
ABONOS VERDES EN LA PRODUCCIÓN HORTÍCOLA: Usos y Manejo

Autor: Juan C. Gilsanz¹

¹ Ing. Agr. M.Sc. Programa Nacional de Investigación en Horticultura y Programa Nacional de Producción y Sustentabilidad Ambiental, INIA Las Brujas.

Título: ABONOS VERDES EN LA PRODUCCIÓN HORTÍCOLA: usos y manejo

Autores: Juan Carlos Gilsanz

Serie Técnica N° 201

© 2012, INIA

Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología del INIA
Andes 1365, Piso 12. Montevideo - Uruguay
<http://www.inia.org.uy>

Quedan reservados todos los derechos de la presente edición. Esta publicación no se podrá reproducir total o parcialmente sin expreso consentimiento del INIA.

Impreso en Editorial Hemisferio Sur S.R.L.
Buenos Aires 335
Montevideo - Uruguay

Depósito Legal 359-068/12

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria

Integración de la Junta Directiva

Ing. Agr., MSc., PhD. Álvaro Roel - Presidente

Ing. Agr., Dr. Mario García Petillo



Dr. Álvaro Bentancur

Dr. MSc. Pablo Zerbino



Ing. Agr. Joaquín Mangado

Ing. Agr. Pablo Gorriti



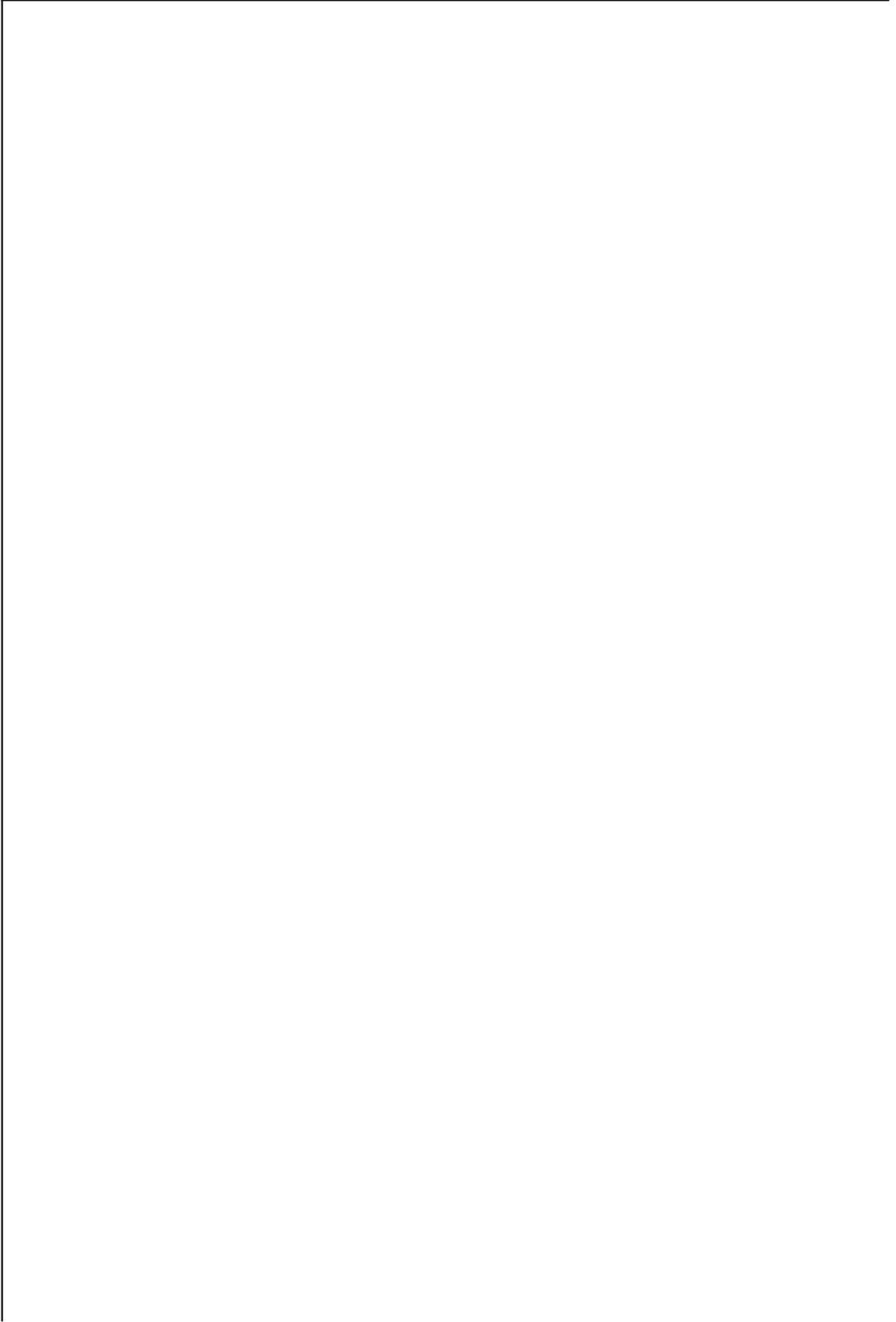
CONTENIDO

Página

Introducción	1
Concepto de calidad del suelo	2
Concepto de cultivos de cobertura, abonos verdes	3
Ventajas en el uso de abonos verdes y del laboreo conservacionista	3
Aspectos fisiológicos de la mejora del suelo por el uso de abonos verdes	3
Calidad de la erosión y efectos en la aglutinación del suelo	3
Efecto de aglutinación	4
Infiltración y porosidad del suelo	5
Modificación del balance hídrico y en la temperatura del suelo	5
Forma de la superficie del residuo	6
Actividad biológica de los abonos verdes	8
Población de microbios y actividades	8
El laboreo continuo del suelo deprime el contenido de C del suelo y de la actividad microbiana	8
Artrópodos y lombrices	8
Mineralización del nitrógeno y carbono en los residuos vegetales	9
Mineralización del nitrógeno en los residuos de los abonos verdes	9
Mineralización del carbono desde los residuos	11
La materia orgánica y su dinámica en el suelo	12
Factores que afectan la acumulación de materia orgánica	14
Ciclo del nitrógeno en el suelo	14
Inmovilización del nitrógeno en el suelo	14
Pérdida de nitrógeno	15
Denitrificación	15
Pérdida por el tipo de laboreo	16
Fijación simbiótica del nitrógeno	16
¿Cuánto nitrógeno fijado?	16
¿Cuánto nitrógeno es liberado?	17
Efecto sobre la dinámica de CO ₂ del suelo	18
Fósforo	20
Calcio	20
Potasio	20
Magnesio	21
pH	21
Capacidad de intercambio catiónico	21
Reducción de las pérdidas y reciclaje de nutrientes	21
Aspectos biológicos de la mejora del suelo por el uso de abonos verdes	22
Control de malezas	22

	Página
Aporte en el control de plagas y enfermedades de los abonos verdes	25
Plagas, insectos y nemátodos	25
Como manejar los abonos verdes ¿Abonos verdes enterrados o dejados en la superficie	27
Residuos enterrados	28
Residuos sobre superficie	28
Abonos verdes	28
Las leguminosas	29
Las gramíneas	29
Abonos verdes de verano	29
Sorgo	30
Moha	30
Girasol	31
Maíz	32
Pasto italiano	32
Cowpea	33
Crotolaria	33
Poroto	34
Abonos verdes de invierno	35
Avena negra	35
Avena amarilla	35
Trigo	36
Cebada	36
Centeno	37
Triticale	37
Raigrás anual	38
Trébol rojo	38
Trébol alejandrino	39
Trébol encarnado	40
Vicia villosa	40
Lupino blanco	41
Lupino azul	41
Haba	42
Arveja forrajera	42
Trigo sarraceno	43
Las crucíferas	44
Nabo forrajero	44
Las mezclas de abonos verdes	45
Mínimo laboreo	47
Equipos para el manejo de los residuos e instalación del cultivo	47

	Página
Operaciones de corte, picado o aplastado de residuos	47
Equipo para el manejo de residuos e instalación del cultivo	47
Chirquera	48
Segadoras	48
Picadoras, trituradoras, desmalezadores, rompe ramas	49
Rodillo picador	50
Aplastado por implemento de peso	50
Operaciones de preparación del suelo para la instalación del cultivo	51
Cultivadores para alto y muy alto contenido de residuo	51
Cinzel modificado	53
Multiarado y similares	53
Operaciones e instalación del cultivo	54
Experiencia a nivel de predios y comentarios	54
Consideraciones finales	57
Cuadros de performance de abonos verdes	58
Bibliografía	58



ABONOS VERDES EN LA PRODUCCIÓN HORTÍCOLA: Usos y Manejo

INTRODUCCIÓN

La mayor producción de hortalizas se concentra principalmente en la zona sur del país donde se cultivan aproximadamente 18.000 de un total de 24.000 hectáreas, sin considerar el cultivo de la papa (Censo General Agropecuario, 2000). Esta producción se realiza sobre suelos muy degradados, con severos niveles de deterioro, de las propiedades físicas, químicas y biológicas (Figura 1) (MGAP, 2001).

La producción de hortalizas se basa normalmente en el uso intensivo del suelo, con rotaciones cortas y con pequeños períodos de descanso entre cultivos. Por otro lado, en muchos casos no se logra tener toda el área

disponible en cultivo en una misma estación existiendo superficies en barbecho pasibles de ser enmalezadas. El excesivo laboreo tiene como objetivo combatir las malezas y lograr camas de siembra que faciliten el contacto entre las semillas o los plantines y el suelo. El manejo tradicional en el laboreo del suelo en estos predios incluye el uso de arados de vertedera o de discos, rotovador, implementos que causan un gran deterioro de sus propiedades físicas, disminución en la infiltración, aumento del encostramiento al formar una suela de arada o al afinar el suelo en forma excesiva y una disminución de su contenido de materia orgánica (Gilsanz *et al.*, 2005). En áreas de fuerte pendiente se incrementa la erosión y el lavado de nutrientes, como el nitrógeno. En este esce-



Figura 1. Carta de erosión antrópica. Fuente: MGAP, 2001.

nario es que se inicia el espiral descendente en los niveles de rendimiento y calidad del suelo sobre la que se asienta la producción (Figura 2).

En suelos deteriorados se observa un menor desarrollo y vigor en los cultivos hortícolas, viéndose expuestos fácilmente al ataque de plagas y de enfermedades. Para mantener el nivel productivo de esos predios se hace necesario un mayor uso de agroquímicos, lo que va en desmedro del medio ambiente, y consecuentemente en una pérdida en la sustentabilidad de la producción, conjuntamente con un incremento en los costos de producción (Gilsanz *et al.*, 2005).

CONCEPTO DE CALIDAD DEL SUELO

De acuerdo con Doran (1996) se entiende por «**Calidad de Suelo**» la capa-

cidad de un tipo de suelo para funcionar dentro de un ecosistema natural, para una producción vegetal o animal sustentable, para mantener o mejorar la calidad del agua, del aire y para mantener la salud humana y el hábitat. **Calidad de Suelo y Salud de Suelo** se usan como sinónimos, haciendo referencia a las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo que permiten mantener el crecimiento de los cultivos sin provocar degradación o daño al medio ambiente.

Para revertir el deterioro del sistema productivo se deben incluir prácticas culturales de manejo que promuevan el mejoramiento de la calidad y salud ecológica de los suelos tornándolos económicamente viables. Este tipo de sistemas llamados conservacionistas se basan en el uso de cultivos de cobertura o abonos verdes en combinación con una reducción del laboreo del suelo (Figura 3).

2



Figura 2. Proceso de empobrecimiento del suelo. Fuente: Adaptado de Wolfe, 2005.



Figura 3. Relación de la productividad del suelo, las prácticas conservacionistas y los procesos degradativos. Fuente: Horninck y Parr, 1987.

CONCEPTO DE CULTIVOS DE COBERTURA, ABONOS VERDES

Se refiere al uso de cultivos, residuos de cultivos y restos vegetales con el objetivo de mantener y/o mejorar la calidad y salud de los suelos. Los residuos se pueden usar con diversos fines: cubrir la superficie del suelo (cultivos de cobertura), incrementar su fertilidad (abonos verdes), reciclar nutrientes (cultivos trampa). En esta publicación trataremos esencialmente sobre aquellos abonos verdes anuales, debido a las características de las rotaciones hortícolas, sin perjuicio de reconocer a los materiales pluri-anales.

VENTAJAS EN EL USO DE ABONOS VERDES Y DEL LABOREO CONSERVACIONISTA

De la combinación del uso de los abonos verdes y del laboreo conservacionista se mejora el balance hídrico del suelo, sus propiedades físicas y químicas, aumenta el con-

tenido de materia orgánica, se reduce la infestación de malezas, plagas y enfermedades, se realiza un ahorro neto en el consumo de combustibles y se contribuye a una producción sustentable y ambientalmente amigable (Florentin *et al.*, 2001).

ASPECTOS FÍSICOS DE LA MEJORA DEL SUELO POR EL USO DE ABONOS VERDES

Control de la erosión y efecto en la aglutinación del suelo

Los abonos verdes ayudan a reducir la erosión manteniendo el suelo cubierto durante los períodos de fuertes lluvias tanto en su etapa de crecimiento, o bien luego, ya como residuo muerto. La erosión ocurre comúnmente en la capa superficial, degradando la porción más fértil del suelo, que contiene el mayor porcentaje de materia orgánica y de nutrientes. Los abonos verdes actúan previniendo la erosión hídrica que es el principal problema ambiental en Uruguay fuera de los centros urbanos.

El abono verde contribuye a:

- Reducir el movimiento del agua, creando un obstáculo con hojas, tallos, ramas y raíces ayudando a disminuir la velocidad del agua que corre por la pendiente.
- Aumentar la habilidad del suelo para almacenar agua, previniendo que grandes cantidades de agua escurran sobre la superficie del mismo.
- Estabilizar partículas del suelo a través de las raíces del abono verde.

La reducción en la erosión está correlacionada con la biomasa del abono verde presente en el suelo; con una cobertura del 40% de la superficie del suelo se observan reducciones significativas de la erosión (Cuadro 1). Es importante también obtener buena cobertura temprano en la estación.

Cuadro 1. Efecto de la cobertura del suelo en la reducción de la erosión

Cobertura Residuo %	Reducción Erosión %
10	30
20	50
30	65
40	75
50	83
60	88
70	91
80	94

Fuente (USDA. ARS. 1994) Citado por D.L. Schertz.

Efecto de aglutinación

Los abonos verdes también colaboran con el control de la erosión aumentando la aglutinación de los agregados del suelo por medio del trabajo de sus raíces y de las sustancias aglutinantes liberadas por éstas y los microorganismos del suelo. De esta manera se reduce el encostramiento del suelo, lo que limita fuertemente la emergencia y desarrollo de las plántulas. Por otro lado, se reduce la erosión producida por el viento así como por lavado y escurrimiento.

A medida que los residuos de plantas son digeridos, se producen sustancias adicionales, entre ellos polisacáridos, que son azúcares compuestos que actúan como gomas concentrando pequeñas partículas de suelo en agregados (Martens, 2000), lo que permite una mejor aereación e infiltración del agua. Suelos bien agregados previenen además de la compactación; los abonos verdes promueven esta agregación. Las leguminosas parecen ser mejores en la producción de polisacáridos (gomas), pero sus residuos se descomponen en poco tiempo, por lo que la agregación dura sólo una estación.

En la Estación Experimental Wilson Ferreira Aldunate, INIA Las Brujas, con el objetivo de medir la longevidad de diferentes residuos de abonos verdes, así como su mineralización en superficie y su aporte nutricional, se ajustaron curvas de descomposición y grados día calculados con la temperatura del suelo y del aire (Gilsanz, 2006). En este caso los grados día fueron calculados a partir de la temperatura «media» promediada a partir de la temperatura máxima y la mínima del día, (T_m) y donde: $G.Día = T_m - T_b$, la temperatura base (T_b) se definió como 0 °C ya que por debajo de esa temperatura los procesos biológicos en el suelo son casi nulos. Este trabajo se viene realizando desde el año 2005 con abonos verdes de invierno y verano. A modo de ejemplo se presentan las curvas de descomposición de dos residuos de verano, girasol (*Helianthus annuus*) y sorgo sudanense (*Sorghum sudanense*) (Figuras 4 y 5).

En el residuo de girasol se observa una rápida descomposición, sobre todo de los tejidos de las hojas, permaneciendo los restos de la caña, de constitución más leñosa produciendo una escasa cobertura del suelo. En el caso del sorgo la caída en el volumen de los residuos es menos pronunciada denotando una mineralización más lenta, permitiendo que mayores volúmenes cubran el suelo, lo que minimiza los efectos erosivos de la lluvia.



Figura 4. Evolución de la descomposición del residuo de girasol.



Figura 5. Evolución de la descomposición del residuo de sorgo.

Infiltración y porosidad del suelo

La infiltración en el suelo tiende a verse favorecida a través del uso continuado de los abonos verdes debido al trabajo de sus raíces. En algunos casos logran alcanzar profundidades de hasta un metro realizando también una gran exploración lateral con infinidad de raicillas (trabajo de arado biológico, ej. gramíneas). Además la presencia de grandes cantidades de residuos incentiva la existencia de una fauna biológica a nivel radicular. En el caso de la macrofauna genera la formación de canales y canalículos por los que el agua es infiltrada a capas inferiores del suelo. Hay especies de abonos verdes como el nabo forrajero, que tienen la capacidad de producir raíces engrosadas y formar grandes canales luego que éstas se descomponen favoreciendo este proceso. En el Cuadro 2 se presentan datos de densidad aparente y porosidad en parcelas de observación en Rincón del Cerro como parte del trabajo de abonos verdes y mínimo laboreo, con productos hortícolas (Gilsanz *et al.*, 2007). Los tratamientos fueron: Mínimo Laboreo (sobre residuo de moha, *Setaria italica*) y Testigo (Laboreo convencional), sobre los que se insta-

ló un cultivo de arveja en el invierno 2007. Se realizaron mediciones de densidad aparente y porosidad. Lo que se observó fue que los tratamientos que habían recibido el aporte de los residuos de moha presentaban una porosidad total mayor a los encontrados sobre el tratamiento convencional, que estuvo en barbecho, previo al cultivo de arveja (Cuadro 2). La densidad aparente también fue menor en la parcela con residuo de moha.

Modificación del balance hídrico y en la temperatura del suelo

Los residuos dejados sobre la superficie del suelo limitan las pérdidas de agua por evaporación y reducen el escurrimiento del agua de lluvia. Este efecto es importante sobre todo en períodos cortos de sequía. La pérdida de agua es menor por existir una menor evaporación desde la superficie del suelo, ya que el residuo dejado en superficie reduce la difusión del vapor de agua. La disminución del efecto del viento por parte de los tallos de abonos verdes hace disminuir el intercambio energético convectivo que es el que gobierna la evaporación (Shangjing Ji *et al.*, 2001).

Cuadro 2. Efecto del manejo en las propiedades físicas del suelo en Rincón del Cerro

Tratamiento	Da* kg/cm ³	Porosidad Total %	Porosidad Aire %	Porosidad Agua %
Convencional Barbecho	1,57	40	16	24
Mínimo Laboreo con residuo	1,3	51	21	30

*Densidad aparente.

Al momento de la muerte del residuo es importante contar con alguna lluvia o riego para asegurar el contenido hídrico para la germinación y crecimiento del cultivo comercial siguiente. De acuerdo con Wagger (1989) se recomienda instalar el cultivo comercial luego de un período de 7-14 días, con posterioridad a la muerte del abono verde. Es importante evitar el agotamiento hídrico del suelo durante la fase de crecimiento del abono verde, previo a la instalación del cultivo. En años húmedos es posible instalar el cultivo inmediatamente luego de la muerte del abono verde.

En trabajos realizados por Aiken (1997) se consideró el efecto de la radiación incidente sobre suelo cubierto por residuos. El residuo reduce la cantidad de radiación solar que llega a la superficie del suelo, disminuyendo el calor convectivo que baja en profundidad y limitando la difusión del vapor de agua desde el interior del suelo hacia la superficie. Esto hace que también la temperatura en la superficie del suelo sea menor durante el día respecto a la del suelo laboreado sin residuos. Esto es debido al efecto aislante y la tendencia de los residuos de los abonos verdes a reflejar más radiación que el suelo desnudo durante el día. Lo opuesto sucede en la noche en donde las temperaturas en el rastrojo son más altas

que a nivel del suelo desnudo. Por lo tanto, en suelos cubiertos con residuos, las pérdidas de radiación son menores que en suelo desnudo, por lo cual no se enfrían tanto durante la noche. Esta temperización de las temperaturas extremas en suelos con residuos en superficie permite también el mantenimiento de cierto grado de humedad en el suelo. En los Cuadros 3 y 4 se presentan datos de temperatura y radiación para diferentes abonos verdes (Gilsanz, 2007).

Forma de la superficie del residuo

La disposición y forma que adquieren los residuos en superficie tiene un efecto muy importante en la cantidad de radiación que recibe el suelo, su temperatura y contenido hídrico. Aiken *et al.* (2007) trabajando con residuos de trigo encontraron que aquellos en posición vertical pierden más agua que los residuos horizontales, en especial en los primeros momentos cuando se da el proceso de secado.

Cuando se examina la reflexión, ésta es mayor con los residuos en forma elevada que acostados, pero a su vez se presenta un mayor flujo de temperatura hacia el suelo durante el día respecto al mulch horizontal. El residuo vertical pierde más calor del suelo en la noche, respecto al residuo horizontal.

Cuadro 3. Efecto de la cobertura en la temperatura y radiación del suelo, invierno 2007 INIA Las Brujas

Tratamiento	Temp. Mínima °C 3 cm prof.	Temp. Máxima °C 3 cm prof.	Radiación Absorbida %	Radiación Reflejada %
	20-jul.		6 jul. 13:30 h	
Residuo de Sorgo	8,5	14	89,1	10,9
Suelo Desnudo	6	18	94,8	5,2

Cuadro 4. Efecto de la cobertura en la temperatura y radiación del suelo, verano 2007 INIA Las Brujas

Tratamiento	Temp. Mínima °C 3 cm prof.	Temp. Máxima °C 3 cm prof.
	2 ene.	
Residuo Avena Negra	24,2	27,8
Suelo Desnudo	26,3	35,8

En condiciones secas, las diferencias entre la forma de la superficie del residuo se atenúan. También es posible observar una estratificación de la temperatura desde la superficie del residuo; en la superficie del mismo la temperatura está más relacionada con la temperatura del aire, la temperatura debajo del residuo así como la del suelo en profundidad varían en función del volumen y disposición del residuo (Bristow *et al.*, 1988).

Los residuos, además de reducir la temperatura del suelo, producen una disminución de la tasa de evaporación (Dahiya *et al.*, 2007), y tienen también un efecto en la disminución del encostramiento. En el Cuadro 5 se presenta la reducción en la evaporación

desde la superficie del suelo de acuerdo a la cantidad de residuos. (Linden *et al.*, 1987).

En el período 2008-2009, en un módulo demostrativo en la Estación Experimental Wilson Ferreira Aldunate, de INIA Las Brujas, se evaluó la evolución en el contenido de humedad en canteros de zapallo kabutiá (*Cucúrbita moschata x c. Maxima*) cultivar Maravilla del Mercado sobre residuo de avena negra y laboreo reducido (Sust.) y convencional (CV). El contenido de humedad fue monitoreado semanalmente evaluando el contenido de agua hasta un metro de profundidad. La determinación se realizó mediante TDR en superficie y sonda de neutrones en profundidad (Arboleya *et al.*, 2010). Los resultados se presentan en la Figura 6.

Al observar los datos de la evolución del contenido de humedad, el tratamiento de laboreo sustentable sobre residuos de avena negra mantiene el contenido de humedad del suelo a una profundidad de 0-20 cm durante la mayor parte del ciclo de crecimiento del cultivo de zapallo. En un período particularmente seco como el que se dio, esto fue importante para el desarrollo del cultivo y ahorro en agua de riego.

Cuadro 5. Efecto de la cobertura en la evaporación de la superficie del suelo

Cobertura Residuo %	Evaporación Potencial Relativa
0	10
10	0,9
20	0,78
30	0,7
40	0,67
50	0,63
60	0,61
70	0,59
80	0,58

Fuente Linden *et al.*,1987.

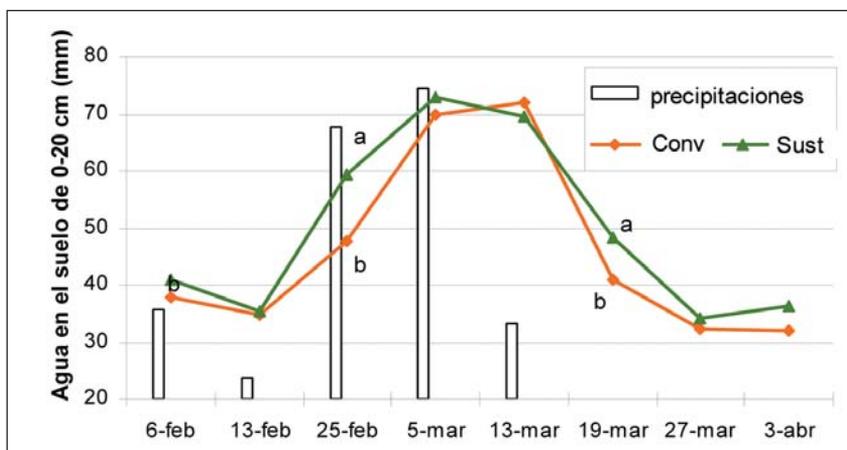


Figura 6. Contenido de agua (mm) en el suelo (0-20 cm) en sistema convencional y laboreo reducido, 2008-09.

ACTIVIDAD BIOLÓGICA EN LOS ABONOS VERDES

Población de microbios y actividad

Un suelo presenta organismos vivos, muertos y en diferentes estados de descomposición. Con el uso de abonos verdes se incrementan las poblaciones de organismos vivos en el suelo, cada una de ellas con diferentes roles aportando al equilibrio ecológico del ambiente de crecimiento.

La población microbiana en sistemas de laboreo conservacionista se encuentra cercana a la superficie acompañando la presencia y distribución del carbono orgánico. En profundidad las poblaciones microbianas se equilibran tanto para los sistemas conservacionistas como para los convencionales.

La cantidad y tipo de residuo determinará la composición de la población heterotrófica que contiene el suelo. La naturaleza de la población variará con la composición química del residuo agregado. Ciertos grupos de microorganismos predominan por pocos días, otros pueden perdurar a altos niveles por más tiempo. Cada tipo de microorganismos tiene un complejo enzimático que le permite atacar cierto número de compuestos químicos pero no otros. Los microorganismos son estimulados por los componentes de las sustancias carbonadas agregadas, forman una microflora primaria y luego una secundaria que crece sobre los compuestos producidos por los agentes primarios o sobre las células muertas de la población inicial (Udelar, 1977).

Cuando se incorporan residuos al suelo se incrementa la población alrededor de los tejidos enterrados aumentando la cantidad de bacterias en las primeras semanas debido a la mineralización, acelerando la descomposición. Luego de la primera semana el número de bacterias comienza a disminuir, llegando el suelo a valores originales. La población de protozoarios sigue la evolución de la población de bacterias. Los hongos y actinomicetes no se afectarían en el caso de enterrar los residuos.

En los sistemas conservacionistas se encuentran en gran cantidad microorganismos heterótrofos aeróbicos en superficie, denitrificadores totales y nitrificadores autotróficos. Esto depende del contenido de humedad y pH. De acuerdo con Doran (1980), los nitrificadores se encuentran donde hay humedad y pH bajo. Aparentemente los sistemas conservacionistas (residuo en superficie) promueven más la presencia de hongos que de bacterias.

El laboreo continuo del suelo deprime el contenido de C del suelo y de la actividad microbiana

La actividad microbiana depende del tipo de abono verde utilizado. Las leguminosas incentivan la actividad microbiana más que las gramíneas, debido a la mayor disponibilidad de nitrógeno de las primeras.

Tanto la temperatura como la humedad presente debajo del residuo afectan directamente el crecimiento microbiano. La humedad es el factor más importante ya que el agua sirve como medio para la actividad microbiana y para solubilizar sustratos orgánicos.

Gundmann *et al.* (1995), citado por Cabrera (2007) encontraron que una porosidad en agua del suelo del orden del 60% sería el límite máximo tolerable para una actividad microbiana. Los sistemas conservacionistas presentan un mejor drenaje del suelo, por lo que la actividad microbiana se ve favorecida respecto a los sistemas convencionales.

Artrópodos y lombrices

Los artrópodos del suelo son más abundantes en los sistemas conservacionistas debido a la favorable humedad y temperatura que se da debajo de los residuos.

En suelos con laboreo convencional la movilidad de los artrópodos se ve reducida por la remoción de los horizontes del suelo, y dónde también son afectados al ser enterrados durante el laboreo.

Las lombrices son integrantes de la macrofauna del suelo y son utilizadas como un índice de calidad del mismo. Su presencia es apreciable en los sistemas conservacionistas aprovechando las favorables condiciones que se dan en estos, relacionado con su alimentación y habitat. En un ensayo realizado en INIA Las Brujas sobre el uso de abonos verdes y mínimo laboreo, conjuntamente con la Universidad del Estado de Carolina del Norte, durante el período 1999-2003, se constató que en aquellos tratamientos que habían recibido aportes orgánicos a través de enmiendas (T4) o abonos verdes (T3, T6) se incrementó la población de lombrices (Gilsanz *et al.*, 2004) (Figura 7).

Las lombrices contribuyen en:

- Fertilización, reciclaje de nutrientes
- Descomposición de residuos
- Controladores biológicos
- Favorecen la agregación del suelo
- Mejoran la infiltración

Mineralización del nitrógeno y carbono en los residuos vegetales

Al morir el abono verde, ya sea químicamente o por laboreo, la fauna del suelo co-

mienza a descomponer los residuos de la planta; este proceso recibe el nombre de mineralización. La macrofauna troza estos residuos en tamaños menores para que luego sean atacados por hongos y bacterias. En este proceso de mineralización y descomposición las fracciones más lábiles son las que más rápidamente son atacadas, quedando las fracciones más groseras (mayor contenido de lignina) para un ataque más lento.

Mineralización del nitrógeno de los residuos de los abonos verdes

La mineralización de residuos de los abonos verdes puede proveer importantes cantidades de nitrógeno (N) disponible para el cultivo comercial, o puede significar una inmovilización neta de N a partir del suelo. En esto intervienen las condiciones ambientales así como las características del residuo involucrado (Hubbard y Jordan, 1996, en Ernst, O., 2002) Entre los factores más importantes que controlan la mineralización neta de N se incluyen: la composición de los residuos (Whitmore, 1996), las condiciones ambientales como la temperatura y el contenido hídrico del suelo (Kathere, 1996), los eventos de secado y rehumedecimiento (Kruse *et al.*, 1994) y las características del suelo (Schjonning *et al.*, 1999).

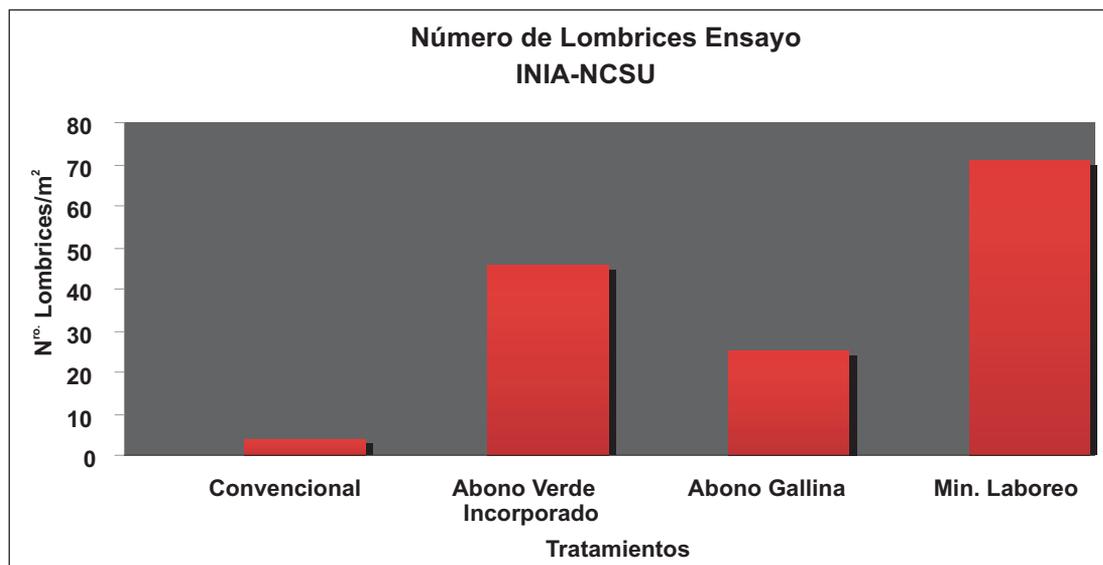


Figura 7. Número total de lombrices/m².

Los residuos orgánicos agregados, ya sea en forma superficial o incorporados dentro del suelo, son descompuestos por la biomasa microbiana presente en el suelo y/o en los residuos. Parte del carbono en la descomposición de residuos es liberado como anhídrido carbónico (CO₂) y otra parte es asimilada por la biomasa microbiana involucrada en el proceso de descomposición (Alexander 1977), (Gilmour *et al.*, 2003). Para que ocurra la asimilación del carbono y el nitrógeno se debe tener en cuenta la relación carbono nitrógeno (C:N) de la biomasa microbiana.

Si la cantidad de N presente en la descomposición de residuos orgánicos es superior a la que requieren los microorganismos existirá una mineralización neta, con liberación de nitrógeno inorgánico. Si la cantidad de nitrógeno en el residuo es igual a la cantidad requerida no habrá mineralización neta. Si por el contrario la cantidad de nitrógeno presente en el residuo es menor al requerido por la biomasa microbiana, el nitrógeno inorgánico será inmovilizado, obteniéndose a partir del suelo el necesario para completar el proceso de descomposición (Corbeels *et al.*, 1999).

En base a lo anterior se sugiere que la cantidad de carbono y nitrógeno en los residuos y en la biomasa microbiana que actúa en la descomposición son los factores que controlan la mineralización y la inmovilización. En la actualidad, y de acuerdo con investigaciones realizadas por Whitmore (1996), se establece que el punto de equilibrio entre inmovilización y mineralización estaría en un rango de valores de C:N entre 20-40:1. Este rango se relaciona no sólo con variaciones en la flora que actúa sobre el residuo sino también a la composición de los residuos (Rowell, 2001), (De Neve y Cabrera, 1997).

Residuos orgánicos con relaciones C:N similares pueden mineralizar diferentes cantidades de nitrógeno, por diferencias de composición que no son reflejadas por la relación C:N, relacionándose con los grupos de polifenoles, proteínas, carbohidratos solubles, hemicelulosa, celulosa y lignina,

(Rowell *et al.*, 2001). Se ha encontrado que compuestos de carácter defensivo presentes en las plantas tuvieron efectos inhibitorios en la flora que ejerce la descomposición de los residuos, marcando diferencias de acuerdo al tipo de residuo presente.

Los residuos en la superficie del suelo continúan su descomposición a una tasa constante y elevada aún a bajos contenidos de humedad. A esos niveles de humedad la descomposición de la materia orgánica ya se ve afectada, esto es debido al tipo de población microbiana interviniente en el proceso de descomposición. La descomposición de la materia orgánica es llevada a cabo básicamente por bacterias, mientras que la descomposición de los residuos en superficie es realizada por hongos, los cuales pueden operar a niveles menores de humedad que las bacterias. Grandes cambios en el contenido hídrico de los suelos, como secado y rehumedecimiento, afectan el proceso de mineralización del nitrógeno.

Ferris *et al.* (1988), Kuikman *et al.* (1991) encontraron que tanto nemátodos como protozoarios alimentándose de bacterias incrementan la mineralización de la materia orgánica. Es posible ver que en residuos enterrados la actividad de estos microorganismos se ve favorecida por mayor contenido de humedad en tanto en los residuos en superficie se ve restringida.

Schoemberg (1994) encontró que los residuos de trigo perdieron el 30% de su peso seco inicial cuando se descomponían en superficie. Cuando el mismo material se descompone enterrado la pérdida de peso llegó al 80% en el mismo período de tiempo.

De la misma manera Grez *et al.* (1998) citado por Ernst, O. (2002), establece que los residuos dejados en superficie persisten más tiempo que los residuos que son incorporados.

Por otro lado Burguess *et al.* (2002), evaluaron la liberación de nitrógeno a partir de los componentes de residuos de maíz (hojas tallos, mazorcas), bajo sistema de siembra directa y convencional. El nitrógeno liberado a partir de los residuos en superficie fue menor con respecto a los enterrados.

La mineralización de los residuos se ve favorecida por un menor tamaño de partícula lo que facilita el ataque por parte de la microflora, también la dureza del material influye en la velocidad de colonización por parte de la flora.

Parsons *et al.* (1990), citado por Burguess *et al.* (2002), analiza el contenido de nitrógeno en residuos y define las fases que ocurren en su descomposición. Se da un período inicial de pérdidas al ser colocados en el suelo, aún para residuos con bajos contenidos de nitrógeno; esto ocurriría a partir de fracciones solubles en agua del residuo y debido a un rápido lavado. Este período es seguido por otro de incremento o incambiado contenido de nitrógeno en el suelo, con ciertas fluctuaciones. Luego le seguiría un período de sostenidas pérdidas de nitrógeno que comenzaría luego de que se perdiera el 50-60% de la masa inicial del forraje. Para el residuo en superficie esta etapa ocurre más tardíamente que para el residuo enterrado. Mucho más tarde las pérdidas se originarían a partir del nitrógeno alojado en las fracciones más recalcitrantes. Douglas y Riechman (1992) definieron también el período de descomposición de residuos enterrados en dos fases.

Mineralización del carbono desde los residuos

En el ciclo del carbono, éste es fijado por las plantas bajo forma de CO_2 y transformado para formar elementos estructurales. Luego de la muerte de las plantas los residuos son atacados por la microflora que los convierte en sustancias carbonadas y células microbianas y fracciones orgánicas del suelo. El ciclo termina con la descomposición final de estas fracciones y liberación de CO_2 .

De acuerdo con Recous *et al.* (1995), Frey *et al.* (2000) citados por Gaillard *et al.* (2003) la matriz del suelo provee agua, nutrientes y microorganismos que colonizan y descomponen los residuos. Se ha sugerido por diversos autores que la biodegradación del carbono orgánico desde los residuos tiene lugar en diferentes sitios; en el residuo mismo y en la matriz del suelo. En base a este

concepto se han definido dos lugares en donde se produce una mayor actividad microbiana y una mayor acumulación de C y N, en los residuos mismos y en el suelo adyacente a ellos. Este sitio adyacente ha sido definido como la ditrusfera por Gupta y Ponge (1998). Gaillard *et al.* (2003), trabajando con residuos de trigo y centeno, observaron que la mayor parte de la mineralización del carbono tuvo lugar en la ditrusfera.

Los constituyentes más importantes de los residuos son: celulosa, lignina, hemicelulosa, fracciones solubles al agua, solubles al alcohol y éter (ceras, aceites y grasas) y proteínas. En estado maduro predominan en las plantas la celulosa, hemicelulosa y lignina, disminuyendo porcentualmente las otras fracciones. La descomposición de los materiales sirve a la microflora para obtener energía para el crecimiento y obtener carbono para nuevo material celular.

Varios factores afectan la mineralización de los materiales orgánicos agregados. La rapidez con que el sustrato es oxidado dependerá de su composición química y de las condiciones físicas y químicas del medio ambiente. En este caso inciden factores como temperatura, aporte de CO_2 , pH, minerales disponibles y la relación C:N del material. También influyen la edad de la planta, su contenido en lignina y el grado de desintegración del sustrato al momento del ataque. Respecto de la temperatura es posible observar que la degradación del material aumenta al aumentar las temperaturas, aunque por encima de $40\text{ }^\circ\text{C}$ ésta disminuye. La aireación estimula la mineralización del carbono, por lo cual con altos niveles de humedad la actividad disminuye, sobre todo por tener un efecto negativo en la aireación.

El contenido de nitrógeno en el residuo es otro factor determinante. Si el nitrógeno está en grandes cantidades rápidamente satisface las necesidades de los microorganismos y no son necesarias cantidades adicionales. Pero si el residuo es pobre en nitrógeno la descomposición será lenta, en este caso la manera de estimular la mineralización es mediante el agregado de nitrógeno.

En el caso de las leguminosas, su alto contenido de nitrógeno causa un estímulo de

la mineralización del residuo, con liberación de CO₂. La celulosa y hemicelulosa rápidamente son metabolizadas. Los sustratos ricos en proteínas son metabolizados con rapidez. A mayor madurez del residuo, la lignificación de sus tejidos es mayor y por tanto la velocidad de mineralización es menor.

A modo de análisis, si consideramos la incorporación de un residuo con alta relación C:N (mayor a 30:1) (Cuadro 6), la microflora que lleva a cabo la descomposición se desarrolla a expensas del nitrógeno y minerales disponibles. Todo el nitrógeno disponible será asimilado y fijado. Al morir la población primaria se descompone, y el nitrógeno liberado será asimilado por una flora secundaria que sintetiza más carbono celular y volatiliza más CO₂ haciendo bajar más la relación C:N hasta llegar al valor de equilibrio de 10:1. En este momento el nitrógeno orgánico mineralizado no es necesario para el crecimiento microbiano y permanece en forma mineral. Por otro lado, residuos con una relación C:N menor a 20:1 se mineralizan y descomponen velozmente en el suelo, liberando rápidamente los nutrientes.

Como resultado de la acción de la microflora sobre estructuras de composición variable como hojas, tallos y raíces, algunos componentes desaparecerán rápidamente mientras que otros lo hacen lentamente, por ser menos susceptibles a las enzimas microbianas. La fracción soluble en agua contiene los componentes menos resistentes de las plantas y es la primera en ser metabolizada. Si se observan los residuos se ven cambios en el color en un período de 30-60 días, así como una pérdida de volu-

Cuadro 6. Valores de la relación C:N para diferentes tipos de residuo

Residuo	Relación C:N
Leguminosas	20:01
Gramíneas jóvenes	20-40:1
Caña maíz	50:01:00
Residuo de monte	400:01:00

Fuente: Creamer, N. 2006.

men y una disminución de la resistencia de las fibras, por digestión de sus paredes.

Al incorporarse las sustancias carbonadas al suelo se produce una marcada e inmediata caída del O₂ y un incremento del CO₂ de la atmósfera del suelo por acción de los microorganismos.

LA MATERIA ORGÁNICA Y SU DINÁMICA EN EL SUELO

La materia orgánica mejora la estructura del suelo, incrementa la infiltración y la capacidad de almacenamiento, la capacidad de intercambio y permite una mayor eficiencia en el almacenamiento de nutrientes.

La materia orgánica se acumula lentamente en el suelo e incluye varias sustancias, provenientes del decaimiento de los residuos, hojas, tallos y raíces y microorganismos y abonos orgánicos. Todas estas sustancias contribuyen a la salud del suelo. Diferentes residuos aportan diferentes tipos de materias orgánicas al descomponerse, por eso es tan importante la elección del abono verde.

Pese a que no hay un acuerdo en la clasificación de los diferentes compuestos orgánicos, muchos científicos consideran dos fracciones, una activa y otra fracción llamada estable que es el equivalente al humus (Theng *et al.*, 1989), citado por Tirol-Padre *et al.* (2004).

La fracción activa representa la fracción más fácil de descomponer de la materia orgánica. Es rica en azúcares simples y proteínas y consiste principalmente en los residuos recientemente agregados, células microbianas y productos de desechos de los microorganismos.

Los microorganismos degradan rápidamente los compuestos azucarados, al igual que las proteínas. Al ser digeridos estos compuestos, muchos nutrientes son puestos a disposición y liberados al suelo.

Las proteínas son compuestos ricos en nitrógeno por lo que la fracción activa es responsable de la mayor liberación de nitrógeno así como de potasio, fósforo y otros nutrientes.

Luego que los microorganismos devoran estas fracciones, que son fácilmente digeridas, otro tipo de microorganismos se encargan de unidades más complejas, como celulosa y lignina, el material estructural de las plantas. La celulosa y la lignina se rompen más lentamente y contribuyen a la fracción estable de la materia orgánica. Residuos de plantas que son ricas en proteínas y azúcares (ej. leguminosas) dejan poca materia orgánica de largo plazo. Por su parte residuos fibrosos liberan materiales lentamente y promueven una materia orgánica más estable.

Gilsanz y Peralta (2010) evaluaron muestras provenientes de distintos tipos de suelo y situaciones productivas. En la evaluación se usó la técnica de Weil 2003. Se tomaron cuatro situaciones productivas que involucraban el uso de abonos verdes y agregado de estiércol de ave y que se asentaban en diferentes tipos de suelo. En cada predio hortícola se muestreó sobre suelo mejorado, imperturbado y el que recibía un manejo convencional (sin agregado de materia orgánica). A las muestras se les determinó el contenido de carbono orgánico total y carbono activo y se confeccionó el Índice del Manejo de Carbono (IMC) de esos suelos de acuerdo a la metodología empleada por Blair

(1995). En el Cuadro 7 se presentan los valores obtenidos en uno de esos predios.

Los datos permiten observar la mejora en los valores de C activo en aquellos tratamientos que recibieron abonos verdes durante tres años intercalados con cultivos comerciales hortícolas respecto a los valores obtenidos en el sistema convencional.

Una forma de incrementar los contenidos de materia orgánica en el suelo es en base a agregados de sustancias orgánicas, entre ellas los residuos de plantas, y más concretamente a través de los abonos verdes.

El suelo es una entidad viviente, transporta y transforma nutrientes, respira e interactúa con el ambiente. Un suelo enfermo pierde estas actividades funcionales.

Los abonos verdes mejoran el suelo en una variedad de formas, entre ellas promoviendo el agregado de materia orgánica en el largo plazo, proveen el hábitat y fuente de alimentación para los organismos del suelo.

Un requisito primario para el crecimiento heterotrófico microbiano es la presencia de sustratos de carbono. En la medida que los sistemas de laboreo son diferentes en la distribución de los residuos hay diferencias en la distribución de las poblaciones microbianas en el suelo. El laboreo conservacionista acumula grandes cantidades de residuos en la superficie del suelo lo que incrementa la cantidad de fuentes de carbono a nivel superficial. En profundidad el nivel de carbono

Cuadro 7. Valores de C orgánico, C activo e Índice de manejo de carbono según manejo de suelo

Tratamientos	C Orgánico %	C activo mg/kg Suelo	IMC
Convencional	0,7 b	213,3 d*	30,00
ABV 3 años	1,1 b	467,7 b	66,5
ABV 1 año	0,9 b	337,7 c	48
Imperturbado	2,9 a	704 a	
CV	22,3	2,7	
Pr>F	0,0004	0,0001	

*ABV: Suelo de Abono Verde.

* Letras diferentes dentro de cada columna indican significativa diferencia para (P≤0,05) usando LSD test.

puede ser similar en ambos sistemas: laboreo convencional y conservacionista.

El manejo de los residuos tiene influencia en la cantidad de nitrógeno mineralizable así como en la cantidad de nitrógeno que es retenida en la materia orgánica del suelo. Esto hace que el nitrógeno se encuentre almacenado en formas orgánicas y a disponibilidad del cultivo durante todo el ciclo de crecimiento. Los sistemas también se diferencian en cuanto al momento en que se da la mineralización.

Factores que afectan la acumulación de la materia orgánica

Las prácticas del laboreo, el manejo de los residuos y las condiciones climáticas afectan la descomposición del residuo, el ciclo del nitrógeno, su uso y su eficiencia.

El clima, el tipo de residuo, la calidad y prácticas de manejo afectan la inmovilización y la mineralización del nitrógeno. En condiciones de clima húmedo el nitrógeno potencialmente mineralizable es mayor que en condiciones secas. También es mayor en suelos bien drenados.

Los cambios en el laboreo afectan la actividad microbiana por lo que se ve afectado el ciclo del C y el N. El laboreo acelera la descomposición de la materia orgánica, por una mayor exposición de las partículas de suelo a la oxigenación, calentándolas y secándolas, lo que hace que sean quebradas y afinadas generando una mayor superficie de ataque expuesta a los microorganismos descomponedores. En estas condiciones rápidamente la materia orgánica es quemada y oxidada. El resultado es una pérdida de la materia orgánica y un empobrecimiento de la estructura del suelo.

Al incorporar los residuos dentro del suelo se los coloca en un ambiente más húmedo, favoreciendo una rápida descomposición de las fracciones orgánicas y liberación de nutrientes. Con la descomposición del residuo en superficie, el ciclo del nitrógeno se da en forma más lenta que cuando el residuo es incorporado. El grado en que el laboreo afecta la actividad microbiana depende

del momento y el manejo que se realice. Los factores involucrados son pH, humedad, temperatura, aireación. También influye el tipo de residuo, su tamaño, madurez y tipo de laboreo realizado (Wagger, 1989).

CICLO DEL NITRÓGENO EN EL SUELO

El nitrógeno existe en diferentes formas y es transformado en el suelo. El 99% del nitrógeno en el suelo está bajo la forma orgánica vinculado al carbono de la materia orgánica. En la mineralización del nitrógeno orgánico, parte de la reserva de complejos orgánicos del suelo son descompuestos y convertidos en iones inorgánicos empleados por las plantas: **amonio y nitratos**. La descomposición se realiza bajo la acción de los microorganismos. La mineralización se divide en dos procesos: **Amonificación**, con formación de amonio (NH_4) y **Nitrificación**, que tiene como productos nitritos (NO_2) y nitratos (NO_3) resultantes de la oxidación biológica del amoníaco (Figura 8).

Si el amonio no es limitante, la nitrificación tiende a ser alta en los sistemas de laboreo conservacionista debido a las mejores condiciones de humedad. Los suelos de sistemas conservacionistas, por su parte, son menos oxidativos respecto a los suelos en los que se realiza laboreo convencional, y por lo tanto se produce en ellos una menor mineralización.

La mineralización de nitrógeno orgánico y carbono orgánico están relacionados, pero el equilibrio puede ser modificado frente al agregado externo de residuos con distinta relación entre ambos elementos (ej. leguminosas y/o gramíneas).

Inmovilización del nitrógeno en el suelo

El nitrógeno inorgánico desaparece luego de la adición al suelo de residuos de cosechas pobres en nitrógeno, debido a la inmovilización provocada por la asimilación que realizan los microorganismos. El nitrógeno liberado es reasimilado por la formación de nuevas células. Si el contenido de nitrógeno del residuo es menor al requerimiento

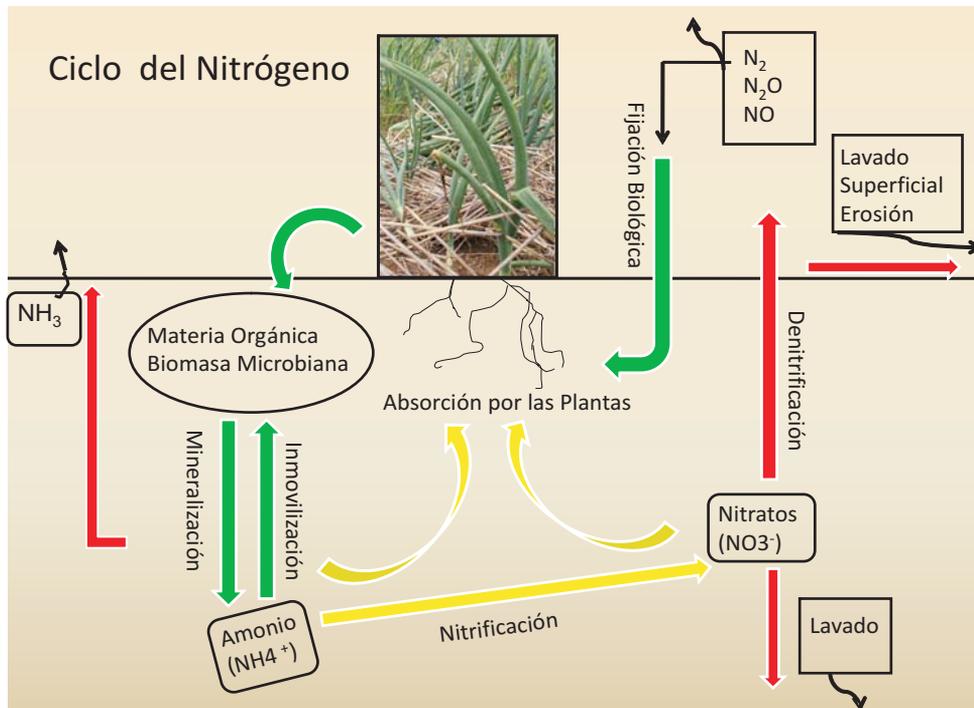


Figura 8. Esquema del ciclo del nitrógeno (adaptado de Cavigelli *et al.*, 1998).

nitrogenado de los microorganismos se genera un déficit de nitrógeno. De esta forma todo el NH_4 y NO_3 formado será inmovilizado por los microorganismos. Relaciones C:N más altas de 20-30 favorecen la inmovilización; las mismas se dan en residuos con valores de 40% de carbono y niveles de 1,3-1,8% de nitrógeno. La descomposición libera CO_2 lo que hace bajar la relación C:N de los residuos pobres en proteínas; cuando esa relación cae debajo del nivel crítico la mineralización excede a la inmovilización, apareciendo el nitrógeno en forma mineral.

Pérdidas de nitrógeno

Las pérdidas de nitrógeno en el suelo están básicamente ocasionadas por el lavado y por la desnitrificación, esto depende fundamentalmente de los factores ambientales en el suelo.

Lavado

Los iones nitratos cargados negativamente no son retenidos por los coloides del suelo y de esa manera son susceptibles a ser perdidos por lavado (Figura 8). Para que se pro-

duzcan pérdidas por lavado debe existir una cantidad importante de nitratos en el suelo, y agua suficiente para promover su lavado. A través del laboreo se crean condiciones ideales para el lavado de nitratos. El laboreo incrementa la mineralización aumentando el contenido de nitratos en el suelo. Si el suelo queda en barbecho puede lavarse nitrógeno residual del período anterior. Al aumentar la temperatura del suelo a la salida del invierno, la mineralización aumenta y existe alta concentración de nitratos a disposición que pueden ser lavados. Es importante considerar la tasa de mineralización y el momento en el que se produce de modo de disminuir esas pérdidas (John y Hoyt, 1999).

Denitrificación

La denitrificación puede iniciarse a partir del NO_2 o NO_3 y los productos finales se pierden en la atmósfera (N_2O , N_2) (Figura 8). Es posible encontrar bajo laboreo conservacionista pérdidas de este tipo, en especial en climas húmedos y suelos con mal drenaje. Esto podría confirmar la gran presencia de microorganismos denitrificadores que aparecen en los sistemas conservacionistas.

En el campo puede ocurrir en sitios específicos con situaciones anormales de excesos de humedad. La denitrificación necesita compuestos orgánicos rápidamente metabolizables, altos niveles de nitratos, pobre drenaje, pH y temperaturas adecuadas (25 °C). Se incrementa en suelos con períodos húmedos y de anaerobiosis parcial, sobre todo luego de aplicaciones de residuos orgánicos (Mengel y Kirkby, 1987).

Pérdidas por el tipo de laboreo

Los residuos incorporados se descomponen y liberan nutrientes más rápido que los que están sobre la superficie. El cambio es tratar de mantener el nitrógeno lo más ligado en formas estables y hacer coincidir su liberación con el momento de las máximas necesidades del cultivo comercial siguiente. La mejor manera de almacenar el nitrógeno es en la materia orgánica y en el residuo.

En sistemas de cero laboreo algo de NH_3 es perdido en la atmósfera, por otro lado a través de la descomposición del residuo, en especial si este es una leguminosa, el nitrógeno producido puede ser lavado, incluso cuando el abono verde es enterrado.

Las medidas a realizar para mitigar estas pérdidas (Clark, 2005) son:

- Una incorporación no muy profunda como lo hace el equipo de mínimo laboreo, lo mismo se puede hacer mediante una disqueada suave, previniendo la pérdida gaseosa.
- Se puede enterrar en diferido cuando los cultivos están prontos para tomar ese nitrógeno liberado.
- Mezclar leguminosas con gramíneas para retener más el nitrógeno.

Fijación simbiótica del nitrógeno

Las leguminosas tienen la capacidad de fijar N de origen atmosférico para ser usado por el cultivo siguiente. A través de la fijación simbiótica entre los Rhizobios (bacteria) y las leguminosas el N_2 atmosférico es convertido a formas orgánicas (estructuras nitrogenadas más complejas) que la leguminosa usa para su crecimiento y desarrollo.

Las gramíneas, si bien no tienen la capacidad de fijar N atmosférico, son muy eficientes en recobrar el N mineral de fertilizaciones anteriores.

La acumulación de biomasa y la acumulación de N depende de la estación de crecimiento, condiciones del suelo y ambientales. La variación en la acumulación de N también depende del suministro de agua, inoculación de leguminosas, rotaciones, laboreo, aplicación de fertilizantes N, fósforo (P) y pH del suelo.

Hay estimaciones referidas al aporte de N por las leguminosas; Chapman y Meyers (1987) estiman que a través de los nódulos el aporte sería de 12-33 kg de N/ha. A nivel de follaje (hojas) se mencionan contenidos de 35 kg/ha (Bergersen, 1989). En general los cálculos se hacen a través de la biomasa y la concentración de N en esta biomasa al momento de la muerte del abono verde.

¿Cuánto nitrógeno es fijado?

Diversos factores determinan cuanto del nitrógeno de la leguminosa proviene de la fijación simbiótica. Deben seguirse ciertas precauciones para lograr una efectiva fijación del nitrógeno: usar el inoculante correcto para la especie en cultivo (Cuadro 8), que el mismo esté en buenas condiciones y utilizar un aglutinante adecuado, de lo contrario la cantidad de nódulos será baja, así como la fijación de nitrógeno.

Los otros factores que influyen son la fertilidad del suelo, dónde es requerida la presencia de hierro, azufre y molibdeno para que la fijación se dé correctamente. Excesos de humedad o suelos extremadamente compactados se ven afectados por el escaso movimiento del aire en el suelo existiendo por lo tanto menos concentración de oxígeno. Suelos ácidos también afectan la capacidad de fijación ya que los microorganismos encargados de colonizar las raíces no viven en pH menores a 5. Por otro lado no todas las leguminosas tienen la misma capacidad de fijación del nitrógeno (ver Cuadro 24).

Las leguminosas incluso en las mejores condiciones raramente fijan más del 80% del nitrógeno que necesitan para su desarrollo y

Cuadro 8. Compatibilidades de cepas de Rhizobium y grupos de leguminosas

Nombre Común	Nombre Científico	*Grupo de Inoc. Cruzada
Rhizobium de Trébol	<i>R. Leguminosarum biovar Trifolii</i>	Tréboles (<i>Trifolium</i> spp)
Rhizobium de Guisantes	<i>R. Leguminosarum biovar Viceae</i>	Grupo de guisantes y lentejas (<i>Pisum</i> spp, <i>Vicia</i> spp, <i>Lens</i> spp)
Rhizobium de Frijoles	<i>Rhizobium leguminosarum biovar Phaseoli</i>	Grupo de Frijoles (<i>Phaseolus vulgaris</i> , <i>P. coccinius</i>)
Rhizobium de Alfalfa/medic	<i>R. meliloti</i>	Alfalfa (<i>Medicago</i> spp), Trébol dulce (<i>Melilotus</i> spp)
Rhizobium de Lotus	<i>R. loti</i>	Garbanzo (<i>Cicer arietum</i>) Lotus spp, Lupino spp
Rhizobium de Soja	<i>Bradyrhizobium japonicum</i> , <i>Sinorhizobium fredii</i> , <i>R. fredii</i>	Soya (<i>Glycine max</i>)
Noduladores de Tallo	<i>Azorhizobium caulinare</i> s	<i>Sesbiana rostrata</i>
Rhizobium Sesbiana	<i>Rhizobium</i> spp, <i>S. speciosa</i> , <i>S. aegyptica</i>	<i>Sesbiana grandiflora</i>
Grupo Caupi	<i>Bradyrhizobium</i> spp	<i>Vigna</i> spp, <i>Macroptilium</i> spp, <i>Arachis</i> spp, <i>Stylosantes</i> spp, <i>Centrosoma</i> spp, <i>Desmodium</i> spp, <i>Crotolaria</i> spp.

Fuente: Sarrantonio, M. 1994. *Una misma cepa sirve para inocular diversas especies.

generalmente están entre el 40-50%. El resto del nitrógeno lo toman del suelo como cualquier otra planta. En suelos con exceso o con alta fertilidad nitrogenada poco o nada de nitrógeno es fijado. Fertilizaciones de leguminosas por encima de 30 kg/ha de nitrógeno afectan la fijación simbiótica (Carámbula, 2005).

El nitrógeno fijado es trasladado a los tallos y hojas para formar proteínas, clorofila y otros compuestos nitrogenados. El nitrógeno no estará disponible hasta que los tejidos de la leguminosa se descompongan en el suelo. En lo que refiere al sistema radicular, bajo condiciones favorables de fijación alrededor del 15-30% del nitrógeno fijado por la planta se encuentra en las raíces, y es el que usa la planta para su desarrollo.

Las leguminosas anuales que logran florecer y madurar, transfieren mucho del nitrógeno contenido en la biomasa a las semillas y frutos. Una vez que la leguminosa cesa su crecimiento, cesa también la fijación nitrogenada. En las leguminosas anuales esto ocurre al momento de florecer y no hay ganancia adicional de nitrógeno en fijación

simbiótica. En general, para evitar esta situación, se recomienda matar la leguminosa temprano o a mitad de la floración.

¿Cuánto nitrógeno es liberado?

El manejo y factores del medio ambiente, luego de la muerte o corte de la leguminosa, afectan la cantidad y el momento de la liberación del nitrógeno en el suelo.

La población bacteriana descompondrá rápidamente la leguminosa anual reproduciéndose rápidamente en algo más de 7 días. El resultado es muy rápido con una gran liberación de nitrógeno bajo la forma de nitrato. Esta liberación es más rápida cuando el residuo es enterrado, así por ejemplo se han medido alrededor de 140 kg de nitrógeno/ha, a los 7-10 días luego de ser enterrada la *Vicia villosa*. Por su parte, abonos verdes con bajos niveles de proteína demoran más tiempo en liberar nitrógeno. Otros factores afectan la liberación del nitrógeno, por ejemplo el clima; los microorganismos encargados de la descomposición trabajan mejor a temperaturas templadas, la humedad del suelo tam-

bién tiene una fuerte influencia en el proceso.

Con el uso de gramíneas como abonos verdes se puede capturar del suelo y poner nitrógeno a disposición para el próximo cultivo, que de otra manera se lavaría. Si se usan leguminosas como abono verde pueden capturar de 75-100 kg de nitrógeno para el cultivo subsiguiente. A su vez, el abono verde puede competir con el cultivo inmovilizando el nitrógeno. Al incorporar el abono verde al suelo el nitrógeno será menos inmovilizado que cuando el residuo se encuentra en superficie. Al ser enterrados los residuos, el nitrógeno mineralizado alcanza un máximo del 80% en un período de cuatro semanas. Al permanecer sobre la superficie y haber sido matado por la acción del herbicida, el período de mineralización es de aproximadamente el doble de tiempo para alcanzar el 80%. Este proceso está fundamentalmente influenciado por la temperatura, humedad, volumen y estado del residuo (ejemplo tamaño) así como por su relación C:N.

Efecto sobre la dinámica de CO₂ del suelo

Las pérdidas de CO₂ desde el suelo pueden originarse a partir de: 1) la materia orgánica del suelo, 2) residuos muertos ubicados sobre y dentro del suelo y 3) sustancias orgánicas liberadas por raíces vivas (exudados radiculares).

Dentro de los agentes involucrados en la producción de CO₂ en el suelo se encuentran, la descomposición microbiana, las plantas y la micro y macrofauna. El CO₂ es almacenado en los poros del suelo y liberado a la atmósfera a través del proceso de difusión basado en la diferencia de gradientes, Rolston (1986) citado por Alvaro-Fuentes *et al.* (2007).

La emisión de CO₂ es afectada por el laboreo del suelo así como por el tipo de cultivo realizado, la relación C:N, contenido de lignina y de polifenoles. Esto afecta la actividad microbiana y los procesos de descomposición.

De acuerdo con Alvaro-Fuentes *et al.* (2007), el incremento en la concentración de

CO₂ en parte es debida al aumento en la respiración microbiana, que está condicionada por la temperatura y la humedad existente en el suelo y por la respiración de las raíces. Por otro lado, se observa que luego del laboreo del suelo se registran elevados niveles de CO₂ debido en parte a la liberación del CO₂ atrapado en los poros del suelo. El laboreo también afecta, incrementando la mineralización de la materia orgánica, y por lo tanto la emisión de CO₂.

Alvaro-Fuentes *et al.* (2007) estudiaron el efecto del laboreo en el corto plazo observando una menor emisión de CO₂ de los tratamientos conservacionistas (laboreo reducido y cero laboreo). Lo mismo fue observado por Lascala *et al.* (2005) sobre suelos tropicales de Brasil.

Por otro lado Franzleubbers *et al.* (1995), encontraron que en un período mayor de tiempo se observaba una mayor emisión de CO₂ total desde los tratamientos conservacionistas respecto a las tratamientos convencionales. Este ensayo evaluó por varios años la evolución de CO₂ tanto en períodos de barbecho como de cultivo.

En otro estudio realizado por Runion *et al.* (2007) se evaluó el cero laboreo, con la utilización de abonos verdes y dos niveles de CO₂, el ambiental (350 ppm) y el elevado (725 ppm). Observó que el CO₂ emitido del suelo luego de dos años de ciclo de cultivo fue incrementado tanto por el CO₂ elevado artificialmente como por el laboreo conservacionista. Expresa además que pese a los altos niveles de emisión de CO₂ a la atmósfera, los sistemas conservacionistas presentan un gran secuestro de carbono colaborando con la disminución de la concentración de CO₂ atmosférico.

Pese a lo contradictorio que parece ser este comentario, la cantidad de C total fijado por los cultivos en los sistemas conservacionistas excede la cantidad emitida de CO₂ a la atmósfera.

Holland y Colleman (1987), citado por Johnson, *et al.* (1999), usando C¹⁴, observaron que una gran cantidad del mismo permanece en los residuos dejados en superficie, por una acción más lenta y a más largo plazo de la actividad microbiana, al contrario de

lo que sucedía al enterrar los residuos, en los que carbono era extinguido rápidamente.

Los análisis de respiración del suelo son utilizados frecuentemente como un indicador de la actividad biológica del suelo. Gilsanz (2003) midiendo CO₂ emitido del suelo, en un ensayo de secuencias de cultivos y mínimo laboreo en INIA Las Brujas, observó que en las incubaciones realizadas por 15 días en el laboratorio, los tratamientos conservacionistas presentaron una mayor liberación de CO₂, y por lo tanto una mayor actividad biológica en el suelo con el abono verde (Figura 9).

Lo mismo fue observado por Arboleya y Gilsanz (2007) sobre parcelas provenientes de barbecho y de aquellas de abono verde de sorgo, en donde las parcelas con residuos de abonos verdes presentaron mayor liberación de CO₂ (Figura 10). Esto reafirma la importancia del uso de los abonos verdes en sistemas sustentables intensivos, ya que además de las ventajas de la protección del suelo contra la erosión y sobre la materia

orgánica del suelo y las propiedades físicas del mismo, también tiene un efecto favorable en la presencia y actividad de los microorganismos del suelo.

ASPECTOS QUÍMICOS DE LA MEJORA DEL SUELO POR EL USO DE ABONOS VERDES

Está extendido un preconcepción de que bajo los sistemas de mínimo laboreo existe una menor disponibilidad de nutrientes respecto al sistema convencional, lo que lleva a aumentar en forma exagerada las fertilizaciones en estos sistemas, Hoyt *et al.* (2002). De acuerdo con estos autores la diferencia está dada cuando se opta por la colocación de los residuos y el fertilizante en la superficie, en vez de ser incorporados en el perfil. Cuando quedan en superficie, los residuos se descomponen más lentamente, liberando los nutrientes a lo largo de todo el ciclo productivo.

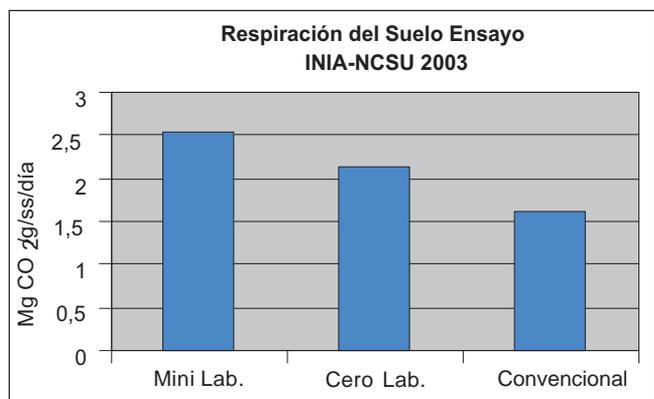
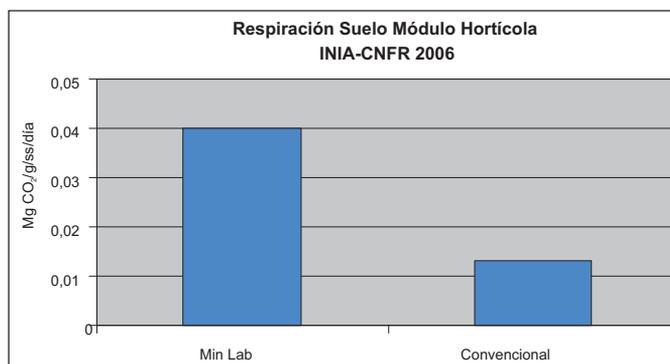


Figura 9. Efecto del laboreo en la respiración del suelo INIA-NCSU 2003.

Figura 10. Efecto del laboreo en la respiración del suelo Módulo Hortícola 2006.



De acuerdo a Wright *et al.* (2007), el laboreo afecta la distribución de los macro y micronutrientes en el perfil. Estos autores encontraron que en las parcelas de laboreo reducido se alteró la distribución de nutrientes disponibles para las plantas respecto a la encontrada en las parcelas convencionales. Las principales diferencias en estratificación se dieron con el fósforo, el potasio y el zinc. En este estudio el laboreo reducido aumentó la disponibilidad en superficie de los nitratos, fósforo, potasio y zinc. También se pudo observar que la fertilización nitrogenada tenía un efecto en la remoción de nutrientes a través del incremento en los rendimientos de los cultivos. La aplicación de fertilizantes en superficie, sin mezclar, lleva a la ocurrencia del fenómeno de estratificación de estos nutrientes, con aumentos de su concentración en superficie disminuyendo en profundidad. Este efecto puede ser disminuido en función de la forma y aplicación de estos fertilizantes y la forma de realizar el mínimo laboreo. También este aumento de la concentración de nutrientes es debido a la acumulación de materia orgánica y residuos en superficie y su posterior mineralización.

Por otro lado, el incremento de la humedad del suelo, producto de la presencia de residuo en superficie posibilita que exista una mayor disponibilidad por parte de las raíces de aquellos nutrientes que se mueven por difusión en el suelo.

El riesgo presente es la posibilidad de lavado de algunos de los minerales, si la porosidad del suelo es muy elevada y si se suceden grandes precipitaciones al momento de mayor disponibilidad de los nutrientes.

El uso de abonos verdes y de rotaciones de cultivos altera la distribución de los nutrientes en el perfil sobre todo si las raíces de los distintos cultivos y abonos verdes en la rotación tienen diferente capacidad de exploración y absorción de nutrientes en el perfil del suelo. Mediante la selección de los abonos verdes a usar se puede incidir en la disponibilidad de nutrientes para el siguiente cultivo comercial.

Fósforo (P)

La disponibilidad de fósforo mejora con un contenido de humedad favorable en el suelo. El contenido de materia orgánica en cercanías de la superficie también condiciona una mayor disponibilidad de fósforo de formas orgánicas e inorgánicas para las plantas y minimiza la fijación del fósforo por parte del suelo. Otro factor a considerar es el pH en el suelo. Procesos de acidificación por elevada concentración de nutrientes pueden afectar la disponibilidad del fósforo para las plantas al presentarse en formas poco solubles. Esto se puede mejorar por el encalado.

Calcio (Ca)

Condiciones de humedad en el suelo mejoraron la potencial absorción del calcio por parte de las plantas. En condiciones de sequía la mayor concentración de Ca en el suelo se da en situaciones de mínimo laboreo ya que el proceso de evaporación lo moviliza cercano a la superficie del suelo. Con el laboreo convencional el Ca en profundidad es pasible de ser lavado. El otro factor es el pH ya que el aumento de la acidez motiva la sustitución de Ca por H quedando el Ca en condiciones de ser lavado. Esta situación puede ser sobrellevada con el uso de encalado.

Potasio (K)

El contenido de potasio no parece ser afectado de manera importante por el mínimo laboreo, ya que se han encontrado niveles similares de este nutriente tanto en el sistema convencional como en el de mínimo laboreo. El potasio al ser un catión monovalente está más sujeto al suelo, por lo que está menos expuesto a ser lavado. En suelos donde se aplica este nutriente y en donde se practica el mínimo laboreo es posible encontrar fenómenos de estratificación, encontrándose mayores cantidades de potasio intercambiable en superficie.

Magnesio (Mg)

Excepto en suelos arenosos, en la mayoría de los suelos existe un suministro natural de este nutriente. Bajo los sistemas conservacionistas y bajo determinadas circunstancias, al igual que el Ca, el Mg potencialmente lavable se incrementa a través de uso de los fertilizantes amoniacales. En este caso se da la sustitución del Mg por el H a medida que el suelo se acidifica por la nitrificación, y se promueve cierta deficiencia de Mg. También puede suceder esta deficiencia inducida al observarse niveles altos de potasio (K) por competencia por sitios de intercambio.

pH

Varios estudios indican un cambio en el valor del pH en sistemas de producción conservacionista, esto se ha constatado debido al fenómeno de estratificación y al diferencial contenido de humedad en el suelo. Con el agregado del fertilizante sin mezclar en superficie se genera un aumento de su concentración, lo que conduce a un fenómeno de acidificación. Esto sucede en particular con fertilizantes de origen amoniacal, ya que en el proceso de oxidación son liberados al medio cationes hidrógeno (H) incrementando la acidez en forma directa a la cantidad de fertilizante aplicado. Esto se ve poco en la producción convencional por el efecto del mezclado y una mejor distribución de fertilizante aplicado.

El mayor contenido de humedad puede conducir a procesos de acidificación por un mayor lavado de cationes, lo que provoca una disminución en el pH, al ser estos reemplazados por H. En condiciones secas sucede lo contrario, los cationes son movidos hacia la superficie por la actividad radicular. Estos efectos se solucionan mediante la utilización de la práctica del encalado.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Es posible esperar un incremento de la capacidad de intercambio catiónico y de la saturación en bases bajo los sistemas

conservacionistas, debido al incremento de la materia orgánica, por lo menos en superficie.

Reducción de las pérdidas y reciclado de nutrientes

Además de reducir la erosión superficial y mejorar la estructura del suelo, los abonos verdes ayudan a reciclar los nutrientes, reteniéndolos y evitando su pérdida. Excesivas cantidades de nutrientes en el suelo pueden ir a contaminar fuentes de agua superficiales o napas. El nitrógeno, bajo la forma de nitrato, es soluble en agua y por lo tanto potencialmente lavable. Cada vez que llueve, si el cultivo no extrae toda la fertilización agregada, o producida por una elevada descomposición de la materia orgánica y/o de abonos verdes, incluso a bajas temperaturas, los nitratos se mueven en el perfil del suelo.

Se retiene mayor cantidad de nitrógeno y carbono en los sistemas conservacionistas debido a que el proceso de mineralización es más lento. En los sistemas convencionales se produce mayor cantidad de nitratos que en los sistemas conservacionistas.

Los abonos verdes reducen el lavado de los nitratos de dos maneras:

1- El abono verde en crecimiento utiliza nitratos para su propio crecimiento.

2- Los abonos verdes al crecer reducen la cantidad de agua en el perfil que es la que favorece el lavado de los nitratos.

Los mejores abonos verdes para esto son aquellos que tienen un sistema radicular extendido que se instalan luego de los cultivos comerciales. En general, las gramíneas cumplen eficientemente con el reciclaje de nutrientes, mientras que las leguminosas no son tan adecuadas para este propósito.

En un trabajo realizado por Gilsanz (1992), con sistemas de producción de hortalizas, se encontró que aquellos sistemas que incluyeron abonos verdes, luego de su primer ciclo, presentaron menores valores de NO_3 en el suelo. Por otra parte, luego del cultivo de papa en ese ensayo y debido a una muerte prematura de éste, se encontró que aquellos tratamientos que instalaron seguidamente sorgo como abono verde presentaron me-

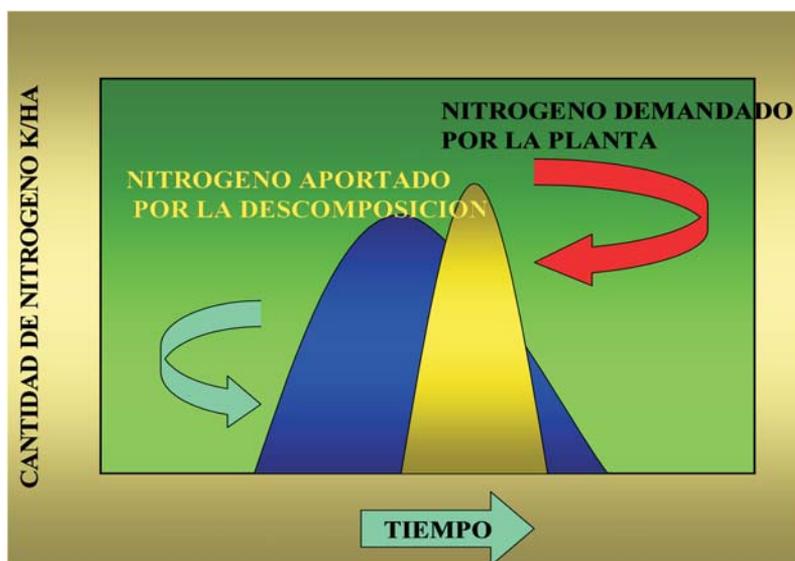


Figura 11. Esquema de ajuste de la demanda de N por la planta y el N aportado por los residuos de abonos verdes.

nor cantidad de nitratos que los que no hicieron, o que en lugar de sorgo instalaron una leguminosa (chaucha). La leguminosa resultó poco eficiente para remover nitratos del suelo.

Cuando el N mineralizado excede los requerimientos del cultivo, el mismo puede estar sujeto a procesos de lavado, por lo que es importante ajustar los momentos de la mineralización con el requerimiento del cultivo comercial siguiente (Figura 11).

Los abonos verdes a través de su desarrollo y exploración radicular pueden atrapar N y P residual dejado por las fertilizaciones de los cultivos comerciales anteriores y que de otra manera podrían ser lavados o lixiviados. Las gramíneas son más eficientes que las leguminosas en la captación de nutrientes remanentes. El orden de efectividad de los abonos verdes para recobrar nutrientes es:

Gramíneas > Gramíneas + Leguminosas
> Leguminosas

Determinaciones en el nivel de nitratos en parcelas de ensayo con secuencias de cultivo y abonos verdes (Gilsanz *et al.*, 1994, Gilsanz *et al.*, 2000) mostraron que las parcelas con abonos verdes presentaban menores niveles de nitratos en el perfil respecto a los tratamientos en barbechos (Figuras 12 y 13).

Determinaciones en el nivel de nitratos (0-30 cm) en parcelas de ensayo (Gilsanz *et al.*, 2003) con abonos verdes (avena) mostraron menores niveles de nitratos en el perfil en tratamientos con mínimo y cero laboreo, al momento de la fertilización del cultivo de ajo (Cuadro 9). Por otro lado, los abonos verdes son eficientes en remover nutrientes desde los niveles inferiores del suelo hacia la superficie en base a su extendido sistema radicular y al eficiente uso del agua del suelo.

ASPECTOS BIOLÓGICOS DE LA MEJORA DEL SUELO POR EL USO DE ABONOS VERDES

Control de malezas

Con el uso de los abonos verdes es posible reducir el contenido de malezas en el cultivo comercial subsiguiente. Esto es realizado a través de un control: 1- competencia, 2- físico, 3- mecánico, 4- alelopatía. El grado de control alcanzado dependerá del volumen del banco de semillas de malezas, las especies de malezas, las especies de abonos verdes utilizados, su manejo y las condiciones climáticas.

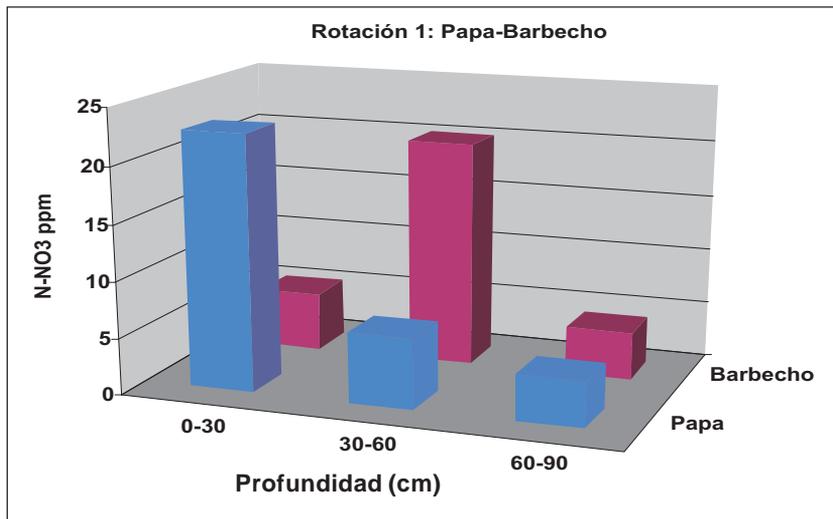


Figura 12. Cantidad de Nitratos en ppm a tres profundidades en el suelo ensayo NC 92. Secuencia papa-barbecho.

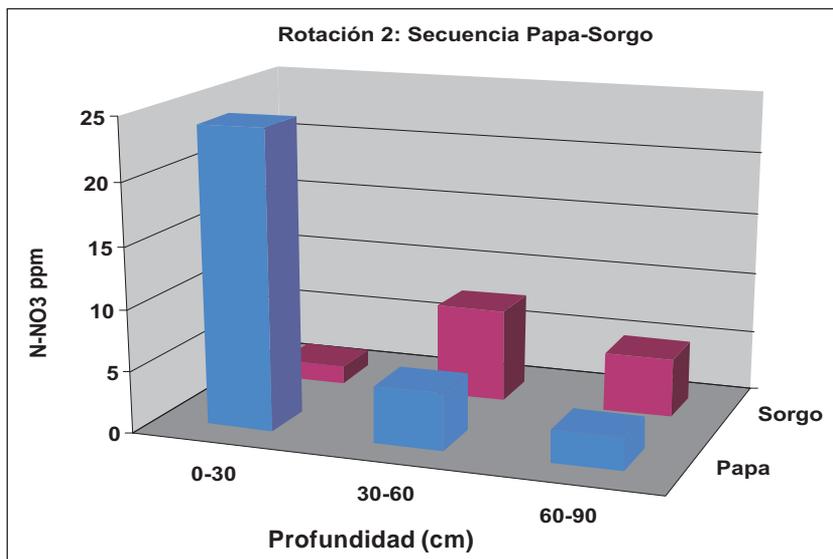


Figura 13. Cantidad de Nitratos en ppm a tres profundidades en el suelo ensayo NC 92. Secuencia papa-sorgo.

Cuadro 9. Efecto del laboreo en el contenido de N-NO₃, año 2000 INIA Las Brujas

Tratamiento	Nitratos ppm
1 Monocultivo	8 cb*
2 Hortícola Múltiple	5,8 cbd
3 Abono Verde Enterrado	9,1 b
4 Abono Orgánico	16,1 a
5 Barbecho	4 cd
6 Mínimo Laboreo	3,7 cd
7 Cero Laboreo	2,8 d
CV	49
Pr>F	0,0006

Fuente: Gilsanz *et al.*, 2002.

* Letras diferentes dentro de cada columna indican significativa diferencia para (P ≤ 0,05) usando LSD test.

El mínimo laboreo (no perturbación del suelo) combinado con la presencia de residuos sobre la superficie del suelo reducen la emergencia de las malezas y su establecimiento. Durante la etapa de crecimiento de los abonos verdes estos compiten con las malezas por luz, agua y nutrientes minimizando su desarrollo y propagación. La cantidad mínima de residuo sobre el suelo que permite una reducción en la emergencia de las malezas es estimado en 4-6 ton/ha de materia seca. Con esta cantidad la penetración de la luz es inhibida limitando la germinación de las semillas de maleza (efecto físico). El desarrollo de cultivos densos de abonos verdes logra producir un efecto de sombreado. La presencia de residuos de abonos verdes dejados en superficie modifica condiciones de crecimiento de las malezas, temperatura y humedad a nivel del suelo. Por otro lado, la presencia de residuos sobre el suelo constituye una barrera física que limita mecánicamente la emergencia de malezas (Treadwell, *et al.*, 2012).

Monks, D. (2000) citando a Putman encontró que los abonos verdes controlaron *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album*, *Portulaca oleracea*. Varios autores han constatado un cambio en la composición de las especies de las malezas presentes en las chacras. Con el uso de abonos verdes, las especies de malezas que empiezan a predominar son las perennes y desaparecen las anuales (Monks, 2000).

El efecto alelopático de los abonos verdes juega un rol en el control de malezas. «Alelopatía es la influencia que ejerce una planta o cultivo sobre otras a través de la liberación de sustancias químicas» (Minorsky, 2002).

El sorgo es capaz de competir con las malezas exitosamente y a través de la producción de sustancias alelopáticas. Lo mismo el centeno, cuando es dejado en superficie, libera sustancias que inhiben el crecimiento de semillas y plántulas de malezas.

Los mecanismos de liberación de sustancias químicas con actividad alelopática por parte de las plantas son: lavado, exudación radicular, volatilización y descomposición de los residuos. Las sustancias involu-

cradas mayoritariamente son compuestos fenólicos, flavonoides y terpenoides.

Luego de la muerte de los abonos verdes, ya sea por medios mecánicos o químicos, se recomienda que estos cubran el suelo de la manera más uniforme y que la superficie del suelo sea lo menos perturbada para lograr un buen efecto en el control de malezas. Si bien este efecto en el control no es duradero en el largo plazo ayuda a disminuir las aplicaciones de herbicidas en etapas iniciales del cultivo comercial. Es por lo tanto importante contar con herbicidas compatibles con el cultivo comercial que logren controlar eventuales infestaciones de malezas, así como brotaciones o emergencias del abono verde. Desde el 2007, el Programa de Producción y Sustentabilidad Ambiental, ha evaluado diversas especies de abonos verdes en INIA Las Brujas en su capacidad en el control de malezas.

En el Cuadro 10 se presentan los datos de enmalezamiento y peso de malezas obtenido en las parcelas de diferentes abonos verdes en la temporada del invierno 2007. Los abonos verdes fueron cortados el 7/3/07 y luego se les aplicó glifosato para evitar su rebrote. La evaluación sobre el contenido de malezas fue realizada el 18/6/07. A través de los datos se puede apreciar una diferente respuesta de acuerdo al tipo de abono verde. También se aprecia una notable diferencia con respecto al suelo sin abono verde. A nivel de laboratorio se establecieron bioensayos en donde se estableció un Índice o Tasa de reducción en la inhibición del largo de radícula de semillas de lechuga utilizadas como bio-tester de los extractos de girasol, a lo largo de diez semanas, a partir de la muerte del residuo de girasol (Gilsanz y Aranda, 2010).

En la Figura 14 es posible observar que el extracto de girasol presenta importantes efectos inhibitorios en el desarrollo de la radícula de las semillas de lechuga a lo largo del período de evaluación. Esta capacidad se presentó desde el inicio, tanto en restos verdes, como luego a través del proceso de mineralización en el campo.

Pequeñas semillas de cultivos comerciales pueden verse afectadas por el efecto

Cuadro 10. Efectos de los abonos verdes en el control de malezas, 2007, INIA Las Brujas

Tipo de Residuo	Peso Seco g/malezas/m ² a 70 °C 24 h	Número de malezas/m ²
Ab. V. Residuo Girasol	9,2	364
Ab. V. Residuo Sorgo	3,0	72
Ab V. Residuo Mez. Sorgo + Girasol	0,3	32
Testigo (Suelo sin Residuo abono verde)	94,4	816

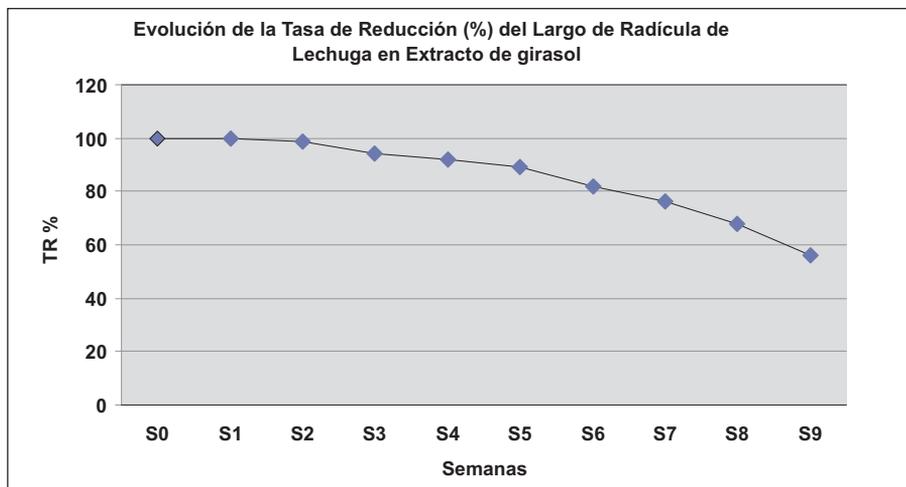


Figura 14. Evolución de la tasa de reducción en el largo de la radícula de semilla de lechuga.

alelopático al sembrarse en forma directa sobre residuos de abonos verdes. La información extraída del trabajo mencionado anteriormente nos ayuda a determinar no solo el período de tiempo en que los residuos de abonos verdes potencialmente inhiben la germinación de las semillas de malezas, sino que permite conocer en que momento se debe sembrar semillas de cultivo hortícola para no verse afectadas.

Una forma para limitar el efecto alelopático sobre el cultivo hortícola es incorporar el residuo en la zona de siembra con anterioridad a la siembra del cultivo hortícola. Es importante de todas formas la selección de abonos verdes que presenten alguna actividad alelopática.

APORTE EN EL CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES DE LOS ABONOS VERDES

La reducción del laboreo y el uso de abonos verdes contribuyen a reducir infestaciones por insectos y enfermedades. Los abonos verdes que colaboran en el control de enfermedades ayudan a usar menos pesticidas y la construcción de un sistema de producción ambientalmente sustentable.

Plagas (Insectos y Nematodos)

Insectos

Los abonos verdes atraen insectos benéficos (predadores, parasitoides y parásitos),

que pueden reducir la incidencia de insectos plaga. En sistemas convencionales los tratamientos químicos que matan al insecto plaga también matan al enemigo natural.

Los predadores matan y comen otros insectos. Los parasitoides, en tanto, desarrollan su estado larval dentro del insecto plaga y éste muere cuando el estado larval del invasor termina. Los predadores generalistas que son capaces de alimentarse de muchas especies son importantes en el control biológico. En el período en que las plagas escasean, estos predadores se alimentan de néctar y polen y de presas alternativas propiciadas por el uso de abonos verdes. Esto determina que el uso de abonos verdes mejora el control biológico ya que proveen un hábitat continuo (oviposición en/y entre los residuos) para mantener las poblaciones benéficas y el acceso a comida.

Los insectos plaga que completan un ciclo de vida por estación de cultivo son más fáciles de controlar que aquellos multicíclicos. Especies con ciclos múltiples como los pulgones pueden reestablecerse nuevamente aunque se haya controlado una generación (Kennedy y Storer, 2000).

Otro aspecto en el control es que los residuos de los abonos verdes constituyen una barrera física que previene la ubicación del huésped por parte de los insectos plaga y eso limita su migración.

El principal objetivo es maximizar la interacción natural entre el predator y el insecto plaga, a lo que contribuyen los abonos verdes convenientemente seleccionados, mejorando el ambiente para los insectos benéficos.

Nematodos

Los nematodos interactúan directa e indirectamente con los cultivos comerciales. Algunas especies se alimentan de raíces debilitando las plantas, otras introducen enfermedades a través de las heridas. La mayoría de los nematodos no son parásitos de las plantas pero se alimentan e interaccionan con muchos microorganismos patógenos del suelo incluyendo hongos, bacterias y protozoarios. El daño de los nematodos parásitos de las plantas se da como resultado

de una ruptura del tejido de la planta, esas lesiones retardan el crecimiento de las células, limitando el crecimiento y se produce un excesivo crecimiento radicular respecto al del follaje, con desarrollo de agallas en las raíces.

En sistemas de cultivo convencionales, los nematodos parásitos encuentran gran cantidad de alimento y poca resistencia ambiental, lo que lleva a la expansión de las especies parásitas para las plantas.

Sistemas de cultivos que favorecen el incremento de la diversidad biológica en el tiempo ayudan a prevenir los problemas de nematodos. Una vez que se establecen las especies de nematodos es muy difícil eliminarlos. Se debe tratar de usar abonos verdes que no sean susceptibles al ataque de nematodos, en particular si ya existe el problema.

Es posible ir reduciendo paulatinamente la población de nematodos e ir limitando su impacto en el rendimiento usando abonos verdes específicos para tal fin.

La estrategia a utilizar involucra:

- Manejo de la estructura del suelo
- Rotación de cultivos incluyendo los abonos verdes
- Usar las crucíferas u otras especies con capacidad nematocida

A su vez los abonos verdes mejoran el estado general de los cultivos minimizando de esa manera el daño de los nematodos. Dentro de los cultivos con actividad nematocida están las crucíferas y el sorgo Sudan (*Sorghum bicolor* x *Sorghum bicolor* var. *sudanense*). Se debe hacer coincidir la especie de abono verde con la particular especie de nematodo plaga. Por ejemplo, el residuo de centeno es eficiente en controlar root-knot nematodo (Perry *et al.*, 2009).

Enfermedades

Las enfermedades pueden perdurar varios años en las chacras pero la inclusión de abonos verdes entre los ciclos de producción de los cultivos comerciales ayuda a cortar sus ciclos de propagación y bajar su incidencia.

Indirectamente los abonos verdes aumentan la biodiversidad microbiana en el suelo

incrementando el contenido de materia orgánica y la actividad biológica. De esta manera se incrementan las interacciones predatoras por parte de los microorganismos benéficos.

Zhou y Everts (2007), constataron la reducción de la incidencia de *Fusarium oxysporium f. sp niveum* en cultivo de sandía sobre residuos de *Vicia villosa*.

Patógenos del suelo como *Rhizoctonia*, *Pyttium*, *Sclerotium rolfsii* infectan plantas y limitan su crecimiento por afectar sus raíces y tallos, pero en los sistemas de mínimo laboreo con el uso de abonos verdes se logra minimizar el daño de estos patógenos, reduciendo el nivel infectivo en los suelos.

En un ensayo realizado con la Universidad del Estado de Carolina del Norte se relevó la presencia de colonias de *Sclerotium rolfsii* Sacc. En la Figura 15 se presenta la información obtenida durante el período 2000-2002 cuando se realizaron 4 muestreos de suelo (M1.M4), donde se evaluó el número de colonias de *Sclerotium* pregerminadas de acuerdo al método de Backman (1980).

Los tratamientos de mínimo laboreo (T6), cero laboreo (T7) y enmienda orgánica (abono de gallina, (T4) tenían menor número de colonias de *Sclerotium* por 500 gramos de suelo comparados con laboreo continuo (T1) sistema vegetal múltiple (T2). El sistema Barbecho (T5) incrementó el número de colonias luego del cultivo de boniato en el otoño de 2002. La respuesta diferencial de los tratamientos fue atribuida a la presencia de un efecto inhibitorio en los sistemas con abo-

nos verdes y abono de gallina, posiblemente debida a un efecto antagonista por parte de microorganismos del suelo (Figura 15).

En algún caso los abonos verdes pueden pertenecer a la misma familia que el cultivo hortícola que es huésped de una enfermedad, para prevenir esto se debe seleccionar adecuadamente el abono verde y aumentar la diversidad de éstos en el predio.

Los abonos verdes son una alternativa a la fumigación química del suelo. Mediante su uso se establece una biofumigación. Esta es definida como el enterrado de residuos en el suelo para controlar insectos, nematodos y malezas. Los residuos enterrados liberan exudados o precursores intermediarios de sustancias con capacidad fumigante. Especies de la familia de las brasicas al ser enterradas liberan compuestos que luego son transformados por microorganismos del suelo en sustancias que son efectivas en el control de nematodos y enfermedades del suelo. Efectos sinérgicos se logran con el uso de más de una especie de abono verde.

COMO MANEJAR LOS ABONOS VERDES ¿ABONOS VERDES ENTERRADOS O DEJADOS EN SUPERFICIE?

Existen dos maneras principales de manejar los abonos verdes a nivel de campo y es importante conocer las ventajas y desventajas de cada una de las opciones.

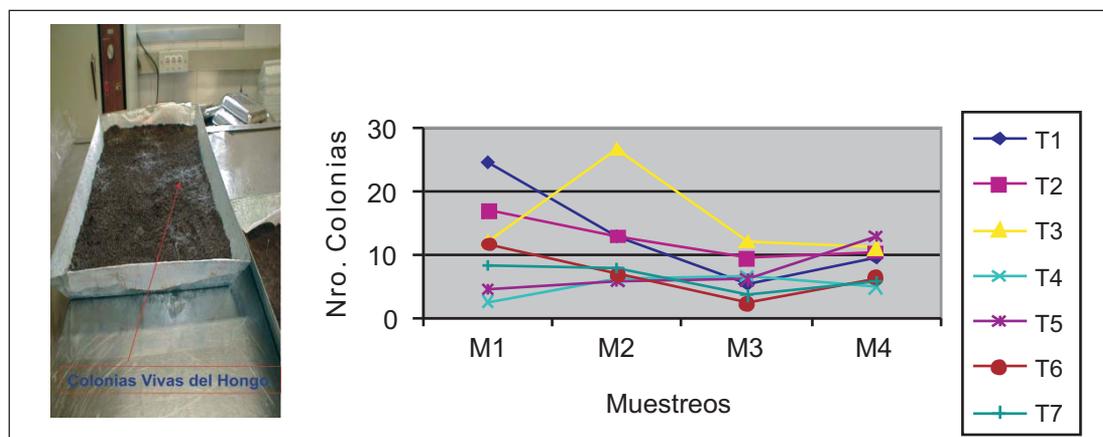


Figura 15. Número de colonias vivas/500 g de suelo de *Sclerotium rolfsii* Sacc.

Residuos enterrados

Es la práctica más generalizada a nivel productivo por la facilidad en la operativa y porque no requiere de una planificación previa. En general se instala el abono verde en plano, a la madurez se pica y se incorpora en el suelo para formar los camellones o canteros. Es una opción válida también en predios que combinan pastoreo, siempre y cuando éste sea liviano y en momentos adecuados. Abusando de esta práctica se pueden afectar seriamente las propiedades físicas para el cultivo, además de reducir el volumen de residuo remanente. Otro inconveniente que presenta es que el momento de picar y realizar los canteros y camellones coincide con épocas poco propicias para mover suelo. Además con esta práctica se producen los siguientes efectos:

- Rápida mineralización de la materia orgánica.
- Acelera desaparición de residuos.
- Facilidad para el agregado de enmiendas nutricionales.
- Menor control de las malezas.
- Mayor cantidad de nutrientes factibles de ser lavados.
- Menor control de la erosión.
- Mayor actividad biológica inmediata.

Residuos sobre superficie

La práctica de dejar los residuos sobre la superficie del suelo se vincula más con el laboreo reducido y otras técnicas de conservación de suelo. La práctica de manejar los residuos en superficie es relativamente nueva a nivel de los productores hortícolas, aunque a nivel de cultivos extensivos y en fruticultura ya está integrada a los sistemas productivos. En este caso se propone la realización de los canteros y camellones con la distancia adecuada para el cultivo comercial subsiguiente, se instala el abono verde sobre éstos y a la madurez se procede a matar el cultivo que oficia como abono verde, ya sea en forma física o química, para obtener el residuo. Seguidamente se debe realizar un mínimo laboreo sobre la zona que va a recibir la semilla o plantín del cultivo comer-

cial. La mayor «desventaja» ocurre en la planificación previa necesaria para manejar el residuo con varios meses de anticipación. Para ingresar a esta práctica, es necesario tener un adecuado asesoramiento y un período de prueba a menor escala antes de extenderla a todo el predio. Una gran ventaja, remarcada por aquellos productores que la han incorporado, es el hecho de poder realizar los canteros o camellones así como las fertilizaciones de base con suficiente antelación y en los momentos más adecuados para mover el suelo. En este sistema se mueve el suelo prácticamente una vez al año. Además con esta práctica se logran los siguientes efectos:

- Mínima degradación de la materia orgánica.
- Mayor agregación al descomponerse la materia orgánica *in situ*.
- Conservación de la humedad y moderada temperatura del suelo.
- Ahorro de horas de maquinaria y combustible.
- Lenta mineralización de los residuos.
- Menor disposición inmediata de los nutrientes.
- Menor lavado de nutrientes.
- Agregado de enmiendas nutricionales principalmente a la instalación de los abonos verdes.
- Actividad biológica más lenta.

Cualquiera sea la forma que se elija, como premisa hay que considerar que el **suelo que no está bajo cultivo necesariamente debe mantenerse cubierto**.

ABONOS VERDES

De acuerdo a Monegat, 1991, las características generales que deben reunir los abonos verdes son:

- Rápido establecimiento, rápido crecimiento y buena cobertura del suelo.
- Gran cantidad de biomasa acumulada.
- Fácil de matar o quemar.
- Baja descomposición del residuo.

- Actividad alelopática de sus raíces y follaje.
- Producción de gran volumen de biomasa.

Las principales especies usadas como abonos verdes corresponden a las familias de gramíneas, leguminosas y crucíferas. Cada una de estas familias guarda características distintivas.

Las Leguminosas

Las leguminosas como abonos verdes tienen como principal característica la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico (FBN), que pueda ser utilizado por el cultivo siguiente.

Además ayudan a reducir la erosión y producen una abundante biomasa, por lo que adicionan materia orgánica al suelo y atraen insectos benéficos.

En general, las leguminosas varían en su habilidad para prevenir la erosión, supresión de malezas y la adición de materia orgánica. Habitualmente no exploran el suelo en búsqueda de nutrientes como lo hacen las gramíneas.

Las leguminosas normalmente tienen menor relación C:N que las gramíneas. Esto resulta en una rápida mineralización del residuo y disponibilidad de N en el suelo. El control sobre las malezas no es tan duradero como en el caso de las gramíneas. Las leguminosas tampoco incrementan tanto la materia orgánica como las gramíneas.

Las leguminosas anuales tienen entre 3,5-4 % de nitrógeno en su follaje antes de la floración y 3,5% en floración. Luego de la floración el nitrógeno en el follaje decrece rápidamente y se acumula en el crecimiento de las raíces. En leguminosas perennes, que tienen cierto grado de tallos fibrosos, las estimaciones se reducen al 1% de nitrógeno. En Uruguay se fijan alrededor de 30 kg N/tonelada de materia seca producida por la leguminosa (MGAP, Departamento de Microbiología de Suelos).

Las leguminosas invernales anuales deben ser plantadas más temprano que las gramíneas o mezclas, las perennes o bianuales pueden ocupar diferentes nichos. Las mezclas de leguminosas y gramíneas ayudan a combinar características de ambos.

Las Gramíneas

Los abonos verdes más usados son cultivos cerealeros y gramíneas anuales de invierno, y bianuales tanto de invierno como de verano. Las gramíneas más usadas se destacan por la exploración de nutrientes, especialmente por el nitrógeno dejado por los cultivos anteriores, reducción o prevención de la erosión, producción de gran cantidad de residuos y adición de materia orgánica al suelo.

Las gramíneas tienen mayor relación C:N que las leguminosas, esto implica que la mineralización es lenta dando como resultado un residuo que perdura más en el tiempo. Con la madurez de la planta aumenta la relación C:N, lo que implica que es más difícil de mineralizar, por lo que los nutrientes se encuentran menos disponibles para el cultivo subsiguiente. Las gramíneas tienen entre 2-3% de nitrógeno antes de la floración y entre 1,5-2,5% luego de esta etapa.

También las gramíneas tienen la capacidad de tomar el nitrógeno del cultivo anterior y a medida que maduran, este nitrógeno estará menos disponible para cultivos subsiguientes.

Las gramíneas producen una gran cantidad de residuo, que contribuye a prevenir la erosión y suprimir malezas cuando es dejado en la superficie del suelo. Pese a no ser fuente de nitrógeno, son capaces de realizar un buen aporte. Es importante balancear la cantidad de residuo y la posibilidad de inmovilizar nitrógeno. Las mezclas de gramíneas y leguminosas ayudan a disminuir la inmovilización proveyendo un buen control de la erosión y un mayor aporte de materia seca.

Abonos Verdes de Verano

Los abonos verdes de verano se plantan temprano en la primavera o ya entrado el verano con el propósito de ser aprovechados por los cultivos hortícolas comerciales a ser instalados en el otoño o inicios del invierno. Dentro de estos cultivos se detallan aquellos que están siendo utilizados a nivel comercial: sorgo, moha, maíz, girasol, poroto.

Sorgo (*Sorghum spp*)

Gramínea anual (Figura 16) de rápido crecimiento inicial, cubre y protege el suelo y controla bien las malezas. Produce una excelente masa vegetal por unidad de superficie y tasas de crecimiento elevadas. De acuerdo con Carámbula (2007), el rango de temperatura para la producción se encuentra entre los 16 °C y 30 °C.

Soporta además períodos prolongados de sequía utilizando mecanismos de latencia y por la cantidad de raíces fibrosas que presenta. Para la germinación de la semilla el suelo debe tener 18-20 °C, a temperaturas menores la semilla demora en germinar y es fácilmente atacada por hongos. La época de siembra es de octubre a diciembre-enero, siendo imprescindible contar con suministro de agua en las siembras tardías. La profundidad de siembra se sitúa en los 2-3 cm, no debiéndose sembrar a más de 5 cm. La cantidad de semilla recomendada es de 30 kg/ha en siembras al voleo para su utilización como abonos verdes.

Si bien existen diferentes tipos de sorgos de acuerdo con Carámbula (2007), para su utilización como abonos verdes se recomiendan:

Cultivares e Híbridos de Sudan

El sorgo forrajero tipo «Sudan» llamado también Sudangrass presenta una gran capacidad de rebrote.

Los híbridos de sudan x sorgo granífero, presentan una mayor precocidad que el sudan, pero su capacidad de rebrote es menor, se recomienda una altura de corte del residuo de unos 20 cm. En los experimentos realizados con el cultivar INIA Surubí se realizaron dos cortes en el ciclo cada 60 días, con las plantas a 1-1,20 m de altura produciendo residuos de alta calidad para abonos verdes, con relaciones C:N de 30:1 y pro-



Figura 16. Sorgo.

ducciones de 7-9 t/MS/ha por corte. De los cultivares INIA se recomiendan INIA Surubí y Estanzuela Comiray (INIA Forrajeras, 2007).

Moha (*Setaria italica*)

Cultivo de ciclo corto 100-120 días (Figura 17), lo que le permite intercalarse entre cultivos en rotaciones cortas. Prospera en ambientes pobres, calurosos y secos. Requiere de poca fertilidad y humedad. Además es susceptible al anegamiento (Carámbula, 2007; Terra *et al.*, 2000). El período de siembra es amplio, puede ir desde septiembre hasta enero. La siembra se puede iniciar cuando la temperatura en el suelo llega a los 18 °C. El crecimiento inicial es lento y presenta un sistema radicular poco profundo, tiene poca capacidad de macollaje y poca capacidad de rebrote. La densidad de siembra al voleo recomendada como abono verde es de 30 kg/ha y la profundidad de siembra de 2 cm. El máximo rendimiento se logra al estado de grano lechoso (5-7 t/MS/ha). Provee buena biomasa en un período corto, produce un mejor control de la erosión que el sorgo y se puede controlar con herbicida. La producción de semilla se da entre los 75-120 días posteriores a la siembra. Entre los cultivares recomendados, de acuerdo con Carámbula (2007), se encuentran INTA Carapé, INTA Yaguaré e INTA Ñandú de origen argentino.



Figura 17. Moha.

Girasol (*Helianthus annuus*)

Cultivo anual, de ciclo corto, (Figura 18). Sistema radicular abundante y profundo (Carámbula, M. 2007). La temperatura y humedad son las variables que más inciden en el crecimiento del girasol. Se ve afectado por la anegación y el mal drenaje que impide un buen desarrollo radicular. Produce sombreado del suelo y un buen control de malezas por efecto alelopático. Otra característica es que logra reciclar nutrientes de capas profundas del suelo. La época de siembra influye en la altura de la planta y la producción de materia seca. En siembras tempranas (septiembre) se alarga el período que va de la germinación a la emergencia, en este momento las semillas pueden estar sujetas al ataque de hongos, pudriciones por excesos de humedad y a la competencia por emergencia temprana de malezas. También en siembras tempranas se obtienen plantas de girasol más altas y con mayor riesgo al vuelco. Siembras normales (octubre-noviembre) promueven un activo crecimiento ya que en ese período las temperaturas son más elevadas y la planta logra interceptar valores crecientes de radiación. Por otro

lado, en siembras tardías (diciembre-febrero) la plantas de girasol no logran su máximo desarrollo aunque el período entre emergencia y floración se acorta. En situaciones de estrés hídrico, como las que se dan en ese período, se reduce la expansión foliar y la planta expande su sistema radicular, explorando mayores profundidades, aún mayores que el sorgo y el maíz. La cantidad de semilla recomendada es de 20-25 kg/ha y la profundidad de siembra no mayor a 5 cm. La máxima acumulación de materia seca se da



Figura 18. Girasol.



Figura 19. Maíz.

al llegar a la floración (90-120 días pos siembra), son citados rendimientos entre 8-12 t/MS/ha. Una característica importante es que puede consociarse con otros abonos verdes, caso de moha y sorgo. Una característica importante es su capacidad alelopática.

Maíz (*Zea mays*)

Para abonos verdes se pueden usar materiales para forraje o para producción de grano (Figura 19). En general, el período de siembra óptimo va de octubre a diciembre. Si bien puede soportar temperaturas tan bajas como de 8 °C, su crecimiento se ve enlentecido, al momento de la siembra el suelo debe presentar una temperatura de 12 °C. Como abono verde se buscan relaciones tallo-hoja/grano altas, y para eso se deben usar altas den-

sidades de siembra, se recomiendan 30- 50 kg de semilla por hectárea, la profundidad de siembra es de 5-8 cm. Es posible obtener producciones entre 10-12 t/MS/ha. De los materiales de INIA se recomiendan: INIA Alazán e INIA Redomón.

Pasto italiano (*Pennisetum glaucum*, *Pennisetum americanum*)

El Pasto Italiano (Figura 20) es una gramínea originaria de África Occidental. Esta especie se adapta a sistemas productivos con escasez de lluvias, baja fertilidad y altas temperaturas. También logra crecer en suelos con altos contenidos de sal.

Es una planta de alto porte, que alcanza hasta los 2 m de altura. En muchas partes del mundo su grano es usado en la alimentación humana y su parte aérea es usada como forraje (pastoreo) para el ganado. También se usa como abono verde debido a la buena cobertura que realiza del suelo, su rápido crecimiento inicial y a la excelente labor que realizan sus raíces. De esta manera tiene un efecto en reducir los daños de erosión, mejorar la infiltración y el control de malezas, colaborando además con el control de nematodos.



Figura 20. Pasto italiano.



Figura 21. Cowpea.

La cantidad de semilla requerida para plantar una hectárea es de 15-30 kg. Un aspecto a tener en cuenta es que para facilitar el rebrote luego de un corte éste deberá hacerse a una altura superior a los 20 cm. Se han reportado rendimientos de 15 t/MS/ha.

Cowpea (*Vigna unguiculada*)

Leguminosa originaria de África (Figura 21), anual. Fija N con bacterias del género *Bradyrhizobium*, con datos que van de 30-300 kg/ha. La densidad de siembra es de 15-20 kg/ha. Si se planta muy denso tiende a florecer menos. El cultivo cierra el surco entre los 40-60 días. Se han reportado rendimientos de 4-5 t/MS/ha. Este sirve como cultivo trampa para insectos, así como reservorio de insectos benéficos, en especial en floración. Su rama puede ser consumida por animales (pastoreo). No tiene mayor rebrote por lo que soporta un solo pastoreo. La temperatura de crecimiento mínima es de 10 °C y la máxima 35 °C. Tolerancia a la sequía y precisa un período libre de heladas. Prospera en casi todos los suelos a excepción de los suelos bajos o encharcables, prefiere suelos profundos y bien drenados, con pH 4,5-7,9. Su ciclo es de 90 días desde siembra a primera cosecha. Es importante el control de malezas ya que no compite bien con ellas. Las

vainas están prontas para la cosecha al estar secas, conteniendo entre 5 y 15 semillas.

Crotolaria (*Crotolaria juncea*)

La Crotolaria (Figura 22) es una leguminosa, comprende más de 600 especies, de las cuales unas 500 se encuentran en África. Su origen está en la India y Asia Tropical. Presenta diversos usos, es fuente de fibra y forraje, tiene capacidad para repeler insectos y controlar nemátodos, fija N y mejora la parte física del suelo. Las semillas son tóxicas para el ganado. Es anual, de rápido crecimiento con efectos alelopáticos. No tolera heladas y se desarrolla en suelos arcillosos y arenosos. La época de siembra es de septiembre a diciembre. Es posible cultivarla en forma consociada con otros cultivos, la densidad de siembra es de 20 semillas por metro lineal con un espacio de 25 cm entre líneas, o al voleo. Se siembra a razón de 40 kg/ha. Para la producción de semilla se recomienda el uso de 20-30 kg/ha. El picado del abono verde se realiza en el estado de floración y se citan rendimientos de 3-9 t/MS/ha. La cosecha de semillas comienza al 70% de las vainas secas (200-240 días pos-siembra).



Figura 22. Crotolaria.

Poroto (*Pisum sativum*)

Como abono verde de verano su rol es aportar a la fertilización nitrogenada así como a la producción de forraje (Figura 23). Se puede plantar consociado con maíz, sorgo, Pasto Italiano. Produce abundantes tallos y ayuda a acondicionar el suelo en el corto plazo. Es sensible al calor, en especial combinado con la humedad, y también presenta sensibilidad a *Sclerotinia* y *Fusarium*. Produce unas 5 t/ha de residuos, fáciles de quebrar. No realiza un buen control de malezas. La cantidad de semilla necesaria para sembrar una hectárea es de 100 kg. Tiene una extensa floración y atrae insectos benéficos. Es sensible a heladas. Prefiere suelos bien drenados, con pH neutro y moderada fertilidad. Su semilla tiene corta longevidad. Es muy fácil de matar con disquera o corte luego de la floración; en estado de madurez realiza una óptima contribución de N. Es sensible a nematodos, para combatir este problema se debe rotar el cultivo.

En el Cuadro 11 se presentan los datos promedio de producción de materia seca, en las parcelas del jardín de abonos verdes de verano de INIA Las Brujas, en el período 2008-2010.



Figura 23. Poroto.

Es de resaltar que un alto contenido de N a nivel foliar no es indicador de inmediata disponibilidad, en el caso de las gramíneas su alto aporte está dado por su elevada productividad, pero debido a los altos valores de la relación C:N, este N no estará inmediatamente disponible al cultivo comercial siguiente. En el caso de las leguminosas el N contenido en su follaje se incorporará más rápidamente y podrá ser utilizado en el siguiente cultivo. Las gramíneas realizan un importante rol en el aporte de carbono orgánico (materia orgánica), principalmente las de verano.

Cuadro 11. Producción de materia seca, N Foliar y relación C:N, en las parcelas del jardín de abonos verdes de verano 2008-2010

Abono Verde	Materia Seca t/ha*	Materia Seca %	Nitrógeno P. aérea kg/ha	Relación C:N
Sorgo	24	28	230	40:1
Moha	10,8	40	194	38:1
Girasol	17,8	21,4	238	33:1
Maíz	25,5	26,0	260	41:1
Pasto Italiano	34,2	25,8	315	48:1
Cowpea	9,5	14,9	148	18:1
Crotolaria	17,3	26,3	558	13:1
Poroto	5,7	21,4	119	19:1

*Datos tomados a floración.

Abonos Verdes de Invierno

Los abonos verdes de invierno se plantan temprano a la salida del verano, otoño o ya entrado el invierno para que puedan ser aprovechados por los cultivos hortícolas comerciales a ser instalados en la primavera-verano. Hay dos cultivos, además, que tienen especial relevancia, uno de ellos la alfalfa, leguminosa pluriannual que puede ser instalada en dos épocas del año, otoño o primavera, y es un excelente acondicionador del suelo; el otro es el trigo Sarraceno que debido al corto período que requiere para desarrollarse y cubrir el suelo, permite ubicarlo en cortos períodos de barbecho. Los cultivos que se detallan a continuación son aquellos que están siendo utilizados a nivel comercial e incluyen gramíneas, básicamente cultivos cerealeros, y leguminosas importantes como pasturas anuales.

Avena negra (*Avena strigosa* S.)

Es una gramínea anual (Figura 24), resiste ataque de roya y pulgones y se adapta a suelos de baja fertilidad y bajo pH. La avena negra tiene rápida implantación, la producción de materia seca no es mayor que las otras avenas, pero si su aporte inicial. Responde a la fertilización química y en especial a la nitrogenada. Presenta buen efecto alelopático ya que produce una excelente cobertura del suelo que se mantiene por un tiempo, lo que sumado al sombreado permite un alto grado de supresión de malezas. Tiene un buen poder de rebrote y macollaje y bajo aporte primaveral. Se planta al voleo con una cantidad de 60-100 kg semilla/ha. Presenta semilla más chica que las otras avenas, acepta siembras desde fines de febrero hasta fines del invierno (febrero a junio). Presenta un ciclo de 120 días a grano lechoso y 140-150 días de maduración para producción de semilla. En manejos tempranos puede ocurrir rebrote, haciendo necesaria la aplicación de herbicida.

Avena amarilla (*Avena byzantina*)

Cultivo de desarrollo más lento que la avena negra, presenta menor resistencia a enfermedades (Figura 25). Tolera siembras tem-



Figura 24. Avena negra.



Figura 25. Avena amarilla.

pranas, se puede plantar desde febrero hasta el mes de junio. En el caso del cultivar INIA RLE115 tiene un buen crecimiento inicial, tiene excelente rebrote y producción. INIA Polaris, el otro cultivar ensayado, es de elevada producción de forraje, resiste al vuelco y heladas, es de rápido rebrote y gran macollaje. La producción se concentra en invierno, puede ser plantada sola o consociada con leguminosas. Es usada como regeneradora del suelo, eficiente en el reciclaje de nutrientes, es más rústica que el trigo, soporta mayor acidez del suelo. No se recomienda su siembra en suelos anegables; con siembras de 100-120 kg/ha de semilla presenta un rápido crecimiento y compite bien con malezas, haciendo un buen control a través de la alelopatía (INIA-Forrajas, 2007).

Trigo (*Triticum aestivum*)

Gramínea invernal (Figura 26), con tolerancia a las bajas temperaturas, no tolera falta o excesos pronunciados de humedad. Se adapta bien a suelos de fertilidad media con pH de 5,5-7,5, sensible a la acidez. En siembras tempranas se recomienda usar trigos de ciclo largo, con producción de masa foliar en invierno y primavera (Carámbula, 2007).

Es posible mezclar con leguminosas anuales. Como madura lentamente permite incorporaciones más tardías, recicla N, P, K,

suprime las malezas por competencia por agua, luz y nutrientes, en especial hacia la primavera. Produce 10-12 t/MS/ha, el residuo es de fácil manejo e incorporación. Las raíces del trigo son mejoradoras de la parte superior del suelo, prefiere suelos de textura media, tolera suelos pobremente drenados mejor que la cebada y la avena. Requiere contenidos moderados de N. La densidad de siembra adecuada es de 100-120 kg/ha. Para matarlo se puede picar, disquear o usar herbicidas. Es más susceptible a enfermedades y plagas que el centeno y la avena.

Cebada (*Hordeum vulgare*)

Presenta baja tolerancia a heladas (Figura 27), susceptible a enfermedades y a hongos. Se puede mezclar con leguminosas. Produce un excepcional control de la erosión, puede llegar a ocupar nichos de pequeñas rotaciones y ayuda a proteger la capa superior del suelo durante condiciones de sequía. Las raíces mantienen el suelo unido, minimizando la erosión. Demanda poco N, unos 65 kg/ha. Su rápido establecimiento ayuda a competir con las malezas por agua y nutrientes. Tiene un efecto de sombreado y de alelopatía. Recicla además P y K. Es una fuente abundante de biomasa que acompañada de su sistema radicular mejora la estructura del suelo y la infiltración del agua. Prefiere suelos no excesivamente húmedos y crece pobremente en suelos inundados.



Figura 26. Trigo Churrinche.



Figura 27. Cebada.

El pH del suelo al cual mejor se adapta es 6-7. La cantidad de semilla a utilizar puede variar entre 50-100 kg/ha; al voleo debe utilizarse entre 80-125 kg/ha. Se puede matar con herbicida, disqueando o picando antes que se produzca semilla.

Centeno (*Secale cereale*)

Gramínea de gran rusticidad (Figura 28) produce buen forraje desde otoño hasta principios de la primavera. Es la especie más resistente a heladas y bajas temperaturas, tolerante a la sequía, no soporta suelos anegados, pero se desarrolla bien en suelos húmedos bien drenados (Carámbula, 2007). Es capaz de crecer en suelos arcillosos como arenosos. En suelos de mediana y alta fertilidad presenta un buen desarrollo. No se desarrolla bien en suelos extremadamente degradados. Responde bien a la fertilización química y orgánica y compite bien con las malezas. Se puede sembrar en abril-mayo, es una alternativa al uso de la avena negra, se adapta a la siembra al voleo. Para sembrarlo se utilizan 80 kg/ha de semilla, pudiendo asociarse con leguminosas y crucíferas (vicia-nabo forrajero). Se corta o se arrasa en fase de grano lechoso, momento en el que hay menos rebrote, el ciclo completo del cultivo para la producción de semilla es de 140-160 días.

Triticale

Es un cereal híbrido generado artificialmente *Triticum x Secale* (Figura 29), presenta resistencia a Septoria, roya del tallo y de la hoja. Tiene buena producción de materia seca principalmente en invierno y primavera. Pre-



Figura 28. Centeno.



Figura 29. Triticale.

senta un crecimiento inicial vigoroso, tiene buen rebrote y es resistente a enfermedades. Se adapta a suelos ácidos, con alto nivel de aluminio y arenosos. El período de siembra es en abril-mayo, presenta tolerancia a sequía y bajas temperaturas. No crece bien con excesos de humedad, su ciclo es de 150 días. La densidad de siembra es de

80-100 kg/ha. La variedad más conocida a nivel nacional es INIA Caracé.

Raigrás anual (*Lolium multiflorum* tipo Westerwoldicum, *Lolium multiflorum* tipo multiflorumorum)

De acuerdo a la bibliografía, el tipo westerwoldicum no tiene requerimientos de frío para florecer, florece en el año sin importar cuando fue sembrada (Figura 30). El multiflorum necesita de determinada cantidad de horas de frío para florecer y si es sembrado tarde en el invierno no semilla en ese año, pasando en estado vegetativo el verano. Se adapta a un rango amplio de suelos y llega a tolerar cortos períodos de excesos de agua. Su pico de producción se da desde fines de invierno en adelante. Se asocia perfectamente con leguminosas. (Carámbula, 2007). La cantidad de semilla recomendada es de 25-30 kg/ha.

Trébol rojo (*Trifolium pratense*)

Leguminosa de invierno (Figura 31), sus semillas son de fácil germinación teniendo humedad. Las plantas no toleran la desecación, se adapta a clima templado húmedo y suelos limosos y arcillosos bien drenados tolerando una acidez mediana. Es exigente en P, Ca y K; en suelos pobres es difícil de obtener una buena población. Es mejorador



Figura 30. Raigrás anual.



Figura 31. Trébol rojo.

del suelo, aporta N y ayuda a suprimir malezas. Se usan entre 3-12 kg/ha de semilla. Se citan rendimientos de 3-5 t/MS/ha y fija unos 70-150 kg de N/ha. Atrae insectos benéficos. Para su uso como abono verde se debe arrasar el cultivo a mitad de floración. En activo crecimiento no es fácil matarlo mecánicamente, pero un cincel con dos pasadas puede ayudar. Se puede usar herbicidas 7-10 días previo a la instalación del cultivo. Su nicho está entre dos cultivos de no leguminosas. El cultivar RLE116 es una especie bianual de ciclo corto, con crecimiento otoño-invernal, de rápido establecimiento y rápido rebrote (INIA-Forrajas, 2007).

Trébol Alejandrino (*Trifolium alexandrinum*)

El trébol Alejandrino es una leguminosa anual invernal de porte erecto (Figura 32), su ciclo es muy largo. Originario de la zona de Alejandría y del valle del Nilo en Egipto, también aparece con cierta frecuencia en la zona del Mediterráneo. Se adapta bien a un amplio rango de suelos. Empieza a producir temprano en el otoño y continúa hasta entrada la primavera, por lo que se puede asociar con forrajas como avena. Puede usarse como forraje, abono verde o pastoreo. La planta es de porte erecto, con buen sistema radicular.



Figura 32. Trébol Alejandrino.

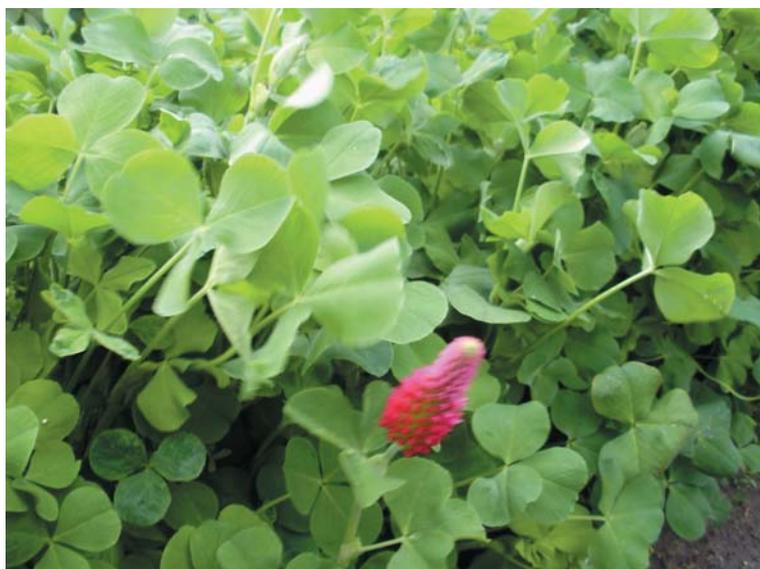


Figura 33. Trébol encarnado.

Presenta una mala resiembra, pese a tener una buena producción de semilla. Tolera sequía debido a su desarrollado sistema radicular, se adapta a suelos pesados. El cultivar evaluado, INIA Calipso, es de ciclo largo, apto para verdes y rotaciones cortas. Su máximo crecimiento es invernal (INIA-Forrajas, 2007).

Trébol encarnado (*Trifolium incarnatum* L.)

Es originario del Mediterráneo, su distribución geográfica como especie silvestre abarca Francia, Italia, España. Planta anual, de porte erecto (Figura 33). Se puede plantar solo o en mezclas con gramíneas. Debe sembrarse a razón de 10-15 kg/ha. Tolera siembras de julio-agosto, acortando su ciclo. Está bien adaptado a suelos pobres, en parte debido a su fuerte sistema radicular, que permite una gran exploración. Se desarrolla bien en suelos donde el trébol rojo no lo hace. Crece bien en suelos livianos; no tolera suelos con excesos de humedad, pesados y con alto pH. Tiene un buen crecimiento invernal, floreciendo durante setiembre-octubre. Presenta buena capacidad de resiembra. Según la bibliografía produce 4-5 t/MS/ha (Fodder and Pasture, Canada Department of Agriculture).

Vicia villosa (*Vicia villosa*)

Leguminosa anual (Figura 34), tiene la capacidad de desarrollarse en suelos ácidos con presencia de aluminio. Crecimiento inicial lento, buena cobertura de suelo en primavera. No tolera temperaturas bajo cero. La siembra se realiza en abril en sucesión de cultivos de verano. Puede ser mezclada con avena negra o centeno. Tiene efectos de mulching, mejora la actividad biológica del suelo y aumenta la población de insectos. Disminuye el lavado de nutrientes y mejora la infiltración. Requiere de suelos con pH de 6-7. Tiene gran capacidad de concentrar P, más que el trébol rojo, es ideal para cultivos de verano. Es un cultivo suculento de baja relación C:N con un rango entre 8-15:1. Su vigoroso crecimiento le permite competir con las malezas, sus residuos tienen un leve efecto alelopático, su mayor ventaja es el sombreado. El cultivo siguiente se debe instalar a la brevedad, ya que el efecto desaparece con el residuo. Se puede plantar en mezcla para mejorar este efecto, al aumentar la relación C:N. Tiene cierta tolerancia a la sequía. Se siembra al voleo a razón de 15-30 kg/ha de semilla. La semilla debe tener buen contacto con el suelo para germinar. Se arrasa al comenzar la floración. Si se corta contra el suelo luego de floración las plantas mueren, si el corte es más arriba



Figura 34. *Vicia villosa*.

rebrotan. Atrae pequeños insectos benéficos y también trips, áfidos y nematodos. Algunos de sus exudados podrían afectar la germinación de zanahoria, cebolla y tomate en siembra directa (Monegat, 1991).

Lupino blanco (*Lupinus albus*)

Es una leguminosa anual (Figura 35), buena fijadora de nitrógeno aportando alrededor de 90 kg N/ha. Además tiene un sistema radicular pivotante bastante profundo que mejora las propiedades físicas del suelo y recicla gran cantidad de nutrientes. Se adapta a regiones de alta temperatura y de menores lluvias. Soporta temperaturas de 3-4 ° C. En la fase inicial de crecimiento es sensible a la sequía, mientras que con excesos de humedad sufre ataque de antracnosis que pueden matar el cultivo, este pro-

blema se reduce con rotaciones. Se citan producciones de 4 t/MS/ha cuando se siembra en forma densa, por lo menos con 80 kg. semilla/ha. Se siembra en otoño a no más de 4 cm de profundidad. Se recomienda asociarlo con avena negra (Florentin *et al.*, 2001). Es indicado para cultivos con altas exigencias de nitrógeno.

Lupino azul (*Lupinus angustifolius*)

Leguminosa con flores alternas de color azul, en racimos (Figura 36), el fruto es una vaina de unos 12 mm, con 4-5 semillas. Buena fijadora de nitrógeno a través de las bacterias que forman nódulos en sus raíces aportando alrededor de 90 kg N/ha. Además tiene un sistema radicular pivotante bastante profundo, que mejora las propiedades físicas

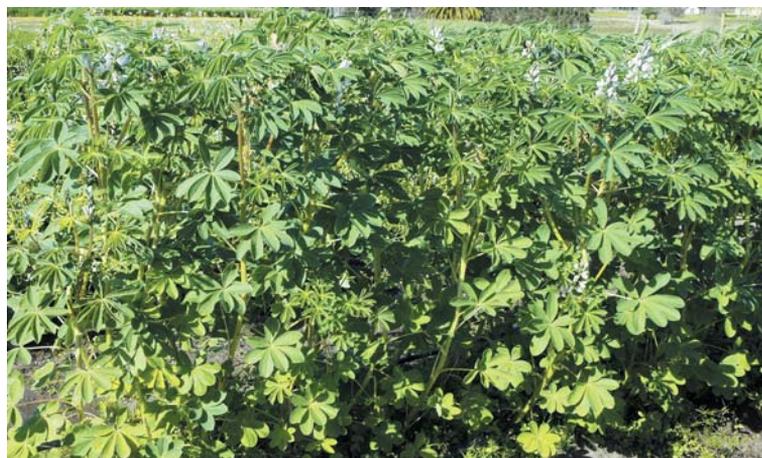


Figura 35. Lupino blanco.

Figura 36. Lupino azul.

del suelo (promoviendo descomposición) y recicla gran cantidad de nutrientes. Se adapta en regiones de alta temperatura y menores lluvias. Soporta temperaturas más bajas que el lupino blanco. Al igual que éste, se adapta mejor en suelos arcillosos y de fertilidad media.



Haba (*Vicia faba*)

Es una especie anual invernal (Figura 37). Se diferencia de las otras vicias por ser más fuerte y de crecimiento elevado; tiene una raíz gruesa y llana que realiza un buen trabajo en suelos pesados. Se puede mezclar con otras vicias y cereales. La densidad de siembra va de 80-200 kg/ha. Atrae insectos benéficos, es susceptible a heladas. Se desarrolla rápido, adiciona quizás menos N que otras vicias, no se disemina y no tiene semillas duras como otras vicias. Es un cultivo fácil de incorporar y capaz de fijar 50-200 kg/N/ha. Crece sobre un amplio rango de suelos. No tolera suelos saturados ni una gran sequía en floración. No tolera cortes frecuentes y es fácil de controlar.

Arveja Forrajera (*Pisum sativum*)

Leguminosa invernal, de floración indefinida, en camadas (Figura 38). No debe ser plantada donde hubo soja o arveja por un periodo de tres años, debido a enfermedades de raíces. Requiere suelos de buena fertilidad y bien drenados. Es muy sensible al exceso de agua y tampoco tolera la sequía, en especial en floración. Con inoculación apropiada realiza un buen aporte de N y requiere de fertilización fosfatada. Densidad de siembra de 200-300 kg/ha de semilla. Su ciclo es de unos 180 días. Resulta fácil de incorporar y el N fijado va de 50-200 kg/ha. La producción citada es de 2-3 t/MS/ha.

**Figura 37.** Haba.



Figura 38. Arveja forrajera.

Trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum*)

Entre sus ventajas está el rápido cubrimiento del suelo (Figura 39), es supresor de malezas, y produce néctar capaz de atraer insectos benéficos, es mejorador de la parte superior del suelo. Puede combinarse con sorgo. Es de rápido crecimiento, alcanzando su madurez a los 70-90 días. Su residuo es fácil de quebrar y romper. No tolera heladas ni sequías, pero si condiciones frescas y húmedas. Se comporta mejor en suelos pobres y con altos niveles de pérdida de materia orgánica. No anda bien en suelos compactados y húmedos en forma excesiva y con excesos de Ca. Sus semillas germinan rápidamente y es capaz de producir 2-3 t/ha de en solo 6 a 8 semanas. La supresión de malezas la realiza tanto por sombreado y competencia como por efectos alelopáticos. Recicla P y otros nutrientes como Ca, que de otra manera estarían inviábiles para el cultivo. Libera nutrientes a otros cultivos con su descomposición. Pre-

senta además un manojo de raíces fibrosas cerradas en los primeros 30 cm del suelo, que producen una gran área de extracción. Es de rápido rebrote, lo que determina que pueda rebrotarse luego del corte y sobre todo si se corta antes de alcanzar el 25% de floración. El residuo deja el suelo en buen estado. La cantidad de semilla a emplear es de 50-60 kg/ha. Es sensible a herbicidas como trifluralina, triazina, sulfonilurea y a enfermedades como Rhizoctonia y root-rot. (Bowman *et al.*, 1998).



Figura 39. Trigo sarraceno.

Las Crucíferas

Es una familia de gran importancia económica que incluye plantas cultivadas importantes para la dieta humana y de los animales, entre ellas las coles o repollos (*Brassica oleracea*), que se cultivan desde la antigüedad. Algunas de las especies tienen importancia por su capacidad oleaginosa (*Brassica napus*, *campestris* y *juncea*). Las especies con uso forrajero se obtienen a partir de especies cultivadas y de especies forrajeras con raíces tuberosas (*Brassica oleracea*, *Brassica campestris*, *Brassica napus* y *Raphanus sativus*). Tanto las coles como los nabos tienen importante acción nematicida y en el control de hongos y malezas. Esto ha llevado en los últimos tiempos a que productores de hortalizas en invernáculo se interesen por la utilización de estas especies de abonos verdes en rotación con los cultivos comerciales, para mejorar el estado sanitario de sus invernáculos. Las plantas del género *Brassica* obtienen su poder biofumigante a partir de la producción de compuestos secundarios, existen 30 a 40 de estos compuestos que en combinación con la enzima *myrosinasa* producen isotiocianatos con capacidad de controlar nematodos y otras enfermedades del suelo. Estos productos pueden perdurar en el suelo por días o semanas. Para esto el tejido de la planta debe ser picado para incentivar la producción de estas sustancias y además asegurar un mejor contacto con el suelo a la hora de ser enterrado. Tanto en las raíces como en los tejidos foliares es posible encontrar estos productos, por lo que es importante el picado de toda la planta. El residuo tiene corta duración cuando es dejado en superficie por lo que de mezclarse con especies de mayor duración podría mejorarse este efecto. Otro importante aspecto por el cual es utilizada esta familia en sistemas conservacionistas

es la capacidad que tienen algunos tipos en desarrollar raíces engrosadas, que al momento de descomponerse dejan grandes canales que mejoran la estructura y drenaje del suelo. Además, debido a estas características de su sistema radicular, son importantes recicladores de nutrientes. En INIA se están probando para uso como abono verde especies de nabo forrajero y coles desarrolladas para la alimentación del ganado (Gilsanz, 2007). Si bien por su origen corresponden a especies de clima frío, hay algunas adaptadas a climas templados, por lo que se han evaluado tanto en invierno como en verano.

Nabo Forrajero (*Raphanus sativus*)

Planta anual que pertenece a las crucíferas, herbácea erecta de porte medio (Figura 40). Crecimiento inicial rápido, no es muy rústico y produce alta cantidad de biomasa en condiciones de mediana o alta fertilidad. En suelos degradados no se recomienda su uso por bajo rendimiento. Algunas variedades con raíces pivotantes profundas pueden romper capas compactas de suelo, tienen capacidad de reciclar nutrientes en especial N, y solubilizar elementos como P que quedan disponibles para el cultivo siguiente. Es muy eficiente en la supresión de malezas por el rápido sombreado que realiza del suelo y su efecto alelopático. La rápi-

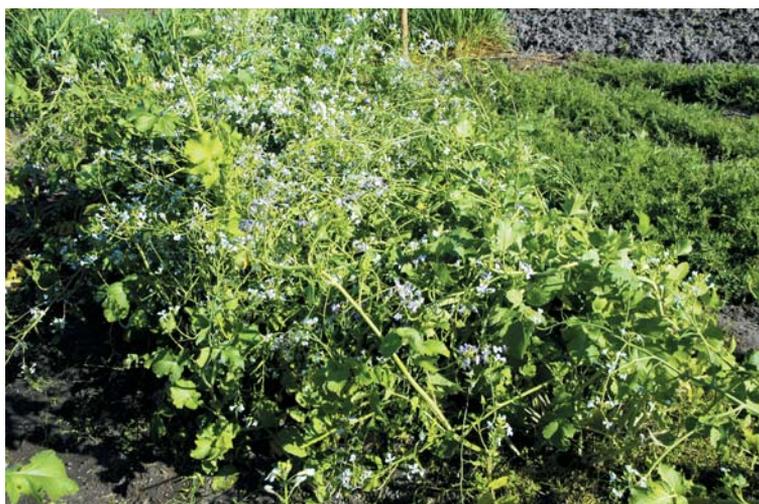


Figura 40. Nabo forrajero.

Cuadro 12. Producción de materia seca, N Foliar y relación C:N, en las parcelas del jardín de abonos verdes de invierno 2008-2010

Abono Verde	*Materia Seca t/ha	Materia Seca %	Nitrógeno P. aérea kg/ha	Relación C:N
Avena Negra	10,1	16	156	28:1
Avena Polaris	9,8	16	161	26:1
Trigo Churrinche	12,4	20	157	32:1
Cebada CLE234	13,3	17,6	222	26:1
Triticale	10	29,5	sd	sd
Trébol Rojo	3,9	12,5	103	16:1
Trébol Alejandrino	5,7	11,6	91	18:1
Trébol Encarnado	4,6	8,0	sd	sd
Vicia Villosa	7,3	18,4	171	12:1
Lupino Blanco	11,1	13,6	320	16:1
Lupino Azul	8,4	14,3	219	17:1
Haba	4,0	11,2	120	15:1

Sd: Sin dato, muestra en el laboratorio.

*Datos tomados a floración.

da degradación de su biomasa luego de muerto, permite un rápido crecimiento de malezas y la ocurrencia de problemas asociados con baja cobertura. Esto se puede solucionar con la asociación con otros abonos verdes como avena negra. Se siembra al voleo, con 20 kg/ha de semilla, en siembras asociadas se usa menos. El corte se realiza 10-15 días antes del próximo cultivo. El momento óptimo es cuando las plantas están en floración. El inicio del fruto se da alrededor de 120 días luego de la siembra. Si se atrasa el manejo las semillas viables pueden rebrotar. Se debe tratar de que no exista nabo silvestre para evitar la contaminación (Florentin, *et al.*, 2001).

En el Cuadro 12 se presentan los datos promedio de producción de materia seca, N Foliar y relación C:N, en las parcelas del jardín de abonos verdes de invierno 2008-2010.

En los abonos verdes de invierno, los rendimientos en kg de materia seca por hectárea son menores que en los abonos verdes de verano, en estos últimos es importante la cantidad de carbono agregado al suelo. Las leguminosas de verano aportan una cantidad

de nitrógeno foliar similar a las leguminosas de invierno. En el caso de las leguminosas el N contenido en su follaje se incorporará más rápidamente y podrá ser utilizado en el siguiente cultivo. Estas parcelas se sembraron en canteros y recibieron riego en los momentos críticos para su crecimiento.

LAS MEZCLAS DE ABONOS VERDES

El objetivo en la utilización de las mezclas de abonos verdes responde a la necesidad de combinar características favorables y de atender a distintos problemas. En general, las mezclas presentan una mejor performance que los abonos verdes puros. Las mezclas se realizan por alguno de los siguientes motivos:

- asegurar el desarrollo de por lo menos un integrante de la mezcla, esto es especialmente importante en condiciones variables de crecimiento o de estrés,
- para lograr un mayor aporte de materia seca, para lo cual la mezcla debe estar bien equilibrada y formulada,

- para mejorar la calidad del residuo producido al balancear la relación C:N y su velocidad de descomposición,
- la complementariedad puede permitir un mejor control de malezas y la cobertura (ampliando el período de cobertura),
- lograr una mejora en el estatus sanitario de las distintas especies de la mezcla,
- se mejora el reciclado de los nutrientes, en especial al combinar especies con distintas capacidades de desarrollo radicular.

Se han evaluado mezclas simples, tanto para abonos de verano como de invierno (Figura 41 a, b, c y d). Es de hacer notar que las mezclas exigen un manejo muy cuidado-

so de esos abonos verdes, ya que a la hora de determinar la cantidad de la semilla a usar de cada componente se debe considerar la velocidad de crecimiento de cada una, así como su capacidad de competencia. Algunas de las mezclas ensayadas con buen éxito fueron:

Abonos Verdes de Verano

Pasto Italiano + Girasol. Sorgo + Moha

Abonos Verdes de Invierno

Avena Negra o Avena Amarilla + Leguminosas (Vicias, T. Rojo, T. Alejandrino)

Avena Negra o Avena Amarilla + Nabo Forrajero



Figura 41 a. Mezcla de maíz + Moha.



Figura 41 b. Mezcla de avena + *Vicia villosa*.



Figura 41 c. Avena negra o Avena amarilla + T. alejandrino).



Figura 41 d. Avena negra o Avena amarilla + nabo forrajero.

Cuadro 13. Producción de materia seca, N Foliar y relación C:N en las parcelas del jardín de abonos verdes mezclas 2008-2010

Abono Verde	Materia Seca t/ha	Materia Seca %	Nitrógeno P. aérea kg/ha	Relación C:N
Avena negra +trébol rojo	8,4	13,9	100	18:1
Avena negra +trébol alejandrino	9	14,1	105	17:1
Avena polaris +nabo forrajero	13,1	13,2	138	23:1
Moha+girasol	27,1	31,4	284	40:1
Girasol+pasto italiano	45,7	24,5	292	70:1

En el Cuadro 13 se presentan los datos promedio de producción de materia seca, N Foliar y relación C:N, en las mezclas de abonos verdes en las parcelas del jardín de abonos verdes de INIA Las Brujas, en el período 2008-2010. Cabe mencionar que estas parcelas se sembraron en canteros y contaron con riego en los momentos críticos del cultivo.

Las mezclas de abonos verdes de invierno presentaron valores menores de la relación C:N con la inclusión de las leguminosas. En las mezclas de verano ensayadas, los valores de la relación de C:N aumentan con la inclusión del girasol. El girasol participa con el propósito de mejorar el control de malezas debido a sus características alelopáticas y no mejora la relación C:N.

MÍNIMO LABOREO

El laboreo convencional se basa en el trabajo mecánico del suelo hasta lograr que su superficie se encuentre apta para ser plantada y no considera el agregado de residuos.

En contraste, el laboreo conservacionista se define como aquel que deja sobre el suelo como mínimo un 30% de residuos vegetales (Allmaras *et al.*, 1989). El mínimo laboreo implica determinado tipo de maquinaria o la frecuencia de uso de éstas, además de la utilización de abonos verdes y el manejo que de éstos se hace para que el sistema sea sustentable.

Mediante el uso del laboreo reducido, con la inclusión de los abonos verdes, se disminuye la cantidad y tipo de labores realizadas

para la instalación del cultivo comercial, así como una reducción del laboreo secundario que conlleva a una disminución en los costos y en el gasto de combustible.

EQUIPOS PARA EL MANEJO DE LOS RESIDUOS E INSTALACIÓN DEL CULTIVO

Los equipos de mínimo laboreo se deben concebir para funcionar en presencia de residuos sin perturbarlos. El objetivo es mantener el suelo cubierto y que las subsiguientes operaciones de plantación y transplante del cultivo comercial puedan ser realizados en forma satisfactoria en presencia de los residuos.

Las operaciones involucradas son las siguientes:

- 1) Corte, picado o aplastado del residuo.
- 2) Preparación de la superficie del suelo donde se va a instalar el cultivo comercial, sin perturbar el residuo.
- 3) Operación de plantación y/o transplante.

Operaciones de corte, picado o aplastado del residuo

Estas operaciones pueden ser realizadas por diversos implementos:

- 1) Chirquera
- 2) Segadora
- 3) Picadora Trituradores-Desmalezadores
- 4) Rodillo Picador
- 5) Aplastado por implementos de peso

Chirquera o Desmalezadora Rotativa

Consta de un mecanismo de corte de cuchillas oscilantes de alrededor de 1,75 m de ancho de corte, son herramientas para el enganche del tres puntos del tractor (Figura 42). Este enganche puede ser central o lateral, presenta zapatas regulables y patines cambiables. La potencia es de 540 rpm (TDO), la velocidad recomendada para estos equipos es de 4-6 km/hora. Se puede regular la altura de corte a través de un sistema de control mecánico. El defecto de esta herramienta es la capacidad de acumular el residuo hacia los costados de la zona central del equipo, no realizando una uniforme distribución de éstos sobre la superficie del suelo.



Figura 42. Chirquera.

Segadoras

Segadora de Dientes

De acuerdo a la publicación de la FAO (2007), las segadoras de forrajes de hojas superpuestas comenzaron a usarse a principios del Siglo XX en EE.UU. (Figuras 43 a y b). Esta herramienta consta de un marco principal con un asiento para el operador. El equipo va montado en dos ruedas a partir de las cuales se transmite la fuerza por medio de

un eje y engranajes al mecanismo de corte. El mecanismo de corte está conectado al marco principal por una barra de tiro que permite ajustar la barra de corte a distintos niveles. Un cigüeñal y una barra de conexión transforman el movimiento rotatorio en el movimiento de vaivén. La barra de corte mide por lo general 1,25 m o más, y tiene láminas con dedos que forman una mitad de las tijeras. La acción de corte se completa por la barra de cuchillas de vaivén con hojas triangulares. Las secciones de las cuchillas se pueden cambiar fácilmente. En el extremo de la barra de corte hay un abridor del forraje para separar el forraje cortado del que permanece en pie.



Figura 43 a y b. Segadora de dientes.

Requieren de un campo relativamente limpio para operar eficientemente, el equipo requiere de una potencia de 1.5 kW por metro de corte y su velocidad puede ser de 3-8 km/hora. Este tipo de segadora puede ser tirada por animales. Con tractor a una velocidad de 15 km/hora, para un ancho de corte de 1,8 m el rendimiento será de 1,5-2 ha/hora y se requerirá un tractor de 40-80 HP.

Segadora de Disco

En la misma publicación de FAO se menciona que las segadoras de disco (Figura 44), presentan generalmente una barra de corte de 2-6 discos de rápida rotación, este tipo de maquinaria se adapta mejor a terrenos poco nivelados. Requiere de una potencia de 7-15 kW por metro de corte y trabaja a una velocidad de 10-15 km/hora. Para un modelo de cuatro discos se necesita un tractor de 35 HP. Estos equipos no son aptos para tracción animal, se desempeñan muy bien en cultivos volcados y/o densos.



Figura 44. Segadora de disco.

Picadora Trituradores-Desmalezadores-Rompe Rama

Hay diferentes modelos, con diferentes anchos de trabajo y requerimientos de potencia, estos van desde 1,4 a 2 m de ancho de trabajo (Figuras 45 a, b y c). Los requerimientos de potencia van desde unos 45 HP a 110 HP y un peso del equipo que oscila entre 200-700 kg. Son de enganche de tres puntos del tractor y también existen de tiro, presentan ruedas de apoyo. Los elementos de corte están constituidos por martillos universales o cuchillas sujetas a un eje. La al-



Figura 45 a. Rompe rama.



Figura 45 b y c. Trituradora y desmalezadora.

tura mínima del suelo a las cuchillas oscila entre 17 y 20 cm. La potencia TDO es de 540 rpm (Yomel, 2007, AS, Maquinarias, 2007).

Rodillo Picador

De acuerdo a Monegat (1991), el rodillo de cuchillas (Figuras 46 a, b y c), se usa para el corte y aplastado de los residuos o abonos verdes. Si bien se menciona que su origen es desconocido, en el estado de Paraná, en Brasil, se viene usando desde hace muchos años y en especial por pequeños productores. En EE.UU. y otros países también se usan versiones de esta herramienta montados o tirados por tractores, propulsados o no por tomas de fuerza, y con cuchillas helicoidales o rectas. En este caso nos centraremos en la descripción del tipo más utilizado en Brasil debido a la simplicidad de su fabricación. Este implemento puede ser confeccionado de madera o metal y puede ser llevado por tractores o animales, además puede ser de tiro o para el enganche tres puntos del tractor.

Como descripción fundamental, consta de un cilindro de metal o madera y según el diámetro éste puede tener de 5-8 cuchillas que deben ser afiladas en bisel con un ángulo de 25°. El rendimiento es de 6-9 horas/ha con tracción animal. Los pesos del equipo se encuentran entre 250-350 kg, dependiendo del material usado en su construcción. Con este equipo es posible usar tractores pequeños tanto para el enganche de tres puntos como para tiro. El equipo para tiro presenta además ruedas a sus costados para su transporte.

Aplastado por implementos de peso

Para el aplastado de los residuos es posible usar diferentes implementos (Figuras 47 a, b, c) como rastra de dientes invertida con o sin peso adicional, cubiertas de vehículos unidas, rolos de madera o de metal. En estos casos no se realiza picado del material, se trata de quebrarlo, aunque éste puede permanecer unido al suelo por su sistema radicular. En los sistemas productivos en los cuales la aplicación de herbicidas no



Figura 46 a b y c. Rodillo picadores.



Figura 47 a b y c. Aplastadoras.

está permitida, es posible que exista algún rebrote del material aplastado, dependiendo de las características del abono verde utilizado y de su estado de maduración. Si se puede aplicar un herbicida con antelación que permita la muerte y secado del abono verde, el quebrado del material en estas circunstancias se ve favorecido. Tallos lignificados o más leñosos pueden ser quebrados con facilidad por estos mecanismos (Gilsanz, 2007). Se deberá elegir los momentos más adecuados para esta tarea, períodos secos, días soleados, en horas del mediodía. También se ha experimentado con buen éxito un aplastado previo del material encañado en verde y su posterior quemado con herbicida (glifosato), en momentos de baja humedad relativa del ambiente.

OPERACIONES DE PREPARACIÓN DEL SUELO PARA LA INSTALACIÓN DEL CULTIVO

Cultivadores para alto a muy alto contenido de residuo

Se trata de cultivadores que tienen la capacidad de trabajar con altos contenidos de residuos en el suelo o en superficie (60% de residuos) en suelos moderadamente pesados, además es posible usarlos en condiciones de suelo húmedo con bastante eficiencia, lo mismo que en suelos con relativa escasez de agua. Para un mejor desempe-

no conviene que el residuo se encuentre muerto o sea cortado previamente. Si se encontrara verde y sujeto al suelo se sufrirán atoramientos del material en el brazo de la zapata, ya que el disco cortador no dará abasto para cortar el residuo.

Los componentes del cuerpo de esta herramienta son un disco escotado para corte de residuos en frente de una zapata regulable en profundidad seguida de dos juegos de discos «ravioleros» que realizan un trabajo superficial del suelo. Esto es seguido por un cilindro desterronador que también cumple la función de enterrar levemente los residuos. Todo esto montado en una barra de herramientas que permite el ajuste de ancho y profundidad de trabajo de sus distintos ele-

mentos. El modelo en cuestión acepta intercambiar distintos tamaños de rodillo desterronador. Con estos equipos es posible trabajar en diferentes sistemas conservacionistas, tanto en plano como sobre surcos o canchales ya realizados. El equipo disponible en Uruguay, desarrollado por INIA Las Brujas y la Universidad del Estado de Carolina del Norte y con apoyo de la Facultad de Agronomía de la Udelar (Figuras 48 a, b y c), requiere unos 40 HP y tiene un peso de unos 400 kg. Su performance es de 1,5 horas por hectárea. La profundidad de trabajo al centro del equipo es de 25 cm y a nivel de los discos «ravioleros» es de 20 cm. El ancho de trabajo máximo con un solo cuerpo es de 1m.



Figura 48 a b y c. Cultivadores NCSU.

Cinzel modificado

Es un cinzel con ciertas variantes, en especial el agregado de dos cilindros desterronadores en su parte trasera, las tres patas del cinzel se encuentran en línea montadas sobre un bastidor (Figura 49). El equipo, que ha sido diseñado por la Cátedra de Maquinaria Agrícola de la Facultad de Agronomía de la Udelar, posee a cada lado ruedas de profundidad.

Respecto a las pruebas realizadas, su profundidad de trabajo estuvo alrededor de los 30 cm realizándose un laboreo parcial del perfil del suelo, debido a que casi todo el laboreo fue vertical y muy poco de laboreo horizontal a profundidad, esto es porque las hojas del cinzel, en este caso, son pequeñas. Se comprobó que las ruedas de profundidad contribuían al atore de material lo que obligó a levantar las ruedas y realizar el control de profundidad desde el tres puntos (Gilsanz, 2006).



Figura 49. Cinzel modificado.

da de humedad del suelo ya que al tener zapatas más espaciadas que en el cinzel son menores las penetraciones en la superficie del suelo. La profundidad de trabajo es de 30 cm en forma uniforme adaptándose a trabajos de laboreo primario y secundario de preparación de suelo. Además, el modelo comercializado en Uruguay permite el agregado de aletas a la zapata que sirve para formar canchales y camellones. La empresa CADES, fabricante de estos equipos, en su catálogo establece una profundidad de aradura de 45 cm y 60 cm de subsolado. Por otro lado, los modelos pueden presentar hasta 7 cuerpos con un peso que va desde los 480 kg para dos cuerpos a 1.050 kg para el

Multiarado y similares

Son equipos intermedios que combinan características de los cinzeles de laboreo del suelo con implementos que se caracterizan por un corte horizontal del perfil del suelo y los residuos (Figuras 50 a, b y c). Una de sus cualidades es permitir una menor pérdi-



Figura 50 a y b. Multiarado.

de 7 cuerpos, el ancho de trabajo varía de 1,7 a 5,8 m. Es posible laborear el suelo en presencia de restos de cultivos o cultivos en pie. En el caso de residuos acostados es posible que se produzca el atore de las zapatas, en cuyo caso se podrán incluir discos de corte. Como control de profundidad, estos equipos llevan un par de ruedas laterales, la desventaja es la necesidad de mayor potencia de los tractores (70 HP) debido al peso del equipo y la naturaleza de la labor (Multiarado, 2007).



Figura 50 c. Multiarado.

Operaciones de Instalación del Cultivo

Para la instalación del cultivo debe considerarse el volumen de los residuos y su estado, a efectos de elegir el procedimiento de siembra y la maquinaria más adecuada. Es sabido que estos sistemas conservacionistas requieren de maquinaria que sea capaz de desempeñarse en presencia de residuos y que permita la colocación de la semilla o plántula a la distancia correcta asegurando su crecimiento. Las semillas finas, en general, si no se cuenta con una sembrado-

ra adaptada a la siembra directa, presentan dificultades. Si el volumen de residuo es escaso, se puede recurrir a una máquina de siembra convencional. Las semillas de mayor tamaño y/o plántulas pueden ser instaladas con buen éxito en este tipo de sistemas conservacionistas (Figura 51 a, b, c y d. En estos sistemas conservacionistas han sido transplantados con éxito materiales vegetales, tanto en forma manual como mecánica, podemos citar el caso de hortalizas como ajo, boniato, arveja, tomate, cebolla, repollo, etc.





Figura 51 a, b, c y d. Operaciones de cultivo.

EXPERIENCIAS A NIVEL DE PREDIOS Y COMENTARIOS

Desde el año 2005, INIA Las Brujas ha comenzado a evaluar diferentes equipos de laboreo y la inclusión de abonos verdes en producciones hortícolas (Gilsanz *et al.*, 2007). Al examinar los rendimientos físicos de las parcelas demostrativas, a nivel de productor, se observa poca diferencia en los rendimientos físicos entre los tratamientos conservacionistas, que utilizan el mínimo laboreo y los abonos verdes y los tratamientos convencionales.

En el Cuadro 14 se presentan datos de rendimiento de boniato INIA-Arapey con el

uso de diferentes equipos de laboreo mínimo (residuo en superficie) y laboreo convencional.

En el invierno 2006 se instaló un ensayo de laboreo en la Estación Experimental INIA Las Brujas, sobre rastrojo de avena negra, con cebolla Pantanoso del Sauce-CRS. En el Cuadro 15 se presentan los rendimientos de cebolla obtenidos.

En el Módulo Hortícola Demostrativo instalado a fines del 2005, con financiamiento INIA-CNFR, se evaluaron un conjunto de cultivos hortícolas en rotación con abonos verdes. En el año 2006 se instaló un cultivo de cebolla sobre rastrojo de sorgo sudanense (*Sorghum sudanense*) bajo un sistema de mínimo laboreo y convencional sin rastrojo.

Cuadro 14. Rendimiento de boniato bajo diferentes tipos de laboreo

Tratamientos	Rendimiento t/ha
T1 Cíncel Modificado Fac. Agronomía Udelar	25,9
T2 Equipo Cades (Multiarado)	22,3
T3 Cultivador Alto Contenido de Residuos	25,5
T4 Laboreo Convencional Arado, Rastra Disquera	24,7

Cuadro 15. Rendimiento total y comercial de Pantanoso del Sauce-CRS bajo diferentes intensidades de laboreo

Tratamientos	Rendimiento Total t/ha	Rendimiento Comercial	Rendimiento bulbos chicos t/ha
Laboreo Convencional	35,8	32,3	3
Mínimo Laboreo	32,9	28,5	4
Cero Laboreo	37	32,3	3,8

Cuadro 16. Rendimiento total y comercial de cebolla INIA-Casera bajo intensidades de laboreo contrastante

Tratamientos	Rendimiento Total t/ha	Rendimiento Comercial t/ha
Laboreo Convencional	25,5	23,7
Mínimo Laboreo	28,2	24,7

Los datos de rendimiento del cultivar INIA-Casera se presentan en el Cuadro 16 (Arboleya y Gilsanz, 2007).

En el mismo trabajo de investigación, Arboleya *et al.*, 2010, presentan para el ciclo productivo 2007-2009 los rendimientos promedio de los cultivos de zanahoria, boniato, zapallo y repollo, según sistema de manejo del suelo (Cuadro 17).

En junio del 2006, se instaló en la zona de Puntas del Solís, en Canelones, un módulo demostrativo sobre residuo de avena negra, el cual en parte fue enterrado y la otra dejado en superficie. Sobre ambos se plantó

un cultivo de boniato variedad INIA-Arapey. Los rendimientos obtenidos se presentan en el Cuadro 18.

En este predio luego del cultivo de boniato se instaló nuevamente avena negra sobre el que se instaló un cultivo de morrón a campo el 6/12/2007. Los resultados obtenidos en rendimiento por planta y rendimiento comercial se presentan en el Cuadro 19.

En un predio de Montevideo rural se instaló un abono verde (avena negra) en el invierno del 2009, a razón de 100 kg/ha. Su producción fue de 11,8 t/MS/ha. La relación C/N de este material fue de 36:1. Luego de

Cuadro 17. Rendimientos promedio de los cultivos de zanahoria, boniato, zapallo y repollo, según sistema intensidad de laboreo

Tratamiento	Zanahoria 2007 t/ha	Zapallo 2008/09 t/ha	Repollo 2009 t/ha
Laboreo Convencional	34	48,8	55
Mínimo Laboreo	37	47,2	53

Cuadro 18. Rendimiento Boniato INIA-Arapey según intensidad de laboreo 2006

Tratamiento	Rendimiento Total t/ha	Rendimiento Comercial t/ha	Descarte Chico %	Descarte Grande %
Mínimo Laboreo	20,9	16,8	3,4	16,1
Laboreo Convencional	21,3	15,9	6,1	19,3

Fracción comercial= 100-400g Fracción chico= <100 g Fracción grande= >400 g.

Cuadro 19. Rendimiento Morrón 2007-2008

Tratamiento	Rendimiento Comercial (kg/planta)	Rendimiento Comercial (kg/ha)
Mínimo laboreo 2 años	1,4	43750
Mínimo laboreo 1 año	1,2	37500
Convencional	0,5	15625

Cuadro 20. Rendimiento cultivo zapallo ciclo 2009-2010

Tratamiento	Rendimiento Total t/ha	Rendimiento Comercial t/ha
Mínimo laboreo	26,9	26,2
Convencional	16,8	15,2

secada se aplastó con rastra de dientes y luego se realizó una pasada de equipo «multiarado» de mano. Se sembró kabutia variedad «Maravilla del mercado». En un cuadro contiguo se plantó en forma convencional y sin abono verde un cultivo similar (Gilsanz *et al.*, 2010).

En el Cuadro 20 se presentan los resultados. El mínimo laboreo presentó rendimientos superiores al sistema convencional.

Los resultados físicos obtenidos para los diferentes cultivos ensayados en condiciones de mínimo laboreo y con uso de abonos verdes en distintos tipos de suelos, en ciclos productivos diferentes, son satisfactorios al compararse con los tratamientos convencionales. Es de esperar que de continuar con la utilización de estas tecnologías conservacionistas, los rendimientos mantengan su estabilidad y eventualmente sobrepasen a los tratamientos convencionales, con el mantenimiento y mejora de la calidad del suelo.

CONSIDERACIONES FINALES

Los abonos verdes y el laboreo reducido son parte del sistema conservacionista de laboreo del suelo y son una herramienta fundamental para detener los procesos de pérdida de suelo (erosión), desagregación del suelo, pérdida de materia orgánica. También contribuyen al aprovechamiento del agua al mejorar la infiltración y la porosidad del suelo, por acción de las raíces de los abonos verdes y la materia orgánica.

Mediante el uso de este sistema se disminuye el escurrimiento y evaporación desde la superficie del suelo al mantener el suelo cubierto, siendo de especial importancia en los períodos de falta de agua. Se contribuye a evitar el lavado de nutrientes poniendo éstos a disposición de los cultivos.

Los abonos verdes generan las condiciones apropiadas para el crecimiento de los cultivos, previenen la incidencia de plagas, enfermedades y malezas, y además incrementan la biodiversidad del sistema productivo. Por su parte, con el laboreo reducido se disminuye el consumo de combustible, con el consiguiente ahorro económico.

Los mayores argumentos para la no utilización de los abonos verdes y el laboreo reducido a nivel de la producción hortícola eran, en lo previo, la limitada extensión de los predios hortícolas y la creencia sobre la necesidad de maquinaria especializada para su adopción. De la información presentada y de las experiencias generadas se demuestra que el uso de abonos verdes y del laboreo reducido es posible en la horticultura, tanto en la producción orgánica, como en la producción integrada y producción hortícola convencional.

Una de las virtudes de la aplicación de este tipo de tecnología es que obliga a una planificación de las actividades del predio, desde una visión integradora dónde todas las actividades contribuyen a la preservación de los recursos naturales y a la sustentabilidad productiva.

CUADROS DE PERFORMANCE DE ABONOS VERDES

Cuadro 21. Performance de Abonos Verdes de Verano para diversos caracteres

Abonos Verdes	Arado Biológico	Alojador Superficial del Suelo	Control de Enfermedades	Alelopatía	Control Malezas	Resiembra	Insectos Benéficos	Semilla kg/ha
Sorgo	xxxxx	xxx	xxxx	xxxxx	xxxxx	+/-	xxx	40-50
Moha	xxxxx	xxx	xxx	xxxxx	xxxxx	+	xxx	20-30
Maiz	xxx	xx	xxx	xxx	xxx	-	xx	30-35
Girasol	xxx	xxx	xx	xxxxx	xxxxx	+	xx	25
Crucíferas	xxxxx	xxx	xxxxx	xxx	xxxxx	+/-	xxx	30
Poroto	xx	xx	xx	xx	xxx	-	xxxxx	100

Fuente: Monegat, C. 1991, Bowman, 1998 X=Pobre, XX=Regular, XXX=Bueno, XXXX=MB, XXXXX=Excelente.

Cuadro 22. Performance de Abonos Verdes de Invierno para diversos caracteres

Abonos Verdes	Arado Biológico	Alojador Superficial del Suelo	Control de Enfermedades	Alelopatía	Control Malezas	Resiembra	Insectos Benéficos	Semilla kg/ha
A. Negra	x	xxxx	xxx	xxxx	xxxxx	+	x	60-80
A. Común	x	xxxx	xxx	xxxxx	xxxxx	+	x	80-100
Trigo	xxx	xxxx	xx	xx	xxxx	+/-	x	60-150
Cebada	xxx	xxxx	xx	xxxx	xxxx	+/-	xx	80-125
Centeno	xx	xxxxx	xxx	xxxxx	xxxxx	+	xx	90-160
Triticale	xx	xxxxx	xxx	xxxxx	xxxxx	+	xx	70-150
T. Rojo	xxxxx	xxx	xx	xxx	xxx	+/-	xxxxx	10-12
T. Alejandrino	xxxxx	xxx	xx	xxx	xxx	+/-	xxxxx	10-12
Vicia Villosa	xx	xxxx	xxx	xxx	xxxx	+/-	xxxxx	25-40
N. Forrajero	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxx	xxxx	+	xxx	30
T. Sarraceno	x	xxxxx	x	xxxxx	xxxxx	+	xxxxx	60-40

Fuente: Monegat, C. 1991, Bowman, 1998 X=Pobre, XX=Regular, XXX=Bueno, XXXX=MB, XXXXX=Excelente.

Cuadro 23. Performance de Abonos Verdes de Verano para diversos caracteres

Abonos Verdes	Ciclo Días	Días a Florecimiento
Sorgo	150	120
Moha	120	100
Maíz	150	130
Girasol	130	100
Crucíferas	90	75
Poroto	120	100

Fuente: Monegat, C. 1991, Bowman, 1998.

Cuadro 24. Performance de Abonos Verdes de Invierno para diversos caracteres

Abonos Verdes	Ciclo Días	Días a Florecimiento
A. Negra	150	125
A. Común	150	125
Trigo	180	150
Cebada	150	130
Centeno	120	90
Triticale	150	130
T. Rojo	135-170	135
T. Alejandrino	135-170	135
Vicia Villosa	165-250	135
N. Forrajero	143	90
T. Sarraceno	70-80	55

Fuente: Monegat, C. 1991, Bowman, 1998.

Cuadro 25. Performance de Abonos Verdes de Verano para diversos caracteres

Abonos Verdes	Aporte N	Cantidad N/kg/ha	Reciclaje de Nutrientes	Mejorador del Suelo	Control de Erosión	Cantidad de Residuo	Duración del Residuo
Sorgo	-	-	xxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx
Moha	-	-	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxx	xxxxx
Maíz	-	-	xxx	xxx	xxx	xxxxx	xxxxx
Girasol	-	-	xx	xx	xx	xx	xx
Crucíferas	-	-	xx	xx	xx	xxx	x
Poroto	xx	49	x	xx	xx	xxx	x

Fuente: Monegat, C. 1991, Bowman, 1998 X=Pobre, XX=Regular, XXX=Bueno, XXXX=MB, XXXXX=Excelente.

Cuadro 26. Performance de distintos Abonos Verdes de Invierno para diversos caracteres

Abonos Verdes	Aporte N	Cantidad N/kg/ha	Reciclaje Nutrientes	Mejorador del Suelo	Control de Erosión	Cantidad de Residuo	Duración del Residuo
A. Negra	-	-	xxxxx	xxx	xxxxx	xxx	xxxxx
A. Común	-	-	xxxxx	xxx	xxxxx	xxx	xxxxx
Trigo	-	-	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx
Cebada	-	-	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx
Centeno	-	-	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx
Triticale	-	-	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx
T. Rojo	xxx	70-150	xxx	xxxxx	xxx	xx	xx
T. Alejandrino	xxx	70-150	xxx	xxxxx	xxx	xx	xx
Vicia Villosa	xxxxx	90-200	xx	xxxxx	xx	xx	xx
N. Forrajero	-	-	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx
T. Sarraceno	-	-	xx	xx	xx	x	xx

Fuente: Monegat, C. 1991, Bowman, 1998 X=Pobre, XX=Regular, XXX=Bueno, XXXX=MB, XXXXX=Excelente.

BIBLIOGRAFÍA

- AIKEN, R.M.; NIELSEN, D.C.; AHUJA, L.R.** 2003. Scaling effects of Standing Crop residues on the wind. *Agronomy Journal* 95: 1041-1046 p.
- ALLMARAS, R.R.; LANGDALE, G.W.; UNGER, P.W.; DOWDY, R.H.; VAN DOREN, D.M.** 1989. Adoption of Conservation Tillage and Associated Planting Systems: In: *Soil Management for Sustainability*. Soil and Water Conservation Society 189 p.
- ARBOLEYA, J.; GILSANZ, J. C.** 2007. Validación de Alternativas Tecnológicas Para La Producción Hortícola Sostenible. Serie Actividades de Difusión Num. 513. INIA-CNFR. 20 p.
- ARBOLEYA, J.; GILSANZ, J.C.; ALLAUIME, F.; LEONI, C.; FALERO, M.; GUERRA, S.** 2010. Seminario de Actualización Técnica, Manejo de Suelos para Producción Hortícola Sostenible: Manejo Sustentable en la Producción Hortícola Sostenible. INIA, Serie Actividades de Difusión N° 624, 9-19 p.
- AS MAQUINARIAS.** Trituradores. <http://www.asmaquinarias.ci/sitio/index.htm>. Consultada 09/2007.
- BALDWIN, K.R.; CREAMER, N.G.** 2006. Cover Crops for Organic Production Systems. 22p.
- BACKMAN, P.A.; BEAUTE, M.K.; RODRÍGUEZ, K. R.** 1980. Method for Estimating Numbers of Viable *Sclerotium Rolfsii*. *Phytopathology* 70:917-919.
- BARBAZAN, M.; FERRANDO, M.; ZAMALVIDE, J.P.** 2002. Acumulación de Materia seca y Nitrógeno en gramíneas invernales usadas como cobertura vegetal en viñedos. *Agrociencia* vol VI Num 1: 10-19 p.
- BLAIR, G.J.; LEFROY, R.D.B.; LISLE, L.** 1995. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and development of a carbon management index for agricultural systems. *Austral. J. Agric. Res.* 46:1459-1466.
- BOWMAN, G.** 1997. *Cultivators. Steel in the Field. A Farmer's Guide to Weed Management Tools.* Agronomic Row Crops USDA. Sustainable Agriculture Network 117p.
- BOWMAN, G.; SHIRLEY, C.; CRAMER, C.** 1998. *Managing Cover Crops Profitability.* Second edition. Sustainable Agriculture Network 201p.
- BRISTOW, L.K.** 1988 The Role of Mulch and its Architecture in Modifying Soil Temperature. *Aust. J. Soil Res.* 20: 269-288. pp
- BURGESS, M.S.; MEHUYS, G.R.; MADRAMOOTOO, C. A.** 2002. Nitrogen Dynamics of Decomposition Corn residue Components Under Three tillage Systems. *Soil Science Soc. American Journal* 66: 1350-1358 pp.
- CABRERA, L.M.** 2007. Mineralización y Nitrificación: Procesos claves en el ciclo del Nitrógeno. *Informaciones Agrnómicas Cono Sur* Junio 2007.
- CARÁMBULA, M.** 2006. *Pasturas y Forrajes: Insumos, Implantación y manejo de Pasturas* Tomo II. Editorial hemisferio Sur.371 p.
- CARÁMBULA, M.** 2007. *Verdeos de Invierno.* Edit. Hemisferio Sur. 178p.
- CARÁMBULA, M.** 2007. *Verdeos de Verano.* Edit. Hemisferio Sur. 226p.
- CAVIGELLI, M.A.; DEMING, S.R.; PROBYN, L.K.; HARWOOD, R.R.** 1998. Michigan Field crop Ecology. Managing biological process for productivity and environmental quality. Michigan State University Extension Bulletin E-2646, 92p.
- CENSO GENERAL AGROPECUARIO.** 2000. DIEA, MGAP.
- CLARK, A.(Ed.)** 2005. *Managing Cover Crops Profitability 3 erd edition.* Hand book Series Book 9. Published by Sust. Agriculture Network, Bellsville, MD.
- COOK, H.F.; VALDÉS, G.S.B.; LEE, H.C.** 2006. Mulch effects on rainfall interception, soil physical characteristics and temperature under *Zea mays* L. *Soil and Tillage Research* 91: 227-235 pp
- CORBEEL, M.C.; HOFMAN, G.; VAN CLEEMPUT, O.** 1999. Simulation of N inmovilization and mineralization in substrate-amended Soils by NC Soil Computer Model. *Biol. Fertil. Soils* 44: 73-86 pp.
- COPPENS, F.; GARNIER, P.; FINDELING, A.; MERCKX, R.; RECOUS, S.** 2007.

Decomposition of mulched versus incorporated crop residues: Modeling with Pastis clarifies interactions between residue quality and location. *Soil Biology and biochemistry* 39:2339-2350 pp

DAHIYA, R.; INGWERSEN, J.; STRECK, T. 2007. The effect of mulching and tillage on water and temperature regimes of loess soil: Experimental findings and modeling. *Soil and Tillage Research* 96:52-65 pp.

DENEVE, S.; HOFFMAN, G. 1996 Modelling N Mineralization of vegetable Crop residues during laboratory incubations. *Soil Biol. Biochemistry* 28: 1451-1457 pp.

DEPARTAMENTO MICROBIOLOGÍA DE SUELOS. Leguminosas y Bacterias. <http://www.chasque.net/microlab/difusion.htm>. Consultada 08/2007.

DIRECCIÓN NACIONAL DE SUELOS. Mapa Erosión de Suelos.

DOUGLAS, C.L. Jr.; RICKMAN, R.W. 1992. Estimating Crop residue decomposition from air temperature, initial nitrogen content, and residue placement. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:272-278 pp.

DORAN, J.W. 1980 Microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil science Amer. J.* 44:765-771 pp.

DORAN J.W.; PARKING, T.B. 1996. Quantitative indicators of soil quality: A minimum data set. pp 25-37. *En: JW. Doran and AJ. Jones (ed). Methods for Assessing Soil Quality. SSSA Spec. Publ. N°49. SSSA, Madison, WI.*

ERNST, O.; BENTANCOUR, O.; BORGES, R. 2002. Descomposición de rastrojo de cultivos en Siembra sin laboreo: Trigo, Maíz, Soja y Trigo, después de maíz o de Soja. *Agrociencia vol VI Num 1: 20-26pp*

FAO. Producción de Heno. [Http://www.fao.org/docrep/007.htm](http://www.fao.org/docrep/007.htm) . Consultada 09/2007.

FERRIS, H.; VANETTE, R.C.; VAN DER MEHLEN, H.R.; LAU, S.S. 1988. Nitrogen mineralization by bacterial-feeding nematodes: Verificación and measurement. *Plant and Soils* 203: 159-171pp.

FLORENTIN, M.A.; PEÑALVA, M.; CALEGARI, A.; DERPSCH, R. 2001. Abonos Verdes y Rotación de Cultivos de Siembra Directa, pequeñas propiedades. Proyecto Conservación de Suelos. MGA-GTZ, San Lorenzo, Paraguay. 84p.

GAILLARD, V.; CHENU, C.; RECOUCUS, S. 2003. Carbon Mineralization in soil adjacent to plant residues of contrasting biochemical quality. *Soil Biology and Biochemistry* 36: 93-99 pp.

GILMOUR, J.T.; LOGGER, G.G.; JACOBS, L.W.; EVAHYLO, G.K.; SULLIVAN, D.M. 2003. Decomposition and plant available nitrogen in biosolids, laboratory studies, field studies and computer simulations. *J. Env. Quality* 32: 1498-1507 pp.

GILSANZ, J.C.; SANDERS, D.C.; HOYT, G.D. 1994. Soil Nitrogen Movement and Soil Strength in various Vegetable Cropping Systems. *Hort Science Vol 29 No.5* 428 pp.

GILSANZ, J.C. 2000. Efecto de la secuencia de cultivos Hortícolas sobre el rendimiento y en la evolución de Nitratos en el suelo. Taller Manejo Conservacionista de los Suelos en Horticultura . Marzo 2000. INIA-Universidad del estado de Carolina del Norte/Prenader 63-75 pp.

GILSANZ, J.C.; ARBOLEYA, J.; MAESO, D.; PAULLIER, J.; BEHAYOUT, E.; LABANDERA, C.; HOYT, G.D.; SANDERS, D.C. 2002. Evaluation of Limited Tillage, Rotation and Cover Crop Systems to Reduce N use and Soil Erosion for Small Acreage Vegetable Farms Mirror Image Project in Uruguay and North Carolina USA. IHS XXVI International Horticultural Congress -Toronto Canada.p 282-283.

GILSANZ, J.C.; ARBOLEYA, J.; MAESO, D.; PAULLIER, J.; BEHAYOUT, E.; LABANDERA, C.; HOYT, G.D.; SANDERS, D.C. 2004. Evaluation of Limited Tillage and Cover Crop Systems to Reduce N Use and Disease Population In Small Acreage Vegetable Farms Mirror Image Projects in Uruguay and North Carolina, USA. *Acta Horticulturae* 638, p 163-169. *En: Proc. XXVI IHC. Sustainability of Horticultural Systems. Eds. L. Bertschinger and J. D. Anderson.*

GILSANZ, J.C.; ARBOLEYA, J.; MAESO, D.; PAULLIER, J.; LEONI, C.; VILLAMIL, J.; BEHAYOUT, E.; LABANDERA, C.; ZERBINO, M.S.; SANDERS, D.; HOYT, G. 2005. Secuencia de Cultivos y Mínimo Laboreo en Horticultura. Décimo Congreso de la Sociedad Uruguaya de Hortifruticultura, Montevideo Uruguay. Resúmenes en CD.

- GILSANZ, J.C.** 2006. Comunicación Personal. Datos No publicados.
- GILSANZ, J.C.** 2007. Comunicación Personal. Datos No publicados.
- GILSANZ, J.C.; ARBOLEYA, J.; SATOMI, M.** 2007. Abonos Verdes y Mínimo Laboreo. Jornada de Divulgación. INIA. Series Actividades de Divulgación Nro 501. 7 p
- GILSANZ, J.C.; PERALTA, G.** 2010. Determinación del carbono activo del suelo en producciones hortícolas. 12º Congreso Nacional de Horti-Fruticultura. Montevideo, Uruguay. p119.
- GILSANZ, J.C.; PERALTA, G.** 2010. Evaluación del efecto alelopático en el tiempo de dos especies de abonos verdes, Avena negra (*Avena strigosa* Scrb) y Girasol (*Helianthus annuus* L.). 12º Congreso Nacional de Horti-Fruticultura. Montevideo, Uruguay. p120.
- GILSANZ, J.C.; GUERINO, J.; ARANDA, S.** 2010. Jornada de divulgación de resultados del Proyecto de Investigación aplicada, INIA-DIGEGRA-PPR: Ensayo Utilización de abonos Verdes. INIA, Serie Actividades de Difusión N° 620, 79-83 pp.
- GUARAGLIA, D.O.; POUSA, J.L.; PILAN, L.** 2001. Predicting temperature and heat flow in a sandy Soil by Electrical Modeling. Soil Sci.Soc. Am. Journal 65:1074-1080 pp.
- GRIFFITHS, B.S.; WEATHEY, R.W.; OLSEN, T.; HERIKSEN, K.; EKELUND, F.; RONN, R.** 1998 Dynamics of nematodes and protozoa following the experimental addition of cattle or pig slurry. Soil Biol. And Biochemistry 30: 1379-1387 pp.
- HASSIK, T.; NEUTEL, A.M.; DE REUITER, P.C.** 1994. C and N mineralization in sandy and loamy grassland soils. The role of microbes and macrofauna. Soil Biology and Biochemistry 26: 1565-1571 pp INIA 2007. Forrajas Folleto.
- HORNICK, R.A.; PARR, J.F.** 1987. Restoring the productivity of marginal Soils with organic amendments. American Journal of Alternative Agriculture 2:64-68.
- JI, S.; UNGER, P.** 2001. Soil water Accumulative under Different Precipitation, Potential Evaporation and Straw Mulch Conditions. Soil Sci. Soc. American Journal 65: 442-448 pp.
- JOHN, A.M.; HOYT, G.D.** 1999. Changes to the soil environment under conservation tillage. Hortechonology July-Setember. 380-393 pp.
- KATHERE, T.; RIECHSTEIN, M.; ANDREN, O.; LOMANDER, A.** 1998. Temperature dependance of organic matter decomposition: A critical review using literature data analyzed with different models. Biollogy and Fertil. Soils 27: 258-262 pp.
- KENNEDY, G.G.; STORER, N. P.** 2000. life systems of polyfagous arthropod pests in temporarily unstable cropping systems. Annu. Rev. Entomol. 45:467-493.
- KRUSE, J.J.; KISSEL, D.; CABRERA, M.** 2004 Effects of drying and rewetting on C and N mineralization in soils and incorporated residues. Nutr. Cycl. Agroecosystems 69: 247-256 pp.
- KUIKMAN, P.J.; JANSEN, A.G.; VAN VEEN, J.A.** 1991. 15-N Nitrogen mineralization of bacteria by protozoo grazing at different soil moisture regimes. Soil Biology and Biochemistry 23:195-200 pp.
- LANGDALE, G.W.** 1994. Conservation Tillage Development in Southern United States. Southern Conservation Tillage Conference for Sustainable Agriculture. Proceedings. 6-9 pp. Columbia, South Carolina 7-9 June 1994.
- LINDEN, D.R., et al.** 1987. Tillaage and Surface Residue Sensitivity Potential Evaporation Submodel. In M.J. Shaffer and W.E. Larson (eds.) NTRM, a Soil-Crop Simulation Model of Nitrogen, Tillage, and Crop Residue Management. Pages 75-85. Conservation Research Report 34-1. USDA Agricultural Research Service.
- MARTENS, D.A.** 2000. Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration Soil Biology and Biochemistry 32: 361-369 pp.
- Mc. MASTER, G.S.; AIKEN, R.M.; NIELSEN, D.G.** 2000. Optimizing Wheat Harvest, Cutting Height for Harvest Efficiency and Soil and Water Conservation. Agronomy Journal 92: 1104-1108 pp.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A.** 1987. Principles of Plant Nutrition. 4th edition International Potash Institute, Switzerland. 687 p.
- MINORSKY, P.V.** 2002. Allelopathy and grain crop production. Plant Physiology vol 130: 1745-1746 pp.

- MONEGAT, C.** 1991. Plantas de cobertura de Suelo: Características y Manejo en pequeñas propiedades. Chapecó, SC. Edit. CIDICCO, Tegucigalpa, Honduras, 337p.
- MONKS, D.** 2000. Manejo de Malezas en Sistemas Hortícolas de Mínimo Laboreo. Taller Manejo Conservacionista de los Suelos en Horticultura . Marzo 2000. INIA-Universidad del estado de carolina del Norte/ Prenader 78-82 pp.
- MORRISON, J.E.** 1986. Farm Machinery Development For No Tillage Agriculture. Southern Region No Tillage Conference. Proceedings. 16-32pp. Lexington, Kentucky. June 1986.
- MORRISON, J.E. Jr.; ALLEN, R.R.** 1987. Planter and Drill Requirements for Soils With Surface Residues. In: Conservation Tillage, Today and Tomorrow. Proceedings. 44-58 pp. Southern No Till Conference, College Station, Texas.
- MULTIARADO.** CADES <http://www.cadesur.com/multiarado.html/> Consultado 08/2007.
- PERRY, R.N.; MOENS, M.; STARR, J.L.** 2009. Root-Knot Nematodes. CABI. Wallingford, Oxfordshire, UK. 520 p.
- PETERSEN, J.; BELZ, R.; WALKER, F.; HURLE, K.** 2001. Weed Suppression by Release of Isothiocyanates from turnip-rape mulch. *Agronomy Journal* 93: 37-43 pp.
- ROWELL, D.M.; PRESCOTT, C.E.; PRESTON, C.M.** 2001. Decomposition and nitrogen mineralization from biosolids and other organic materials: relationship with initial chemistry. *J. Environ. Qual.* 30:1401-1410 pp.
- SARRANTONIO, M.** 1994. Leguminosas Mejoradoras del Suelo: Metodologías de Evaluación. Instituto Rodale, Pennsylvania, USA. Traducción Español SIMAS, Managua, Nicaragua. 301p.
- SCHERTZ, D.L.** 1994. Conservation Tillage: A National Perspective. Proceedings. Southern Conservation Tillage Conference for Sustainable Agriculture. Proceedings. 6-9 pp. Columbia, South Carolina 1-5 pp. June 1994.
- SCHONNING, P.; THOMSEN, J.P.; MOBERT, H.; KRISENSEN, K.; CHRISTENSEN, B.T.** 1999. Turnover of organic matter in differently textured Soil Y. Physical characteristics of structurally disturbed and intact soils. *Geoderma* 89:177-198 pp.
- TERRA, J.; SCAGLIA, G.; GRACIA, F.** 2000. Moha: Características del Cultivo y Comportamiento en Rotaciones Forrajeras con Siembra Directa. Serie Técnica 111. INIA.
- TOMPKINS, F.D.** 1985. Equipment for No Tillage Crop Production. Southern Region No Till Conference. Proceedings 3-9 pp. Grifiting, Georgia. July 1985.
- TREADWELL, D.; KLASSEN, W.; ALLIGOOD, M.** 2012. Annual Cover Crops in Florida Vegetable Systems Part 1. Ojetives: Why grow cover crops?: <http://deis.ifas.ufl.edu/HS387>. Consultado: 04/2012.
- UdelaR. FACULTAD DE AGRONOMÍA.** 1977. Material del Curso de Microbiología de Suelo 1era. Parte 97 p.
- WAGGER, M.G.** 1989. Time of dessication effects on plant composition and subsequent nitrogen release from several winter annual cover crops. *Agronomy Journal* 81: 236-241 pp.
- WEIL R.W.; ISLAM K.R.; STINE, M.; GRUVER J.B.; SAMSON-LIEBIG, S.E.** 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment: a simplified method for laboratory and field use. *Am. J. Alt. Ag* 18(1):3-17.
- WHITMORE, A.P.** 1996. Modeling to release and loss of nitrogen after vegetable crops *Neth. J. Agriculture Sci.* 44:73-86 pp.
- WRIGHT, A. L.; HANS, F.M.; LEMON, R.G.; FARLAND, M.L.; NICHOLS, R.L.** 2007. Stratification of Nutrients in Soil for Different Tillage Regimes and Cotton Rotations. *Soil Tillage Research* 96: 19-27 pp.
- WOLFE, D.W.** 2005. The soil health frontier: New techniques for measurement and improvement. Proceedings: New England Vegetable and Fruit Conference. Univ. Maine Coop. Ext. Pub., Portland, ME. pp. 158-163.
- YOMEL. Trituradora Sax.** <http://www.viarural.com.ar/insumosagropecuarios/agricolas/sembradoras>. Consultado 09/2007.
- ZHUO, X. G.; EVERTS, K.L.** 2007. Effects of host resistance and inoculum density on supresión of fusarium of watermelon induced by hairy vetch. *Plant Dis.* 91 (1): 92-96.