios han sido calculados en US$ 941 millones (Sorrenson et al., 1998). El autor describe que "ninguna otra tecnología por él analizada ha mostrado tener un impacto tan grande sobre los ingresos de los agricultores, reducir sus costos de producción y riesgos, al mismo tiempo ser ambientalmente sostenible y generar considerables ganancias netas para la sociedad".

Frecuentemente algunos agricultores luego de escuchar sobre las bondades de la cero labranza compran una máquina especializada. Esto ha llevado en muchos casos al fracaso en la aplicación de la tecnología. En general los agricultores solamente deberían comprar una sembradora para la cero labranza después de adquirir los conocimientos necesarios sobre todos los componentes del sistema.

Hay premisas básicas que deberían considerarse antes de adoptar esta tecnología. Se debería mejorar el nivel de conocimientos, principalmente en control de malezas; analizar el suelo, incorporando cal si es necesario y corregir eventuales deficiencias de nutrientes; evitar suelos con mal drenaje; nivelar los suelos; eliminar las

[1] El presente capítulo transcribe parte del trabajo Aspectos Económicos de la Cero Labranza presentado por B. Solar al Seminario «Sustentabilidad en Cultivos Anuales» Santiago, Chile, 3 y 4 de Diciembre, 2002.

compactaciones del suelo; producir paja o cobertura muerta; iniciar una parte del predio con cero labranza; practicar rotación de cultivos y mantenerse actualizado.

Análisis económico de la cero labranza.

Son diversas las interpretaciones y los enfoques para establecer que la cero labranza es una técnica de producción con implicancias de desarrollo económico sostenible, tanto en el corto como en el largo plazo, tanto a nivel de una pequeña superficie, como a nivel de país. Cuantificar en términos monetarios los aspectos anteriormente señalados implica crear una base de supuestos y análisis de sensibilidades que, a la larga, concluirían que los beneficios económicos a nivel país son indudables, pero que por el momento son evaluados cualitativamente (erodabilidad, humedad, materia orgánica, infiltración, temperatura, etc.).

La base de cualquier análisis debe recaer en quienes son los partícipes y gestores de los cambios tecnológicos de la agricultura: los agricultores. Son ellos los que están insertos en un sistema de libre mercado y son quienes buscan maximizar sus utilidades. La cero labranza, en su concepción más conservacionista, que en el mediano y largo plazo genera sustentabilidad medioambiental, no es lo que está en mente de los agricultores en un primer enfoque, sin embargo, en el largo plazo, todas las prácticas agrícolas que incluyen tópicos de la cero labranza, terminan por incorporar los principios básicos de ésta.

Como una manera de interpretar y analizar la cero labranza en términos económicos, a continuación se presentan enfoques básicos que permiten evaluar esta técnica en el corto y largo plazo. No son enfoques excluyentes entre si, por lo cual pueden existir interacciones de éstos.

Enfoque económico de corto plazo. Dice relación con el manejo de cultivos que utiliza la Cero Labranza en términos de rentabilidad por unidad de superficie, ya sea por reducción de costos directos o por aumento de rendimientos. Para su análisis se debe considerar un manejo anual de cultivos con valores de arriendo y asignación de costos comparativos, modificando la pauta sólo en aquellos costos inherentes a la labranza tradicional y a la cero labranza por separado. El corto plazo implica que no hay un análisis de inversiones.

El Cuadro 9.1 proporciona un estándar de producción del cultivo de trigo en el secano de la pre-cordillera de la Provincia de Bio-Bío. Hay variaciones de costos principalmente en maquinaria, donde el sistema de labranza tradicional implica la utilización de $ 18.000 ha^{-1} más que cero labranza, debido principalmente al laboreo de preparación de suelo. Por otro lado, la cero labranza incluye una utilización más de pulverización de barra para la aplicación de herbicida para barbecho químico, con un aumento de insumos en $ 5.960 ha^{-1}. Al comparar los dos sistemas de siembra, en el supuesto de igualdad de condiciones del resto de los componentes productivos, la cero labranza representa, para este caso, un 4% menos en costos que la siembra tradicional.

El siguiente componente a considerar es el rendimiento esperado bajo estas dos metodologías de trabajo, lo que mostrará en definitiva la Utilidad Económica Final por hectárea, que es el fin último que persigue este enfoque. Lo más probable es que utilizando la tecnología en forma apropiada se logren

rendimientos similares o superiores en cero labranza.

El enfoque de corto plazo presenta una pauta fácil y rápida para realizar un programa de planificación económica anual. Sin embargo, no representa el fondo básico de la cero labranza como técnica conservacionista y de largo plazo, debido a que maximiza el uso de los costos de un cultivo pero no incorpora un programa de rotaciones de mediano plazo. Por ello es para una agricultura de arrendamiento, para una o dos especies productivas y de agricultores ocasionales o especuladores.

Cuadro 9.1. Comparación de costos anuales entre labranza tradicional y cero labranza, en el cultivo de trigo de secano de la pre-cordillera de Bio-Bío.

Cultivo: TRIGO Secano Prov. Bio-Bío	Costos por ha							
	LABRANZA TRADICIONAL				CERO LABRANZA			
ITEM	Cant.	Unidad	$/Unidad	Total	Cant.	Unidad	$/Unidad	Total
INSUMOS				**$ 221.162**				**$ 227.122**
SEMILLA	200	kg	$ 150	**$ 30.000**	200	kg	$ 150	**$ 30.000**
FERTILIZANTES				**$ 133.400**				**$ 133.400**
Mezclas				**$ 77.500**				**$ 77.500**
Mezcla Especial	500	kg	$ 155	$ 77.500	500	kg	$ 155	$ 77.500
Nitrogenados				**$ 33.900**				**$ 33.900**
Urea	300	kg	$ 113	$ 33.900	300	kg	$ 113	$ 33.900
Enmiendas				**$ 22.000**				**$ 22.000**
Cal	1000	kg	$ 22	$ 22.000	1000	kg	$ 22	$ 22.000
PESTICIDAS				**$ 57.762**				**$ 63.722**
Round-Up					2,0	litros	$ 2.980	$ 5.960
MCPA	1	litros	$ 3.140	$ 3.140	1	litros	$ 3.140	$ 3.140
Allado	1	sobre	$ 1.630	$ 1.630	1	sobre	$ 1.630	$ 1.630
Banvel	0,25	litros	$ 22.100	$ 5.525	0,25	litros	$ 22.100	$ 5.525
Bumper	0,30	kg	$ 3.567	$ 1.070	0,30	kg	$ 3.567	$ 1.070
Aceite	1	unidad	$ 3.711	$ 3.711	1	unidad	$ 3.711	$ 3.711
Topik	0,3	litros	77.000	$ 23.100	0,3	litros	77.000	$ 23.100
Aceite	1	unidad	$ 3.711	$ 3.711	1	unidad	$ 3.711	$ 3.711
Matador	0,5	litros	$ 31.750	$ 15.875	0,5	litros	$ 31.750	$ 15.875
MAQUINARIA				**$ 79.000**				**$ 61.000**
Arado Cincel	1	ha	$ 10.000	$ 10.000				$ 0
Rastraje	1	ha	$ 9.000	$ 9.000				$ 0
Rau Combi	1	ha	$ 6.000	$ 6.000				$ 0
Siembra Trad.	1	ha	$ 10.000	$ 10.000				$ 0
Siembra Cero Lab.				$ 0	1	ha	$ 12.000	$ 12.000
Pulverización	2	ha	$ 5.000	$ 10.000	3	ha	$ 5.000	$ 15.000
Pulverización aérea	1	ha	$ 7.000	$ 7.000	1	ha	$ 7.000	$ 7.000
Trompo	1	ha	$ 5.000	$ 5.000	1	ha	$ 5.000	$ 5.000
Automotriz	1	ha	$ 22.000	$ 22.000	1	ha	$ 22.000	$ 22.000
MANO DE OBRA				**$ 13.600**				**$ 9.200**
Labores	3,4	JH	$ 4.000	$ 13.600	2,3	JH	$ 4.000	$ 9.200
OTROS COSTOS				**$ 87.000**				**$ 87.000**
Financiero	1	ha	$ 18.500	$ 18.500	1	ha	$ 18.500	$ 18.500
Arriendo Suelo	1	ha	$ 50.000	$ 50.000	1	ha	$ 50.000	$ 50.000
Otros Costos	1	ha	$ 18.500	$ 18.500	1	ha	$ 18.500	$ 18.500
TOTAL COSTOS				**$ 400.762**				**$ 384.322**

Enfoque económico de largo plazo. Este enfoque representa la esencia de la cero labranza. Persigue obtener beneficios económico a través del tiempo principalmente por los siguientes aspectos:

- Reducción de costos (aumento de materia orgánica, aumento de fertilización natural y otros).
- Aumento de rendimiento (mejoras de suelo, oportunidad de siembra y otros).

Hay estudios que demuestran en el largo plazo los beneficios económicos de la cero labranza por sobre la labranza tradicional. Sorrenson (1997) describe que la efectividad de la cero labranza en limitar la erosión de suelos es conocida. Además de reducir sustancialmente las pérdidas por erosión de suelos, se mejoran las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, se eleva el contenido de materia orgánica con los consecuentes impactos benéficos en la productividad de cultivos. La preparación convencional del suelo depende sensiblemente del clima y normalmente toma entre 30-75 días de preparación de suelo desde la cosecha hasta la siembra del cultivo siguiente. Utilizando cero labranza, este período de tiempo se reduce a menos de 15 días (la cosechadora puede ser incluso seguida inmediatamente por la sembradora) extendiendo, por lo tanto, significativamente la estación de cultivo y generando una oportunidad para introducir otros cultivos durante el año. Sorrenson (1997) analizó los impactos económicos de la cero labranza y la rotación de cultivos. Siguió el desempeño financiero de 2 predios de 2 regiones diferentes (135 ha cada uno) durante un período de 10 años. Como se puede observar en los Cuadros 9.2 y 9.3, se comparan los ingresos anuales con sus respectivos costos (divididos en variables y fijos) y la utilidad económica. Consideró rotaciones de siembras de avena – soya – trigo – soya – maravilla – maíz.

Cuadro 9.2. Evolución económica de los sistemas de labranza tradicional y cero labranza durante 10 años (US$). Caso 1.

	Año 1		Año 10	
	Labranza Tradicional	Cero Labranza	Labranza Tradicional	Cero Labranza
Ingresos	77.031	75.010	68.632	97.762
Costos Variables	53.484	51.467	53.026	48.166
Costos Fijos	18.618	14.974	18.712	14.454
Utilidad	4.929	8.569	-3.013	31.142

Cuadro 9.3. Evolución económica de los sistemas de labranza tradicional y cero labranza durante 10 años (US$). Caso 2.

	Año 1		Año 10	
	Labranza Tradicional	Cero Labranza	Labranza Tradicional	Cero Labranza
Ingresos	64.688	63.675	61.454	102.856
Costos Variables	38.818	36.674	41.792	56.077
Costos Fijos	18.567	17.229	18.567	13.075
Utilidad	7.364	9.771	1.095	33.703

Los cambios en ingreso y costos variables bajo cero labranza, entre el primero y el décimo año, reflejaron, en ambos casos, aumento en rendimientos, una mayor intensidad de producción y ahorros de insumos.

Por otro lado, al analizar los retornos sobre el capital, calculados para los 2 predios, se estableció para el décimo año un 10,2% para el caso de cero labranza y un 0,2% en labranza tradicional. Sorrenson (1997) indica además que el promedio de horas anuales de tractor para el Caso 1 en labranza tradicional pasó de 1.228 HT el año 1 a 1.219 HT el año 10, siendo para cero labranza de 1.177 HT el año 1 y 776 HT el año 10.

Los tres criterios de evaluación exhibieron mejoras significativas bajo cero labranza comparadas con labranza tradicional en ambos casos analizados. Las tablas del ingreso neto del predio para cero labranza no incluyen los costos de adquisición de una sembradora y equipamiento auxiliar. Estos costos pueden variar grandemente dependiendo del tipo de maquinaria adquirida y si el agricultor opta por la compra de un equipo nuevo o usado. Si se compra maquinaria nueva, los costos promedian, en este caso, aproximadamente US$ 15.000 por predio. Los incrementos en ingreso neto del predio en ambas regiones se espera que sean suficientes para pagar el equipamiento de cero labranza en el plazo de 2 años.

El enfoque de largo plazo se atribuye principalmente a agricultores propietarios e inversionistas, ya que enfocan sus esfuerzos, mediante esta técnica, a reducir costos y aumentar los rendimientos. Por otro lado, el análisis de inversiones permite solventar, ya sea con capital propio o de terceros, la adquisición de una máquina sembradora de cero labranza, la cual, además, tiene exigencia de potencia de tractor superior a las sembradoras convencionales.

El nivel de retorno del capital invertido. Esta directamente correlacionado con la superficie a sembrar, lo que permite hacer un sencillo cálculo de utilización anual de siembra con dos enfoques:

1.-*Enfoque económico de costo de oportunidad.* Este enfoque, al igual que el de corto plazo, persigue obtener beneficios económicos por la posibilidad mecánica de realizar labores de siembra en la época óptima de cada cultivo. A diferencia del principio conservacionista desarrollado a partir de zonas con pendientes (principalmente de secano), este enfoque persigue solucionar los problemas de preparación de suelos de difícil laboreo invernal en las zonas de riego, lo que permitiría maximizar el potencial de rendimiento de las especies, debido a que la época de siembra en los cultivos de primavera es uno de los componentes culturales más importantes.

Para el caso del cultivo del maíz en la zona sur, las lluvias primaverales de algunos años impiden preparar suelo en el momento óptimo, lo que condicionaría a sembrar más tarde con el consiguiente perjuicio económico, debido a que se deben rezagar los potreros varios días para poder usar arado, rastra y maquinas sembradoras tradicionales. El uso de cero labranza en estos casos permite reducir el costo de oportunidad.

2.-*Enfoque económico de desarrollo de economías de escala*. Una de las principales virtudes económicas de la técnica de la cero labranza está dada por la posibilidad de disponer de más Horas Tractor en el predio, con el mismo nivel de inversión en maquinaria. Un ejemplo claro se presenta en la agricultura de secano de la pre-cordillera del sur de Chile donde en un sistema tradicional, con siembras tempranas y laboreo otoñal, para un promedio de 60 días libres de lluvia aproximadamente, un tractor de 80 HP para preparar suelo con 1 aradura, 1 rastraje off-set , 1 vibrocultivador y 1 siembra, tiene capacidad potencial para 140 ha de siembra. En una siembra de cero labranza la capacidad potencial, en ese mismo plazo es para más de 400 ha. Esto, traducido a un esquema de retornos sobre el capital, muestra la mayor eficiencia de la cero labranza (Tabla 9.4).Es así que, para sembrar el potencial cultivable, debería haber un aumento de capital en maquinarias en el sistema de siembra tradicional o, por otro lado, buscar la contratación de servicios de terceros, con la consiguiente posibilidad de pérdida de oportunidad en la realización de labores.

Cuadro 9.4. Comparación de la relación utilidad operacional con inversión en maquinarias.

	SIEMBRA TRADICIONAL		CERO LABRANZA	
Maquinaria	2 tractores	$ 26.000.000	1 tractor	$ 13.000.000
	1 arado cincel	$ 1.500.000	1 sembradora cero lab.	$ 12.000.000
	1 rastra off-set	$ 2.000.000	1 Pulverizador	$ 1.000.000
	1 vibrocultivador	$ 1.600.000	1 Trompo	$ 600.000
	1 sembradora cerealera	$ 3.000.000		
	1 Pulverizador	$ 1.000.000		
	1 Trompo	$ 600.000		
	Total	**$ 35.700.000**	**Total**	**$ 26.600.000**
Costos Operacionales	300 ha siembra	$ 120.000.000	300 ha siembra	$ 120.000.000
Ingresos	50 qq/ha x $ 9.500	$ 142.500.000	50 qq/ha x $ 9.500	$ 142.500.000
Utilidad Operacional		**$ 22.000.000**		**$ 22.000.000**
	RELACION UTILIDAD/ MAQUINARIA	**0,62**	RELACION UTILIDAD / MAQUINARIA	**0,83**

Se puede observar que bajo cero labranza hay un mayor aprovechamiento del potencial de la maquinaria predial por tratarse de un sistema que reduce el laboreo agrícola en consideración al potencial de siembras del predio. Esto es económicamente relevante en aquellos predios que desarrollan agricultura extensiva.

Las perspectivas que resultan en la adopción de la tecnología de cero labranza en el manejo de cultivos están ligadas al conocimiento y a la información, que son la principal limitación a la adopción de la cero labranza en la mayoría de los países. La información debe ser relevante, actual, apropiada al sitio, verdadera y útil si es que se pretende generar impacto entre los agricultores. El primer paso antes de cambiar el sistema de producción e iniciar la cero labranza debería ser que agricultores, investigadores, técnicos y extensionistas mejoren sus conocimientos sobre todos los aspectos del sistema. La superioridad del sistema de cero labranza sobre la preparación convencional ha sido probada bajo una gran variedad de condiciones en diferentes partes del mundo. Ahora es necesario desarrollar la agronomía local y asegurarse de que la tecnología funcione bien bajo las condiciones ambientales y socio-económicas de cada lugar. Se necesita aprender acerca de cuales suelos no son apropiados o tienen limitaciones para aplicar el sistema y cómo poder sobreponerse a esas limitaciones. También hay que saber qué otras limitaciones existen para la adopción de la cero labranza bajo condiciones locales (máquinas, herbicidas abonos verdes adecuados, rotaciones adecuadas, conocimiento, etc.) y estar conscientes de eventuales limitaciones socio-económicas. No habría que preocuparse por rendimientos menores en el sistema de cero labranza, mientras se tenga retornos económicos mayores. El control de la erosión, la mejoría de las condiciones químicas, físicas y biológicas del suelo, los menores costos de maquinaria, la reducción en los costos de la mano de obra y horas tractor, el poder realizar los trabajos en el momento oportuno, los retornos económicos más altos y otros beneficios del sistema, deberán garantizar un crecimiento continuo de la cero labranza permanente en la mayoría de los predios agrícolas.

No hay que olvidar que, a pesar del romanticismo que genera la preservación del medio ambiente a través de la técnica de la cero labranza, los agricultores de una u otra forma son empresarios agrícolas y las señales del mercado son cada vez más relevantes al momento de tomar decisiones. Es así que de alguna manera, en zonas donde la cero labranza juega un rol importante, las razones principales de por qué los agricultores cambian a este nuevo sistema de producción son: menos trabajo, más dinero y control de la erosión.

Las principales economías que resultan de la cero labranza, cuantificables en forma simple o no, son las necesidades menores de mano de obra, la economía de tiempo, el menor desgaste de la maquinaria, la economía de combustible, el aumento de la productividad a largo plazo, el aumento de la fertilidad natural del suelo, el mejoramiento de la calidad del agua superficial, la disminución de la erosión, la mayor retención de humedad, el aumento de la infiltración de agua en el suelo, la disminución de la compactación del suelo, el mejoramiento de la estructura del suelo, el aumento de la vida silvestre, la menor emisión de gas carbónico a la atmósfera, la reducción de la polución del aire.

La CL permite disminuir las emisiones de gases con efecto invernadero. Las reducciones certificadas de estos distintos gases son expresadas en sus equivalente en C, generando una moneda común de "Créditos de C", que permite su comercialización en el Mercado Global Ambiental (Mercado Internacional del C). Este mercado se basa en la fijación de un tope a las emisiones de gases con efecto invernadero, topes fijados por algunos países que han suscrito el protocolo

de Kyoto de 1997. Algunos de ellos serían capaces de reducir sus emisiones más allá de su obligación y generarían así un excedente de permisos que podrían ser comercializados a aquellos que no logren reducir sus emisiones o no estén dispuestos a hacerlo. Así es como, el consorcio de empresas energéticas canadienses GEMCo realizó un acuerdo con los productores agrícolas del estado de Iowa, por el cual éstos se comprometen a practicar CL a efectos de acumular C en sus suelos. GEMCo les paga a esos agricultores cerca de US$ 9 ha^{-1} $año^{-1}$ adquiriendo así los derechos de comercialización de los certificados de C que se generen en el futuro (Costa, 2002).

Síntesis.

- Hay suficiente evidencia para señalar que los retornos económicos son mayores en cero labranza que en labranza tradicional.
- El éxito de la tecnología de cero labranza en el manejo depende del conocimiento y la información, que son la principal limitación a la adopción de la cero labranza en la mayoría de los países.
- El primer paso antes de cambiar el sistema de producción e iniciar la cero labranza debería ser que agricultores, investigadores, técnicos y extensionistas desarrollen la agronomía local y mejoren sus conocimientos sobre todos los aspectos del sistema.

Bibliografía.

BANCO MUNDIAL. 1995: Vetiver grass for soil and water conservation, land rehabilitation, and embankment stabilization. Grimshaw, R. and Helfer, L. (Eds.). World Bank Technical Paper N° 273.

CANNEL, R. Q. and HAWES, J. D. 1994. Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. Soil & Tillage Res. 30: 245- 282.

CROVETTO, C., 1992. Rastrojos sobre el suelo. Una introducción a la Cero Labranza. Editorial Universitaria. Santiago. Chile.

DERPSCH, R., SIDIRAS, N. and ROTH, C. 1986. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no- tillage techniques in Paraná, Brazil. Soil & Tillage Research, 8: 253-263.

MENDEZ, C. y SATORRE, E. 1998. Introducción a la Cero Labranza. En: Balsategui, J. (Ed.). Cero Labranza. Buenos Aires. pp 6-9.

SOLAR, B. 2003. Aspectos económicos de la cero labranza. En: Sustentabilidad en Cultivos Anuales: Cero Labranza, Manejo de Rastrojos. Acevedo, E. (ed.). Santiago, Universidad de Chile. Fac. de Cs. Agronómicas, serie Ciencias Agronómicas N°8. 165-184.

SORRENSON, W.J., DUARTE, C. and LOPEZ PORTILLO, J. 1998. Economics of No- till compared to conventional cultivation systems on small farms in Paraguay, policy and investment implications., Report Soil Conservation Project MAG – GTZ.

SORRENSON, W.J. 1997. Aspectos económicos de los sistemas de siembra directa y labranza convencional en pequeñas fincas del Paraguay. Informe FAO N°: 97/075 ISP-PAR

STENHOLM, C.W. and WAGGONER, D. B., 1990. Low-input, sustainable agriculture: Myth or method?. Journal Soil and Water Cons. 45: 1