

ABONOS VERDES: TECNOLOGÍA PARA EL MANEJO AGROECOLÓGICO DE LOS CULTIVOS

**Martín Prager Mósquera, Oscar E Sanclemente Reyes, Marina Sánchez de Prager,
José Miller Gallego, Diego Iván Ángel Sánchez**

*Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia,
AA 237 Palmira Valle Colombia. Email: msanchezdp@unal.edu.co*

Resumen

Con miras a buscar alternativas de manejo para el mejoramiento de la fertilidad de los suelos cultivados por agricultores de bajos recursos, se ha hecho uso de tecnologías agroecológicas como los abonos verdes (AV), cuyos aportes investigativos a nivel mundial, buscan generar una base teórica que explique la importancia de su aplicación y potencialidades dentro del manejo de agroecosistemas. Su uso se fundamenta en el aprovechamiento de la energía solar para producir biomasa vegetal de alta calidad nutricional, la cual, posteriormente se adiciona o incorpora al suelo con miras de incrementar el contenido de materia orgánica rápidamente mineralizable, con incidencia positiva sobre algunas propiedades físicas, químicas, biológicas de los suelos y rendimientos de los cultivos siguientes. Generalmente se usan leguminosas solas o mezcladas, las cuales en simbiosis con rizobios, adquieren la capacidad de fijar el N_2 atmosférico, elemento que circula por la planta simbiote y luego se incorpora parcialmente al suelo para ser aprovechado por los cultivos de interés comercial que se siembran. Esta práctica reduce significativamente la utilización de fertilizantes de síntesis química industrial. En esta forma, a los beneficios directos sobre el suelo, se suman otros de naturaleza económica, social y ambiental que apuntan hacia una agricultura más sustentable. En Latinoamérica y en Colombia, algunas entidades a través de proyectos de investigación y cooperación internacional, han contribuido a generar información acerca de esta tecnología de cultivo y las posibilidades de incorporarlas por parte de los agricultores, dentro de sus itinerarios agrícolas. Sin embargo, se requiere la réplica de ensayos en diversas zonas agroecológicas y la incorporación de herramientas metodológicas que permitan validar el carácter de los AV como tecnología multipropósito.

Palabras clave: Abonos verdes, tecnologías alternativas, sostenibilidad del suelo, Leguminosa-rizobios

Summary

Green manure: technology for crop agroecological management.

In order to find management alternatives for improving the fertility of soils cultivated by low-income farmers, agroecological technologies have been used such as green manures (GM) whose contributions to worldwide research seek to generate a theoretical base which explains the importance of its application and potentialities in the management of agroecosystems. Its use is based on the exploitation of solar energy to produce plant biomass of high nutritional quality, which then is added or incorporated into the soil with the purpose of increasing the organic matter content rapidly mineralizable, with positive effects on some physical, chemical, biological properties of soils and yields of the posterior crops. Legumes are used alone or mixed generally, which in symbiosis with rhizobia acquire the ability to fix atmospheric N_2 , which is an element that circulates through the symbiont plant and then partially incorporates to the soil to be used by crops that are planted with commercial interests. This practice (GM) reduces significantly the use of fertilizers of industrial chemical synthesis. In this way, besides the direct benefits on the soil, there are others of an economic, social and environmental type which point towards a more sustainable agriculture. In Latin America and Colombia, some institutions, through research projects and international cooperation have contributed to generate information about this culture technology and the possibilities of incorporating it by farmers in their agricultural schedules. However, replication studies in different agro-ecological zones

are required as well as the incorporation of methodological tools to validate the nature of the GM as multipurpose technology.

Keywords: Green manure, alternative technologies, soil sustainability, Legume-rhizobia.

INTRODUCCIÓN

El panorama agrícola actual en el mundo requiere procesos de cambio en los cuales se ofrezcan alternativas a los sistemas agronómicos de producción convencional, dados sus evidentes efectos negativos en lo social, económico, político, ambiental y cultural de los países.

En el trópico, estos procesos de cambio, requieren que se involucren tecnologías alternativas basadas en el aprovechamiento eficiente de la radiación solar privilegiada con la que contamos, su acumulación en biomasa biodiversa arriba y abajo del suelo, que estimulen la expresión de las simbiosis plantas-microorganismos, construidas en el trasegar coevolutivo con el fin de complementar ciclos nutricionales y ocupar nuevos nichos, entre otros beneficios, además, de propiciar los procesos de acumulación, ciclaje y absorción de nutrientes a partir de la materia orgánica.

Una de las tecnologías donde se aúnan estos principios agroecológicos son los abonos verdes (AV), empleados desde civilizaciones antiguas y mejorados inicialmente por los campesinos mediante construcciones por ensayo-error, posteriormente extendido su uso dentro de las particularidades locales, en la medida que se han comprendido sus principios y beneficios. Actualmente los avances en la ciencia permiten comprender los fundamentos en que se basa su acción y complementan la información que se posee a través de las culturas locales y el diálogo de saberes informal y sistematizado.

El presente escrito pretende revisar el tema de los AV y algunos de los resultados investigativos obtenidos en el contexto global y, en particular, en Colombia.

Aproximación conceptual de AV y su uso

Los AV son plantas que se siembran en rotación y/o asocio con un cultivo comercial, son incorporadas al suelo *in situ*, en busca de mantener, mejorar o restaurar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Costa *et al.* 1992). Además, en algunas ocasiones, estas plantas pueden ser utilizadas, antes de su incorporación, como alimento de animales y para el propio consumo humano. (Bunch 1994) resalta el carácter multipropósito de los AV.

Prager *et al.* 2001, hacen énfasis en el carácter herbáceo de las plantas que se emplean como AV, en la inclinación a que sean leguminosas de rápido crecimiento, por aunarse en ellas, normalmente

la cualidad de poseer dos simbiosis: 1) leguminosa-rizobios, que permite que el sistema se enriquezca en nitrógeno a través del tiempo, mediante la fijación biológica de N_2 , y, 2) leguminosa-hongos que forman micorriza arbuscular (HMA), que las capacita para absorber con mayor eficiencia el P disponible en el suelo, además de otros nutrientes y beneficios colaterales (Sánchez de Prager. *et al.* 2007). La situación de simbiosis tripartita leguminosa-rizobios-HMA da origen a sinergias entre estos organismos y otros asociados en la rizosfera de las plantas presentes, que se van a manifestar en la productividad y sanidad del AV y cultivos adjuntos y/o posteriores (Sánchez de P *et al.* 2010).

Fuera de ello, las leguminosas cuando son cosechadas e incorporadas en etapas de pre-floración y/o floración, hacen un aporte de materia orgánica con una relación C/N media a baja (10 a 20), que las convierte en biomasa rápidamente ciclada por los organismos del suelo, lo cual asegura disponibilidad temprana de nutrientes al cultivo establecido en asocio o rotación, además de aportar al suelo biomoléculas con efectos promotores de crecimiento, dado el estado fenológico en el cual se cortan, entre otros beneficios, como se verá más adelante. Las plantas a utilizar como AV pueden ser otras especies diferentes a las leguminosas como, por ejemplo, las gramíneas y las mismas arvenses acompañantes del cultivo.

Justificación al uso de los AV

La actividad de producción agrícola es altamente extractiva de agua y nutrientes del suelo. Si estos ciclos se repiten permanentemente, sin descanso, ni suplementación, el suelo sufre agotamiento por sobre-uso y la manifestación de este estrés se va a reflejar en la nutrición, sanidad y productividad de los cultivos.

De allí que la agricultura ecológica recomiende los tiempos de descanso, en busca de restablecer los equilibrios naturales, la restauración y conservación de la fertilidad del suelo (Prager *et al.* 2001). Los AV al igual que los barbechos mejorados se plantean como estrategias agroecológicas a través de las cuales se pueden aunar ventajas comparativas que propicien la seguridad, soberanía alimentaria y la fertilidad natural de los suelos, en la medida que esta práctica se expresa en múltiples beneficios para los agroecosistemas, en particular, el ambiente y las condiciones socioeconómicas y políticas, en general, que trascienden del nivel familiar, al local y regional (Tabla 1).

Tabla 1. Beneficios al suelo, ambiente, socioeconómicos y políticos vinculados a la utilización de los AV como práctica agroecológica.

Suelo	Ambiente	Socio-económicos y políticos
Mantienen el potencial productivo del suelo.	Regulan temperatura y humedad en el suelo que se reflejan en el ambiente subterráneo y aéreo.	Seguridad y soberanía alimentaria pues los agricultores pueden utilizar los AV para complementar la dieta familiar y de los animales.
Incrementan el contenido de materia orgánica estable en el tiempo y materiales orgánicos rápidamente mineralizables que mejoran disponibilidad de nutrientes.	Aumentan la complejidad de las redes tróficas dentro del agroecosistema y, por tanto, la biodiversidad con sus consecuencias sobre el equilibrio del ecosistema	Las especies que se siembran, cotidianamente son locales y reproducidas por el mismo agricultor, estimulando en esta forma la soberanía regional y alimentaria.
Mejoran características físicas y químicas del suelo como la estructura (Agregación del suelo), con sus efectos sobre el movimiento de agua, infiltración, CO ₂ evaporación y ciclaje de nutrientes, CIC, entre otros.	Mantienen cubierto el suelo en forma permanente con sus consecuencias sobre gases con efecto invernadero (GEI), disponibilidad y almacenamiento del agua.	Reducen los costos de labranza e incrementan el beneficio económico del agricultor. Generan empleo y, por lo tanto, contribuyen al bienestar social.
Los AV leguminosos forman un complejo tripartito leguminosa-rizobios-MA y las gramíneas-MA, entre otras interacciones que se presentan.	Estas interacciones permiten el uso eficiente de reservorios de N y P al incorporar N ₂ a través de la simbiosis leguminosa-rizobios, y de P, mediante el complejo abonos verdes-MA, además de las redes invisibles relacionadas.	Disminución del uso de fertilizantes de síntesis química industrial con sus consecuencias sobre menores costos, uso de petróleo y disminución de efectos negativos de la contaminación por el uso de fertilizantes, entre ellos, GEI.
Los AV de varias especies combinan sistemas radicales con morfologías, rizosferas y bromatología diferentes que influyen en lo físico-químico y biológico del suelo.	Uso eficiente y economía de fitosintatos, nutrientes y agua.	Eficiencia en uso de recursos naturales y disminución en costos de cultivo y/o cultivos.
Mejoran las condiciones de sanidad de los agroecosistemas.	Las redes alimentarias se acomplejan dentro de los agroecosistemas e influyen en regulación de poblaciones y homeóstasis.	Disminución en el uso de fungicidas, herbicidas, insecticidas, pues el control biológico pasa a jugar papel importante.
Mejora la cobertura del suelo y reducen abundancia y densidad de arvenses.	Práctica conservacionista que disminuye el impacto de gotas de lluvia sobre el suelo, con sus consecuencias sobre la conservación.	Menor gasto en tiempo y dinero por actividades de control de arvenses. Menor erosión del suelo, que permite pensar en este bien finito, como herencia para generaciones futuras.

Fuente: Prager *et al.* 2001, Velazco *et al.* 2001, Alarcón *et al.* 2002, Bunch 1994, Benzing 2001, Angel 1988, Randhawa *et al.* 2005, Astier *et al.* 2006, Sánchez de P 2007, Lee *et al.* 2010, Dhima *et al.* 2009, Sanclemente y Prager 2009, Gallego *et al.* 2010, Hernández y Sánchez de P 2011.

Selección y establecimiento de los AV

Cuando se adopta esta práctica agroecológica, algunas consideraciones a tener en cuenta al seleccionar las plantas a utilizar como AV, son:

- Que las plantas que se seleccionen estén adaptadas a las condiciones edafoclimáticas donde se van a sembrar.
- De ciclo corto y alta adaptación que permita que rápidamente cubran el suelo con abundante biomasa que impida el desarrollo de arvenses, conserve la humedad y proteja el suelo contra la erosión, entre otras cualidades ligadas.
- Es importante tener en cuenta el cultivo anterior y posterior a establecer y el estado de fertilidad del suelo. Así los AV pueden tornarse complementarios en múltiples propósitos.
- Como lo expresan Prager *et al.* 2001: "los AV durante los primeros años tendrán que adaptarse a los sistemas agrícolas ya existentes y no al contrario".

Inicialmente los AV se establecen como coberturas vegetales, se mantienen y posteriormente se incorpora su biomasa en los primeros centímetros del suelo, generalmente *in situ*.

Antes de la siembra, es necesario tomar decisiones con respecto a la preparación o no del terreno, pues transcurrida esta primera adecuación, se pretende que las raíces de los AV y cultivos se encarguen de esta labor en los períodos siguientes. Otras decisiones giran en torno a la planificación de la época de siembra, idealmente, al inicio de temporada de lluvias sino se cuenta con riego y, con el intervalo suficiente para que se disponga de tiempo entre el momento de corte y siembra del siguiente cultivo, en caso de rotación, que alcancen la floración antes de ser cubiertos y/o establecer alta competencia con el cultivo principal, en caso de siembra intercalada (Prager *et al.* 2001).

Para la planificación de siembra y corte, se tiene en cuenta si el agricultor lo considera o no como parte de la dieta alimentaria propia y de sus animales. En caso de no requerir las semillas, el corte del AV se hace general-

mente, en floración, en busca de aunar a la producción de biomasa, la relación C/N que influye en su tasa de mineralización y, además, aprovechar el incremento de hormonas y promotores de crecimiento que acompaña esta etapa fenológica, los cuales se van a incorporar al suelo y van a tener efectos notorios sobre el cultivo y/o los cultivos principales (Birbaumer *et al.* 2000, Gómez y Sánchez de P 2000, Sánchez de P y Prager 2001).

En el caso de las leguminosas, la biomasa se incorpora, preferiblemente, en estado fenológico de prefloración ya que es ahí cuando se obtiene la mayor cantidad de N₂ fijado y acumulado en su biomasa como compuestos orgánicos. Sin embargo, Bunch (2003), sostiene que algunos campesinos latinoamericanos, incorporan los AV bastante después de la floración, e inclusive cuando el tejido vegetal está maduro.

La Figura 1 ilustra la forma como se siembran e incorporan al suelo los residuos vegetales de Haba (*Vicia*

faba) en sistemas tradicionales de Bolivia (Ay B), el establecimiento de *Canavalia ensiformis* combinada con la gramínea *Axonopus scoparius* (C) e individual de *Mucuna pruriens* (D), en el Valle del Cauca (Colombia).

Los AV se pueden cosechar en forma manual, mediante el uso de herramientas cotidianas o implementos diseñados con este fin específico, como lo hizo el Proyecto Checua, 2000 referenciado por Hernández y Viteri (2005), liderado por la GTZ y la CAR en el altiplano cundiboyacense colombiano.

Una vez cortado el AV, cuando se va a efectuar rotación, varios autores aconsejan dejarlo sobre el suelo por dos o tres semanas, aportando las ventajas comparativas propias de su presencia y que se inicie su degradación, en forma tal que se asegure un aporte previo de nutrientes al nuevo cultivo. En caso de que sea AV intercalado el estado de madurez, que se expresará en relación C/N, cobra importancia, con el fin no cau-

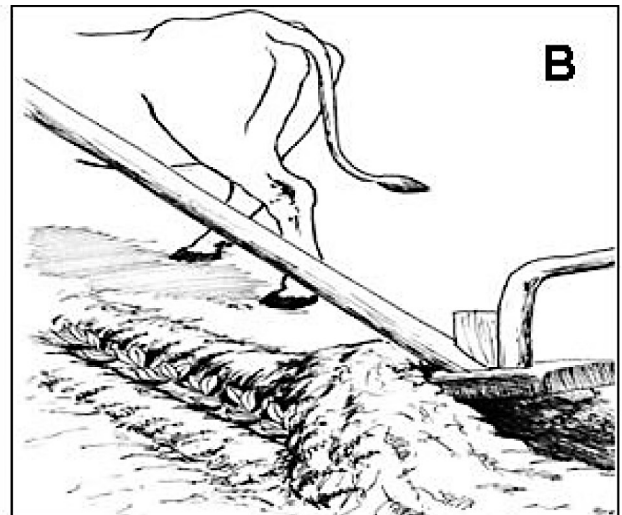
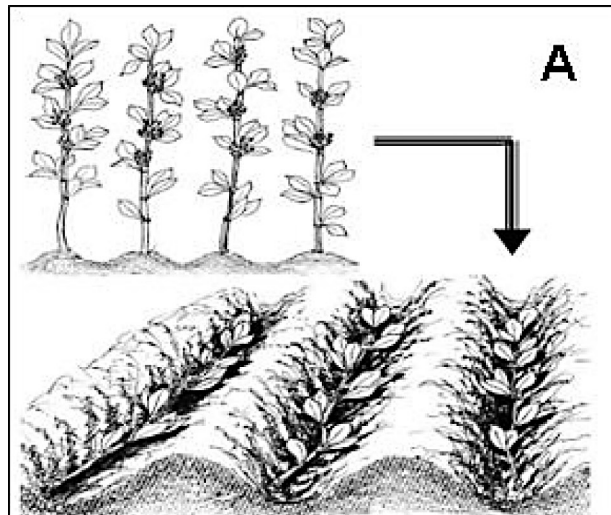


Figura 1: Siembra e incorporación de haba (*Vicia faba*) como abono verde, (A) De forma manual y (B) mediante Yunta (Fuente: Cartilla No. 10 del proyecto JALDA Bolivia, 2003), (C) AV listos para ser cortados, resultado de la mezcla de *Canavalia ensiformis* y *Axonopus scoparius* (Marin *et al.* 2011), (D) Cultivo de cobertura de *Mucuna pruriens*, listo para incorporarse en forma manual, como AV en Laderas del Valle de Cauca – Colombia (Sanclémente y Prager 2009).

Tabla 2. Especies de más amplio uso como AV y sus efectos benéficos para los cultivos. Adaptado de: Catizone y Meriggi 1994, Bunch 1994. (†) Efecto medio, (††) efecto alto y (†††) efecto muy alto.

Especie	Nombre común	Control lixiviación de Nitrógeno	Fijación de N ₂	Efecto herbicida	Efecto antipatógeno	Aporte de Materia orgánica
<i>Avena sativa</i>	Avena blanca	†		†		††
<i>Lolium multiflorum</i>	Raygrass	†		†		†
<i>Secale cereale</i>	Centeno	†		††		††
<i>Sesbania cannabina</i>	Sesbania	†	†	†	†	†
<i>Mucuna pruriens</i>	Frijol terciopelo	††	††	††	††	†
<i>Crotalaria juncea</i>	Crotalaria	†	†	†	†	†
<i>Trifolium subterraneum</i>	Trébol subterráneo	†	†	†		†
<i>Trifolium pratense</i>	Trébol blanco	†	†	†		†
<i>Vicia villosa</i>	Arvejilla	†	†	†		†
<i>Vigna sinensis</i>	Caupí	†	††	†	†	†
<i>Vicia faba</i>	Haba	†	†	†		†
<i>Raphanus sativus</i>	Rábano forrajero	†		†	†	††
<i>Phacelia tanacetifolia</i>	Facelia	†		†		†
<i>Dolichos lablab</i>	Dólicos	†	††	†		†
<i>Canavalia ensiformis</i>	Canavalia	†	††	†	†	††
<i>Cajanus cajan</i>	Guandúl	†	††	†	†	†
<i>Arachis pintoi</i>	Maní forrajero	†	†	††	†	†
<i>Phaseolus coccineus</i>	Chinapopo	†	††	†		†
<i>Lathyrus nigrivalvis</i>	Choreque	††	†	†		††
<i>Lupinus mutabilis</i>	Tarhuí	††	†††	†	†	††

sar inmovilización de nutrientes (Birbaumer *et al.* 2000, Sanclemente y Prager 2009, Gallego *et al.* 2010).

La incorporación de la biomasa de los AV hace que se conviertan rápidamente, en sustrato y sufra un proceso de mineralización en el suelo, gracias a la acción de la biota presente. En un engranaje multifuncional, al inicio actúa principalmente la macro y mesobiota que trozan y consumen los materiales verdes. Acompañando esta actividad y durante todo el proceso, la microbiota degrada y transforma los materiales orgánicos en nutrientes minerales que las plantas pueden absorber con facilidad (Velazco *et al.* 2001, Alarcón *et al.* 2002, Randhawa *et al.* 2005, Sánchez de Prager *et al.* 2007).

El proceso es influenciado por factores como temperatura, pH, textura y humedad en el suelo, entre otros (Myers *et al.* 1994). Como se dijo con anterioridad, la relación C/N es determinante cuando se aplican los AV pues influye directamente en la actividad biológica y, por tanto, en la mineralización rápida o lenta (Angel y Prager 1989, Benzing 2001, Bunch 2003, Gallego *et al.* 2010). En esta forma, se enriquece de manera gradual la solución del suelo con diversidad de compuestos disponibles para las plantas, convirtiéndose esto en una ventaja en comparación con los fertilizantes de síntesis química, que por su alta solubilidad no se acumulan, sino que, por el contrario, se lixivian o se pierden con la escorrentía (Randhawa *et al.* 2005, Gallego *et al.* 2010).

Especies de más amplio uso como av

Agricultores de varios países del mundo, en especial de los continentes de África, Asia y América, han utilizado numerosas especies vegetales como AV, y, la investigación científica ha permitido explicar sus efectos desde diferentes perspectivas: contribución al suelo, los rendimientos del cultivo, la sanidad, lo ambiental, entre otras. La Tabla 2, resume las especies más usadas como AV a nivel mundial.

El frijol terciopelo (*Mucuna pruriens var. utilis*) se destaca como la especie más utilizada como AV en cultivos de maíz, tanto en sistemas tradicionales en Centroamérica (Honduras, El Salvador, Nicaragua), como en otros programas de desarrollo en el mundo (Bunch 1994, Anthofer y Kroschel 2005, Blanchart *et al.* 2006). Entre las ventajas obtenidas con su uso se destacan: la alta tasa de fijación de N₂ (hasta 150 kg N total.ha⁻¹), el control de arvenses por efectos alelopáticos e interferencia lumínica por su rápida cobertura, el control de nematodos y varias pudriciones causadas por hongos de los géneros *Phytophthora* y *Rhizoctonia* (Bunch 1994). Es altamente invasora por lo cual, requiere de podas. Se la cultiva desde el nivel del mar hasta los 1500 m.

Canavalia (*Canavalia ensiformis*) se la considera menos agresiva que el frijol terciopelo, apta para condiciones extremas de sequía, pobreza y acidez en los suelos y sombrío. Por ello, se la recomienda en suelos marginales. Llega a fijar hasta 240 kg N total.ha⁻¹, es albergadora de

insectos benéficos controladores de plagas, presenta buenas condiciones sanitarias durante todo el año. Puede producir entre 40-50 t/ha de material verde (Angel 1988). Bunch (1994), registra que puede cultivarse asociada con maíz, yuca, sorgo, tomate, ají, entre otros cultivos. Puede sembrarse desde el nivel del mar hasta 1600 msnm.

Crotalaria (Crotalaria juncea) además de producir alta biomasa (hay registros de 70 t/ha de material verde), en rotaciones con sorgo, maíz, arroz, algodón y caña de azúcar, incrementa los rendimientos de estos cultivos en 40% (Gutiérrez 1988). Estos efectos son el resultado de los aportes de 300-360 kg N total.ha⁻¹, su alta tolerancia a la sequía, poseer actividad nematicida, al igual que ser albergadora de insectos benéficos¹ (Angel 1988, Prager *et al.* 2001).

Guandul o frijol de año (*Cajanus cajan*), especie multipropósito, que se adapta a suelos degradados y muy pobres, sequía, taladradora y solubilizadora de rocas² y fuente de alimento, se ha estudiado como AV en rotación con cultivos como piña, caña de azúcar, maíz y, en Colombia, establecida en calles de cafetales (Suárez y Gómez 1975). Se privilegia esta leguminosa por el consumo de sus semillas como alimento que sustituye la arveja en estado verde y como forraje. Se han registrado rendimientos medios de 57 t/ha de materia seca (Ángel 1988).

Vicia (*Vicia atropurpurea*) puede utilizarse como alimento para animales por su alto valor nutritivo, mezclada con otras plantas. Birbaumer *et al.* (2000), sugieren que incrementa los rendimientos del maíz. Se adapta a regiones entre los 1500 y 2500 m. Tarhuí (*Lupinus mutabilis*) puede llegar a fijar hasta 400 kgN.ha⁻¹ y adaptarse a climas fríos.

También, por su frijol comestible, adaptación a sequía, baja fertilidad y resistencia a plagas, se emplea AV acoyote o chinapopo (*Phaseolus coccineus*) desde el norte de México hasta el sur de Colombia. Bunch (1994), registra que hay productores en Centroamérica que han cultivado este frijol asociado con maíz por más de veinte años seguidos, con buenas productividades y sin empleo de fertilizantes de síntesis química industrial. Otras leguminosas recomendadas como AV son: frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), soya (*Glycine max*), frijol mungo (*Vigna radiata*), caupí (*Vigna unguiculata*) y frijol arroz (*Vigna umbellata*) (Bunch 1994).

Dentro de especies destacadas como AV, no leguminosas, están el nabo forrajero (*Raphanus sativus* L.),

que posee un sistema radical que alcanza los 30 cm de profundidad, con efectos alelopáticos, disminuye la incidencia de *Rhizoctonia solani*. La baja relación C/N que lo caracteriza lleva a que se mineralice muy rápidamente, sin embargo, su actividad alelopática no desaparece y permite que el cultivo posterior permanezca libre de arvenses (Birbaumer *et al.* 2000).

Entre las gramíneas como AV sobresalen el centeno (*Secale cereale*), por su rusticidad, sistema radical fibroso que aporta a la estructuración del suelo, la posibilidad de ser fuente de alimentación animal y humana que aporta abundante biomasa al suelo y alto poder al controlar arvenses por su acción alelopática (Birbaumer *et al.* 2000, Prager *et al.* 2001). Otras especies de interés son avena negra (*Avena strigosa*), avena caldas o cayuse (*Avena sativa*), trigo (*Triticum aestivum*), trigo sarraceno (*Fagopirum esculentum*) pasto gordura, higuierilla (*Ricinus communis* L.), quinua (*Chenopodium quinua*), girasol (*Helianthus annuus* L.) (Prager *et al.* 2001, Viteri *et al.* 2008).

Otra posibilidad de AV a nivel de agroecosistema la constituye el barbecho formado por la mezcla de arvenses presentes por ejemplo, en etapas de descanso. La diversidad presente puede asegurar condiciones de disponibilidad de nutrientes y ventajas comparativas asociadas a estímulos del crecimiento y control de arvenses y plagas.

Validación de los beneficios de los AV a través de la investigación

Distintas investigaciones en el mundo han validado los beneficios obtenidos con la adopción de AV en los sistemas de cultivo. Ángel (1988), hace una reseña de trabajos de investigación llevados a cabo en el mundo y en Colombia en torno a AV. Hay coincidencia en que propósito principal de esta tecnología agroecológica, es gestionar la materia orgánica del suelo generada por el uso eficiente de la energía solar a través de la fotosíntesis, la acumulación de biomasa vegetal viva, que, en el tiempo se convierte en alimento humano, animal y/o biomasa muerta sujeta a la acción de la biota del suelo que cicla los nutrientes que contiene y los hace disponibles en el agroecosistema. Fuera de ello, el efecto que tienen en el control de arvenses y la prevención de enfermedades ocasionadas, especialmente, por hongos y nemátodos.

Con el uso de leguminosas, se incrementa el ciclaje del N gracias al potencial de fijación de este elemento desde el estado gaseoso N₂ hasta formas amonificadas que posteriormente se bioacumulan en moléculas ricas en nitrógeno y que también, en parte, se nitrifican. Sin embargo, hay otros elementos que pueden ser absorbidos, sintetizados y posteriormente devueltos al suelo tras la incorporación del material vegetal procedente de los restos de leguminosas.

Wildner (1990), evaluó en distintas partes del mundo, el potencial de acumulación de nutrientes de algunas

1 Intercalada con yuca *Manihot esculenta*, en cultivos en el norte del Cauca (Colombia), la hemos observado involucrada efectivamente en la baja de poblaciones de cachón de la yuca *Erynnis ello*, mediante los controladores biológicos a los cuales da albergue.

2 Observaciones personales de Sánchez de P 2006, en suelos degradados sujetos a minería de carbón. Ecoparque Cerro "La Bandera", Cali Colombia, se la ha observado creciendo sobre las rocas, contribuyendo a su degradación.

especies usadas como AV. Encontró altos contenidos de P y K en arvejilla (*Vicia villosa*) y rábano forrajero (*Raphanus sativus*), con valores cercanos al 0.35% de P y 3% de K en materia seca. En el mismo estudio, se obtuvieron altos contenidos de Ca y Mg en frijol terciopelo (*Mucuna pruriens*) y crotalaria (*Crotalaria juncea*) con valores cercanos a 1% de Ca y 0.4% de Mg en materia seca. Estos resultados son similares a registros de Buckles y Tiomphe (1998), Anthofer y Kroschel (2005) y Shoko (2009).

Sharma *et al.* (1982) y Santos *et al.* (1987), evaluaron el efecto del uso de distintos abonos verdes como tecnologías de bajo costo, sobre el control de nemátodos en el cultivo de trigo en suelos ferrasoles de los Estados Unidos. *Dolichos lablab*, *Crotalaria grantiana*, *Mucuna pruriens* y *Canavalia ensiformis* fueron especies de amplio espectro y las más promisorias para control de nemátodos. Blanchart *et al.* (2006), encontraron resultados similares.

Sin embargo, existen otros beneficios de la adopción de los AV como tecnología de cultivo, los cuales, trascienden al campo económico, social y cultural (Tabla 1). La reducción de los costos de producción de los cultivos gracias a la disminución de insumos (fertilizantes, herbicidas y nematicidas), la posibilidad de uso de algunas especies como forraje y consumo humano favoreciendo la soberanía y seguridad alimentarias familiar, local y regional, la conservación y manejo de las semillas en el tiempo y el espacio y, sus efectos sobre la conservación del suelo y del ambiente, están entre los más notables.

El uso de AV como tecnología agroecológica en Colombia

En Colombia, durante los últimos treinta años se han desarrollado algunos proyectos encaminados hacia identificar asociaciones de AV como fuente de aporte de materia orgánica en suelos con baja fertilidad. A finales de los años 80 se inició en el departamento de Boyacá un proyecto de cooperación colombo-alemán, entre la corporación autónoma regional de las cuencas de los ríos Bogotá, Ubaté y Suárez (CAR) y la entidad estatal alemana GTZ, el cual recibió el nombre de proyecto Checua. Uno de los programas del proyecto se encaminó hacia prácticas de manejo y conservación del suelo, siendo una de ellas el uso de coberturas vegetales y AV (Ángel 1988, Birbaumer *et al.* 2000).

Ángel y Prager (1989), en el municipio de Santander de Quilichao (Departamento del Cauca), evaluaron durante dos años la influencia de tres AV: *Crotalaria*, *Canavalia* y *Cajanus* sobre los rendimientos de los sistemas de producción maíz-soya, maíz-frijol y maíz-caupí e igualmente sobre la fertilidad del suelo. En el primer año analizaron variables como nodulación por rizobios, precocidad, acumulación de materia seca de estas tres leguminosas y su efecto sobre el rendimiento de los diferentes sistemas de producción maíz-leguminosa y

seleccionaron uno, con base en mayor rendimiento. Sobre éste, en el segundo año estudiaron el efecto residual de los AV previamente incorporados, la adición de una segunda incorporación de éstos y la adición de abono químico. Las variables evaluadas fueron rendimiento equivalente de maíz, ingreso neto y tasa de retorno marginal. Para observar el efecto de los AV sobre el suelo, se tomaron muestras en diferentes etapas del ensayo y analizaron algunas de sus características físicas. Los resultados mostraron que de los tres AV, *Crotalaria* aportó más de 2 t/ha de materia seca, presentó mayor precocidad, aporte de nitrógeno al suelo y su efecto fue altamente significativo sobre la asociación maíz-caupí.

En el segundo año hallaron que la re-incorporación de abonos verdes tuvo efecto positivo sobre los rendimientos del sistema de producción maíz-caupí, los cuales difirieron estadísticamente de los presentados por el testigo en términos de rendimiento equivalente en maíz y las variables de tipo económico evaluadas. En cuanto a posibles efectos de los AV en algunas características físicas del suelo bajo estudio, no se encontraron cambios significativos, resultados que se atribuyeron a la corta duración del ensayo y al efecto de estos AV especialmente en disponibilidad de nutrientes para el sistema de producción evaluado maíz-caupí.

En un suelo de Palmira (Valle del Cauca), Martínez³, en 1996, asoció *Canavalia ensiformis* con caña de azúcar (*Sacharum officinarum*) y maíz (*Zea mays*) intercalados, fertilizados con abono orgánico producido en la misma finca. Incorporó el AV al momento de la floración. En un ciclo de cultivo evaluado, los rendimientos en azúcar alcanzaron más del 13%, considerados altos dentro de la zona y los más altos obtenidos en dicha finca durante varios ciclos de cultivo.

En otro estudio realizado por Sánchez *et al.* (1998), en la Mojana (Costa Caribe de Colombia), se evaluó el potencial de algunos abonos verdes como crotalaria (*Crotalaria juncea* L.), canavalia (*Canavalia ensiformis* L.), frijol caupí (*Vigna unguiculata* L.) y vitabosa (*Mucuna deeringianum* L.), para mejorar la capacidad productiva de suelos arroceros. La especie *Crotalaria juncea* L. sobresalió por su alta productividad de biomasa (11.6 t MS.ha⁻¹), seguida de *Mucuna deeringianum* (7.7 ton MS.ha⁻¹). Sin embargo, los mayores rendimientos en grano seco de arroz, se obtuvieron en el tratamiento compuesto de vitabosa más fertilización de síntesis química industrial (60 kg N.ha⁻¹), donde se alcanzaron 4.3 t.ha⁻¹.

Salazar *et al.* (2004), evaluaron en zona de ladera del municipio de Piendamó (Cauca), la relación entre AV y productividad de yuca *Manihot sculenta*. El uso de sorgo (*Sorghum vulgare*) como AV propició el mayor rendimiento del cultivo (17.08 ton.ha⁻¹), seguido de la mezcla de millo (*Panicum miliaceum* L.) y frijol (*Phaseolus vul-*

3 Martínez Elizabeth, agricultora ecológica, propietaria de la finca El Rosario (Lote 5), localizada en El Bolo Hartonal (Palmira, Valle del Cauca) (com. pers.).

garis L.) (16.9 ton.ha⁻¹), rendimientos que se consideran sobresalientes para las condiciones del suelo y las características agroecológicas de la zona.

Hernández y Viteri (2005), evaluaron el potencial de algunas especies usadas como AV en la rehabilitación de suelos sulfatados ácidos del municipio de Paipa (Boyacá). Nabo forrajero (*Raphanus sativus* L.), avena (*Avena sativa* L.) y centeno (*Secale cereale* L.), fueron las especies de mayor importancia del estudio, debido a su alta producción de biomasa, aporte de materia orgánica y control de arvenses. Esto las proyecta como adecuadas para las condiciones de suelos con bajo contenido de materia orgánica y valores altos de acidez intercambiable.

Viteri *et al.* (2008), evaluaron las asociaciones de vicia (*Vicia atropurpurea*) en combinación con avena caldas (*Avena sativa* L.), girasol (*Helianthus annuus* L.), higuierilla (*Ricinus communis* L.), nabo forrajero (*Raphanus sativus* L.) y quinua (*Chenopodium quinua*), como AV en suelos ácidos del municipio de Turmequé (Boyacá). La asociación *Vicia atropurpurea*, avena caldas y nabo forrajero obtuvo la mayor productividad de materia seca (8.6 ton.ha⁻¹) a los 105 días después de la siembra. Estos valores fueron significativamente mayores a los obtenidos en las demás asociaciones y considerados altos para la zona agroecológica de estudio. El uso de higuierilla, permitió una reducción significativa de las arvenses asociadas, lo que pudo deberse a compuestos alelopáticos de la especie.

En otro estudio adscrito al Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), desarrollado por Cobo *et al.* (2008), en un suelo inceptisol del departamento del Cauca, encontraron mayor eficiencia en el aporte de nutrientes (N y P) usando como AV, la mezcla de residuos de *Indigofera constricta* y *Mucuna pruriens*.

La Universidad Nacional de Colombia a través de su grupo de investigación en Agroecología, adelanta investigación tendiente a validar el uso potencial de AV como tecnología agroecológica para el mejoramiento de algunas propiedades del suelo, su influencia en la conservación y capacidad de suplir los requerimientos nutricionales de los cultivos y de contribuir a la mitigación del cambio climático a través de sus beneficios multifuncionales.

Sanclemente y Prager (2009), evaluaron el uso de *Mucuna pruriens* como mulch y AV sobre algunas propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo de ladera clasificado como *Typic Haplustalfs* en Palmira (Valle del Cauca). Se encontró un incremento en el suelo de 201 kgN.ha⁻¹ cuando se usó *Mucuna pruriens*, en comparación con el testigo. Estos valores tuvieron correlación con los rendimientos de grano seco de maíz, los cuales fueron de 6.5 t.ha⁻¹, 4.8 t.ha⁻¹ y 4.1 t.ha⁻¹, para el mulch, AV y testigo, respectivamente. Diels *et al.* (2006) registran resultados similares a los obtenidos.

También en un *Humic Dystrudepts* del Valle del Cauca

se evaluó el efecto de AV compuesto por la mezcla de *Canavalia ensiformis* y *Axonopus scoparius* sobre diferentes características del suelo, cultivo del maíz *Zea mays* L. y producción de GEI. Con un diseño de bloques completos al azar se establecieron: T: testigo, con manejo local sin ninguna adición, Q: Fertilización con productos de síntesis química industrial (250 Kg.ha⁻¹ NPK 10-30-10), AV: Incorporación de AV, C: incorporación de compost, AVC: Incorporación de AV y compost. En C y AV ocurrió la mayor respiración del suelo, evaluada a través de C-CO₂, lo cual indica alta mineralización de nutrientes en estos tratamientos (Hernández y Sánchez de P 2011).

Coincidente con estos resultados, en este mismo ensayo se encontró que, bajo las condiciones evaluadas, los fertilizantes orgánicos proporcionaron similares contenidos de Nitrógeno inorgánico al suelo comparados con fertilizantes de síntesis industrial. Los incrementos porcentuales de Nitrógeno inorgánico al final del ciclo decrecieron para T y Q, mientras que aumentaron para AV, C y AVC, indicando acumulación del nutriente, lo cual es explicable por la mineralización gradual de los materiales orgánicos (Gallego *et al.* 2010).

El mayor aporte de GEI lo hizo el CO₂ (66%), seguido por N₂O (29.6%) y el menor, correspondió a CH₄. El potencial de calentamiento global, representado en equivalentes de CO₂ mostró que T al igual que C fueron los tratamientos con menores aportes. Por el contrario, hubo incrementos en Q, AV y AVC (Correa y Sánchez de P 2010). La práctica que más influyó sobre la emisión de GEI, fue la remoción del suelo para la incorporación de los AV y compost. En varias investigaciones se han encontrado efectos similares sobre el CO₂ evaluado, dado que se incrementa la actividad microbiana sobre la materia orgánica adicionada, razón por la cual, en una nueva fase de esta investigación, se busca aplicar los mismos AV incorporados como se hizo en este trabajo y evaluar el efecto de dejarlos como cobertura vegetal.

A MANERA DE DE SÍNTESIS

La presente recopilación de información sumada al trabajo de campo permite señalar que hay información sistematizada y validada con respecto al uso y bondades de los AV como práctica agroecológica multipropósito, pues suma dentro del manejo agronómico: a la conservación y manejo del suelo, a la disponibilidad de nutrientes de los cultivos intercalados o en rotación, al uso eficiente de los recursos naturales, a prescindir o reducir el uso de insumos externos de síntesis química industrial (fertilizantes, herbicidas, biocidas); a la seguridad y soberanía alimentaria dentro de las fincas tanto para los animales como para el grupo familiar, entre otros beneficios.

Con respecto al ambiente, los aspectos más estudiados con relación a esta práctica, además de lo concerniente a calidad del aire y del agua, al disminuir el uso

de insumos de síntesis química industrial, está la contribución de los AV a la regulación del agua, al convertirse en reservorios y reguladores de humedad, de la temperatura del suelo y a la conservación del suelo y el agua, en general, como bienes finitos.

Actualmente se incursiona en su efecto sobre GEI y mitigación de cambio climático. Estudios preliminares señalan que la incorporación de los AV estimula la descomposición de la materia orgánica y por lo tanto C-CO₂. Sin embargo, dentro de sistemas complejos como los que impulsa la agricultura ecológica, en los cuales la biodiversidad es factor clave, se podría esperar que este GEI sea consumido dentro del agroecosistema, al igual que se auto-regulen N₂O y CH₄. Sin embargo, otra alternativa dentro de esta práctica, podría ser prescindir de la incorporación y manejar el AV como cobertura vegetal, dado que su baja relación C/N y las moléculas que lo integran, podrían asegurar el suministro de nutrientes. Estos son aspectos a abordar en nuevas investigaciones.

Esta práctica agroecológica requiere ser incorporada cotidianamente al manejo de los agroecosistemas y generalizar su uso, con el fin de acumular sus efectos en el tiempo y asegurar la sostenibilidad local y regional. Para ello se requiere un trabajo continuo sobre la cultura de los agricultores y allí, la Universidad y las instituciones que trabajan diariamente con los agricultores, tienen un papel a cumplir.

Referencias

- Alarcón A, Davies FT Jr, Eguilla JN, Fox TC, Estrada-Luna AA, Ferrera-Cerrato R 2002 Short term effects of *Glomus claroideum* and *Azospirillum brasilense* on growth and root acid phosphatase activity of *Carica papaya* L. under phosphorus stress. Rev. Latinoam. Microbiol. 44: 31-37.
- Ángel DI. 1988. Evaluación de Abonos Verdes en el Sistema de Producción Maíz – Leguminosas. Tesis Ingeniería agronómica, Meritoria. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.
- Ángel DI, Prager M. 1989. Contribución de los Abonos Verdes al Mejoramiento de la Calidad de los Suelos. Serie Producción Campesina Agropecuaria. Cali, Colombia: CELATER. FUNDAEC.
- Anthofer J, Kroschel J. 2005. Above ground biomass, nutrients, and persistence of an early and a late maturing *Mucuna* variety in the Forest–Savannah Transitional Zone of Ghana. Journal Agriculture ecosystems and environment 110: 59-77.
- Astier M., Maass J., Etchevers B., Peña J., González F. 2006. Short-term green manure and tillage management effects on maize yield and soil quality in an Andisol. Soil and Tillage Research 88(1): 153-159.
- Benzing A. 2001. Agricultura orgánica: Fundamentos para la región andina. Willingen, Alemania: Neckar-Verlag.
- Birbaumer G, Farfán PN, Fernández MP, Moreno CM, Roncancio E, Hernández F, Garzón G, Otero W, Ortiz J., Castro CJ, Kramarski A, Martínez A, Serrato J, Rojas J, Fandiño A, Márquez N. 2000. Cultivar sin arar, labranza mínima y siembra directa en los Andes. CAR- GTZ. Proyecto Checua. CAR – KWF. GTZ. Bogotá, Colombia.
- Blanchart E, Villenave C, Viallatoux A, Barthès B, Girardin C, Azontonde A, Feller C. 2006. Long-term effect of a legume cover crop (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) on the communities of soil macrofauna and nematofauna, under maize cultivation, in southern Benin. European Journal Soil Biology 42: 136-144.
- Buckles D, Tiomphe B. 1998. Cover crops in Hillside Agriculture, Farmer innovation with *Mucuna*. IDRC and CIMMYT, Ottawa, Canada.
- Bunch R. 1994. El uso de abonos verdes por agricultores campesinos: lo que hemos aprendido hasta la fecha. Centro de información de cultivos de cobertura CIDICCO, Informe técnico 3.
- Bunch R. 2003. Adoption of green manure and cover crops. Leisa 19: 16-18.
- Catiozione P, Meriggi P. 1994. *Ruole e gestione della copertura vegetali*. Informatore Fitopatológico Rev 44 (7-8): 3 – 14.
- Cobo JC, Barrios E, Delve R. 2008. Decomposition and Nutrient Release from Intra-specific Mixtures of Legume Plant Materials. Journal Communications in Soil Science and Plant Analysis 39: 616–625.
- Correa R, Sánchez de Prager M. 2010. Estudio preliminar de la capacidad de un suelo para retener gases con efecto invernadero (GEI) en un ciclo de cultivo de maíz (*Zea mays* L.) bajo abonos verdes. Memorias del VI simposio nacional de Agroecología, Unicauca Popayán Colombia.
- Costa M, Calegari A, Mondardo A, Bulisani EA, Wildner LP, Alcântara PB, Miyasaka S, Amado TJC. 1992. Adubação verde no sul do Brasil. Rio de Janeiro, ASPTA.
- Diels J, Dercon G, Pypers P, Van Loon L, Merckx R, Aihou K, Vanlauwe B. 2006. Improving sustainable intensification of cereal-grain legume cropping systems in the savannahs of West Africa: quantifying residual effects of legumes on maize, enhancing mobilization by legumes and studying long-term soil organic matter (SOM) dynamics. En Management Practices for Improving Sustainable Crop Production in Tropical Acid Soils. Viena: International Atomic Energy Agency, 65-82 pp.
- Dhima K, Vasilakoglou J, Gatsis Th, Panou-Philothou E, Eleftherohorinos L. 2009. Effects of aromatic plants incorporated as green manure on weed and maize development. Field Crops Research, 110(3): 235-241.

- Gallego J, Prager M, Sánchez de P. 2010. Efectos de dos abonos verdes sobre la mineralización del nitrógeno y la dinámica de las bacterias oxidantes del amonio y del nitrito en un ciclo productivo de maíz (*Zea mays* L.). Memorias del II congreso internacional de agroecología. Memorias del VI simposio nacional de Agroecología, Unicauca Popayán Colombia.
- Gómez ZJ, Sánchez de Prager M. 2000. El proceso de descomposición de residuos vegetales. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Cuaderno de microbiología 10: 1-16.
- Gutiérrez PD. 1988. Efecto de la rotación de cultivos y los abonos verdes sobre la producción de arroz (*Oryza sativa* L.). Suelos Ecuatoriales 18 (1): 160-165.
- Hernández A, Sánchez de Prager M. 2011. Actividad biológica en un inceptisol sembrado con maíz *Zea mays* L. bajo abonos verdes en la Buitrera, Valle del Cauca. Acta Agronómica (en prensa).
- Hernández D, Viteri S. 2005. Selección de Abonos verdes para el manejo y rehabilitación de los suelos sulfatados ácidos de Boyacá (Colombia). Agronomía Colombiana 24 (1): 131-137.
- Lee H, Park K, Jung K, Aslam M, Lee D, Gutierrez J, Kim P. 2010. Effect of Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus* L.) as a green manure on rice productivity and methane emission in paddy soil. Agriculture, Ecosystems & Environment. 138(3): 343-347.
- Myers RJK, Palm CA, Cuevas E, Gunatilleke IUN, Brossard M. 1994. The synchronisation of nutrient mineralisation and plant nutrient demand. En The biological management of tropical soil fertility (Woomer PL, Swift MJ, eds). Chichester: Wiley 81-116 pp.
- Prager M, Victoria JA, Sánchez de Prager M, Gómez ED, Zamorano A. 2001. El suelo y los Abonos Verdes, una alternativa de manejo ecológico. Cuadernos ambientales 7. Universidad Nacional de Colombia, Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural.
- Randhawa P, Condrón L, Di H, Sinaj S, McLenaghan R. 2005. Effect of green manure addition on soil organic phosphorus mineralization. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 73 (1):178-189.
- Salazar M, Prager M, Ararat E. 2004. Evaluación de abonos verdes en el cultivo de Yuca (*Manihot sculenta* Krantz) en un inceptisol de la zona de ladera del departamento del Cauca, Colombia (inédito).
- Sánchez C, Ramírez M, Rivera B, Garcés R, Montiel V, Corredor G. 1998. Abonos verdes alternativa para mejorar la capacidad productiva de los suelos arroceros de la Mojana. Memorias del encuentro nacional de labranza de conservación CORPOICA, Villavicencio Colombia, pp. 217- 225.
- Sánchez de Prager M, Prager M. 2001. Nociones fundamentales para el manejo ecológico de los problemas fitosanitarios. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira: Feriva.
- Sánchez de Prager M, Gómez E, Muñoz JE, Barrios E, Prager M, Bravo N, Mabrouk E, Pérez J, Azakahua N, Marmolejo F, Cadavid L, Quintero R, Miranda JC, Mier C, Torres R, Trinidad J, Zapata C, Tofiño R, Benjumea C, Díaz G, Trujillo L, Bonilla F, Espinosa JC, Rodríguez H, García H, Frans W, Carlosama C, Vargas N. 2007. Las Endomicorizas: Expresión bioedáfica de importancia en el trópico. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Sánchez de Prager M, Posada R, Velásquez D, Narvaez M. 2010. Metodologías básicas para el trabajo con Micorriza arbuscular y hongos formadores de micorriza arbuscular. Universidad Nacional de Colombia, Palmira.
- Sancllemente O, Prager M. 2009. Efecto del cultivo de cobertura y abono verde: *Mucuna pruriens* en las propiedades biológicas de un suelo *Typic Haplustalfs*, cultivado con maíz dulce (*Zea Mays* L.) en la zona de ladera del Municipio de Palmira Valle del Cauca, Colombia. Revista Brasileira de Agroecología 4 (2): 4133 – 4138.
- Santos HP, Reis EM, Pottker D. 1987. Efeito da rotação de culturas no rendimento de grãos e na ocorrência de doenças radiculares de trigo (*Triticum aestivum*) e de outras culturas de inverno e de verão de 1979 a 1986. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, (Documentos 7).
- Sharma RD, Pereira J, Resck DV. 1982. Eficiência de adubos verdes no controle de nematódes associados a soja nos cerrados. Planaltina: EMBRAPA/CPAC, (Boletim de Pesquisa 13).
- Shoko M. 2009. Exploring phosphorus, *Mucuna* (*Mucuna pruriens*) and nitrogen management options for sustainable maize production in a depleted kaolinitic sandy loam soil of Zimbabwe. DPhil thesis. Stellenbosch : University of Stellenbosch.
- Suárez S, Gómez A. 1975. Utilización de guandul en la zona cafetera. Avances técnicos en Chinchiná 46: 1-4.
- Velazco VJ, Ferrera-Cerrato R, Alamraz-Suárez JJ. 2001. Vermicomposta, micorriza arbuscular y *Azospirillum brasiliense* en tomate de cáscara. Terra 19: 241.
- Viteri S, Martínez J, Bermúdez J. 2008. Selección de Abonos verdes para los suelos de Turmequé (Boyacá). Agronomía Colombiana 26 (2):332- 339.
- Wildner L. 1990. Adubação verde, cobertura e recuperação do solo em sistemas diversificados de produção. Chapecó, EMPASC/CPFP. (EMBRAPA, PNP Manejo e Conservação do Solo. Projeto 04386007/1). Relatório final.

AUMENTO DO RENDIMENTO DOS CULTIVOS ATRAVÉS DA SUPRESSÃO DE PLANTAS ESPONTÂNEAS EM SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO ORGÂNICO EM SANTA CATARINA, BRASIL

Miguel Altieri¹, Marcos Alberto Lana², Henrique von Hertwig Bittencourt³, Marcelo Venturi⁴, André dos Santos Kieling⁵, Jucinei José Comin⁴, Paulo Emílio Lovato⁴

¹College of Natural Resources, University of California, Berkeley, California, USA, CA 94720; ²Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research, CLARIS-LPB, Müncheberg, Germany; ³Curso de Agronomia, Universidade Federal da Fronteira Sul, Laranjeiras do Sul, PR, Brazil; ⁴Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brazil; ⁵Profissional Autônomo, São Gabriel, RS, Brazil. E-mail: agroeco3@berkeley.edu.

Resumo

Agricultores familiares de Santa Catarina, região Sul do Brasil, têm modificado o sistema de plantio direto convencional ao cobrir o solo utilizando diferentes misturas de culturas de cobertura sem uso de herbicidas como estratégia para reduzir a erosão e as flutuações na umidade e temperatura do solo, melhorando assim a qualidade do solo, o controle de plantas espontâneas e o desempenho das culturas. Entre os anos de 2005 e 2008 realizaram-se três experimentos que visaram a compreensão dos processos e dos mecanismos envolvidos no êxito de sistemas agroecológicos de manejo do solo (SAMS), com foco nos fundamentos envolvidos na supressão de plantas espontâneas, uma das principais vantagens dos sistemas agroecológicos de manejo do solo em comparação aos sistemas de plantio direto convencionais. Tanto os resultados obtidos através dos experimentos como das observações dos agricultores sugerem que plantas de cobertura podem melhorar a supressão de plantas espontâneas e conseqüentemente o rendimento das culturas agrícolas por meio de interferência física, alelopatia e também pelo melhoramento da qualidade dos solos. Os resultados dos experimentos indicam que a melhor mistura de culturas de cobertura deve incluir uma proporção significativa de ervilhaca, centeio e nabo-forrageiro; que estas misturas devem produzir grandes quantidades de biomassa; que sejam facilmente controladas por esmagamento com rolo-faca para formação de espessa cobertura sobre o solo.

Palavras-chave: Agroecologia, plantas de cobertura, cobertura morta, alelopatia, supressão de plantas daninhas, plantio direto.

Summary

Enhancing crop productivity via weed suppression in organic no-till cropping systems in Santa Catarina, Brazil

Family farmers in Southern Brazil modified the conventional no-till system by flattening cover crop mixtures on the soil surface as strategy to reduce soil erosion and lower fluctuations in soil moisture and temperature, improve soil quality, and enhance weed suppression and crop performance. From 2005 to 2008 three field experiments were done to understand the processes and mechanisms associated in successful organic conservation tillage systems (OCT), especially the underpinnings of ecological weed suppression, a key advantage of OCT systems over conventional no-till systems. The field experiments results as well as farmers observations suggest that cover crops can enhance weed suppression and hence crop yield productivity through physical interference, allelopathy and also a host of effects on soil quality. Results from the trials indicate that: the best cover crops mixture should include a significant proportion of rye, vetch and fodder radish; the mixtures should produce large quantities of biomass; the cover crops and mixtures should be easily suppressed by rolling in order to cover the soil with a thick mulch layer.

Keywords: Agroecology, cover crops, mulch, allelopathy, weed suppression, no-tillage.

Introdução

Em Santa Catarina, Sul do Brasil, agricultores familiares vivem em regiões com relevo e clima que provocam intensos processos erosivos do solo, especialmente se a cobertura vegetal não for manejada de forma adequada. Os programas governamentais de promoção da conservação dos solos não têm sido bem sucedidos em alcançar estes pequenos agricultores, principalmente devido aos altos custos de maquinário e insumos como fertilizantes e herbicidas, podendo estes últimos ser responsáveis por 25% dos custos de produção (do Prado *et al.* 2004). Como uma forma de resistência e manutenção de sua atividade, muitos agricultores familiares ainda cultivam lavouras anuais utilizando uma auto-suficiência criativa, com base em um sistema de plantio direto sem herbicidas. A redução da perda de solo por erosão e as menores flutuações na umidade e temperatura do solo levaram os agricultores a manejar a biomassa fresca sobre o solo, melhorando a qualidade deste e o desempenho das culturas. Por mais de duas décadas, diversos pesquisadores e agentes de assistência técnica e extensão rural se uniram aos agricultores desenvolvendo sistemas de conservação do solo com o uso de adubos verdes e plantas de cobertura. O uso de plantas de cobertura minimizou a perda de solo por erosão, auxiliou no manejo de plantas espontâneas e apresentou efeitos positivos sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Petersen *et al.* 1999). Assim, surgiu um inovador sistema agroecológico de manejo do solo.

Ao contrário dos sistemas convencionais de plantio direto, estes sistemas agroecológicos de manejo do solo (SAMS) não dependem de herbicidas nem para o manejo das culturas de cobertura nem para controle de plantas espontâneas. Para tanto, empregam culturas de cobertura de verão ou de inverno que deixam uma camada espessa de resíduos de biomassa, onde, após esmagamento pelo rolo-faca, são plantadas ou semeadas diretamente culturas agrícolas tradicionais (milho, feijão, trigo, cebola, tomate, etc). Desta forma, as culturas agrícolas sofrem menos pela competição com plantas espontâneas durante a fase de estabelecimento do cultivo, atingindo assim níveis de rendimento agronomicamente aceitáveis. Dependendo da espécie utilizada como cultura de cobertura ou da combinação de espécies de culturas de cobertura, os resíduos vegetais podem diminuir o impacto causado pela presença de plantas espontâneas. Além das espécies utilizadas para a cobertura do solo, as respostas deste manejo dependem da quantidade e espessura dos resíduos vegetais; da taxa de degradação do resíduo; e da biologia de determinadas espécies de plantas espontâneas que constituem as populações (Fayad 2004). Com base em observações, agricultores relataram que o surgimento de certas espécies de plantas espontâneas diminuiu proporcionalmente em relação ao aumento da quantidade

e espessura de cobertura morta produzida. A adoção de sistemas de conservação é desigual e fragmentada em diferentes regiões do Estado de Santa Catarina, apesar da realização de pesquisa e experimentação em propriedades e campos experimentais de instituições de pesquisa agropecuária, da disponibilidade de germoplasma de cobertura vegetal para os ciclos de verão e inverno e para diferentes sistemas de rotações e cultivo, bem como para diferentes tipos de solos. Uma das possíveis razões é a escassez de pesquisas que esclareçam os fundamentos ecológicos destes sistemas, em especial, os processos envolvidos na supressão de plantas espontâneas e como estas influenciam a fertilidade do solo e o rendimento das culturas (Lana 2007). A experiência com outros sistemas agroecológicos (Altieri 2002) mostra que simplesmente copiar as misturas de cobertura vegetal utilizadas por outros agricultores não garante o êxito, pois o desempenho está ligado a processos que ocorrem em sistemas agroecológicos de manejo do solo (SAMS), e não restrito a espécies ou técnicas específicas. Neste contexto, como propriedades emergentes de um determinado sistema agrícola, surgem as plantas espontâneas e condições de fertilidade do solo adequadas para os cultivos. A sinergia associada à conservação dos solos neste caso torna difícil avaliar práticas individuais (cobertura versus sem cobertura) de forma eficaz, porque os testes experimentais de fatores únicos são ineficazes para revelar o verdadeiro potencial de um SAMS (Altieri 1995). O objetivo deste trabalho é analisar e entender os processos e mecanismos em jogo em SAMS bem sucedidos, incluindo os fundamentos ecológicos de supressão de plantas espontâneas, uma das principais vantagens deste sistema sobre os convencionais. A presente discussão baseia-se em três experimentos no Estado de Santa Catarina, cujos resultados contribuem para a elucidação dos mecanismos que fornecerão princípios e diretrizes para agricultores interessados em fazer a transição para sistemas agroecológicos de manejo do solo (SAMS).

O que se sabe sobre sistemas agroecológicos de manejo do solo (SAMS)?

Aspectos agronômicos

A erosão do solo resultante de atividades de manejo levou pesquisadores e agricultores a buscarem alternativas para reverter o processo de degradação do solo, concentrando-se na redução da movimentação do solo. Isso levou a movimentos de promoção da conservação do solo, ou mesmo plantio direto. Apesar de ser uma tecnologia importada, no Brasil, durante as quatro últimas décadas, o plantio direto convencional foi aperfeiçoado e adaptado para quase todos os tamanhos de propriedades agrícolas, tipos de solo, de culturas e zonas climáticas, sendo utilizado em mais de 17 milhões de hectares (IBGE 2011). Promotores de métodos de

conservação do solo (CS) afirmam que a tecnologia é sustentável porque além de conservar os solos, melhora sua qualidade, estrutura, aumenta a infiltração de água e atividade biológica, economiza energia e trabalho, captura CO₂, entre outros. Apesar dos benefícios promovidos pela conservação dos solos, os sistemas são baseados principalmente em monoculturas como as que sustentam cultivos de milho e soja geneticamente modificados e apresentam forte dependência de herbicidas, sendo estes últimos responsáveis por 48% dos mais de 1 milhão de toneladas de agrotóxicos utilizados no Brasil em 2010 (ANVISA 2011). Além disso, no Brasil, a conservação dos solos é uma tecnologia adotada principalmente por grandes produtores, em razão dos custos reduzidos associados à mecanização necessária e os herbicidas, que supostamente criam economias de escala excluindo a maioria dos agricultores com pequenas áreas (Petersen *et al.* 1999).

Em Santa Catarina, a Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural (Epagri) está há anos envolvida em esforços destinados a realização e divulgação de sistemas de plantio direto apropriados para agricultores familiares. Neste tempo foram identificadas e selecionadas espécies de plantas de cobertura adequadas ao sistema de plantio direto (Monegat 1991), e para o Sul do Brasil, mais de 100 espécies ou variedades de plantas de cobertura de inverno e de verão estão disponíveis para uso pelos agricultores (Derpsch e Callegari 1992). Em função do relevo, tamanho e recursos disponíveis, a maioria dos pequenos agricultores usa animais ou mini-tratores para tração. Fabricantes locais produzem uma variedade de máquinas de plantio direto para este mercado, e sua disponibilidade permitiu a propagação do plantio direto na região. Em algumas partes do Estado, como o Alto Vale do Itajaí, complexos sistemas multi-anuais com rotações de culturas de cobertura tornaram-se bem estabelecidos para determinadas culturas-chave, tais como o milho (*Zea mays* L.), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), fumo (*Nicotiana tabacum* Berchtold & Opiz.) e cebola (*Allium cepa* L.). Geralmente há variações locais de um determinado sistema de cultivo que incluem elementos diferentes, tais como cultivo mínimo ou plantio direto, tração animal ou mecânica, ou variações na composição de espécies de culturas de cobertura e sequenciamento da rotação (Monegat 1991). Aparentemente a adoção desta tecnologia por parte dos agricultores é reforçada devido ao fato de que ela reduz as exigências de trabalho na cultura e o número de operações no solo, além de minimizar a erosão e o crescimento de plantas espontâneas e, finalmente, melhora a qualidade do solo, o desempenho da cultura e o retorno financeiro (Kieling 2007).

Do Prado *et al.* (2004) descrevem várias estratégias sobre como utilizar adubos verdes em sistemas convencionais de produção, a gestão da biomassa, as operações culturais, a época de semeadura, a variedade

de equipamentos utilizados pelos agricultores e a produção de sementes das várias espécies. O manejo das plantas de cobertura, em geral, exige o esmagamento da biomassa com um rolo-faca, que no caso das leguminosas é feito após a floração plena, quando fornecem maior quantidade de biomassa e nutrientes para o solo. A maioria dos agricultores observa um período de espera após o esmagamento das culturas de coberturas e antes do plantio da cultura subsequente, que varia de uma espécie para outra e pode depender da relação C/N da cobertura morta. Para as leguminosas (ervilhaca) e brassicáceas (nabo-forageiro) o período de espera é de 1-2 semanas, enquanto para gamíneas (aveia, centeio, azevém) pode representar 3-4 semanas (do Prado *et al.* 2004). A maioria das pesquisas tem mostrado que quando as culturas de cobertura são esmagadas, ao invés de cortadas, o tempo de decomposição é mais longo, formando assim uma camada supressora de plantas espontâneas, em muitos casos, permitindo a redução ou até mesmo eliminação do uso de herbicidas. Kliewer *et al.* (1998) relataram um rendimento de soja semeada após o cultivo de aveia-preta de 2.600 kg/ha sem uso de herbicidas. Em medições de biomassa de plantas espontâneas 96 dias após a semeadura da soja foi observado 93 kg/ha de matéria seca de espontâneas em um sistema de plantio direto com palhada de aveia preta, e 7.390 kg/ha quando o plantio ocorreu em uma área sob pousio, onde atingiu rendimentos de soja de apenas 780 kg/ha.

Em um sistema de rotação de cultivos no qual culturas de cobertura de inverno de ciclos longos e curtos são semeadas imediatamente após a colheita da safra anterior, e o cultivo da próxima cultura de verão ocorre após o esmagamento das culturas de coberturas, e possível dispensar o uso de herbicidas. Entretanto, dependendo das espécies empregadas como cultura de cobertura, pode ocorrer rebrote da mesma, gerando uma competição ente a cultura principal e a de cobertura. Em outras situações, os efeitos da cobertura morta podem não durar o suficiente para suprimir plantas espontâneas antes do dossel da cultura principal se desenvolver para exercer os efeitos supressivos de competição e sombreamento.

Os efeitos da cobertura verde na dinâmica de comunidades de plantas espontâneas

O esmagamento das culturas de cobertura e a permanência dos resíduos vegetais na superfície do solo podem promover vários efeitos sobre a germinação e crescimento de plantas espontâneas: a barreira física exercida pelos resíduos de culturas de cobertura pode exercer um efeito de supressão de plantas espontâneas simplesmente por servir como uma barreira mecânica para o crescimento e desenvolvimento normal das plantas, ou interceptando a radiação solar e diminuindo o fluxo térmico e hídrico no solo. Esses efeitos podem

afetar diretamente as espécies de plantas espontâneas que têm algum mecanismo de controle de dormência, ou que na germinação sejam dependentes de temperatura, luz ou água no solo (Christofolletti *et al.* 2007).

Um dos requisitos básicos para a germinação da maioria das sementes de plantas espontâneas é a exposição à luz solar (fotoblastia positiva). Em sistemas de cultivo com adequada cobertura do solo a quantidade de luz necessária para induzir a germinação de sementes de plantas espontâneas pode ser insuficiente (Teasdale e Mohler 1993).

A presença de resíduos de plantas que cobrem a superfície também pode afetar a temperatura do solo, geralmente reduzindo a amplitude térmica das camadas superficiais do solo e afetando as sementes de plantas espontâneas que para germinar necessitam de estímulo térmico. Embora haja pouca informação sobre o comportamento de germinação de várias espécies de plantas espontâneas, é conhecido que o efeito da cobertura vegetal do solo sobre a temperatura pode reduzir a germinação destas sementes (Liebman *et al.* 2001).

Pesquisas também sugerem que os resíduos de culturas de cobertura devem estar presentes em quantidades muito elevadas para fornecer um alto nível de supressão física das plantas espontâneas anuais. Quando cultivadas como culturas de cobertura, a combinação de gramíneas e leguminosas incrementa a produção de biomassa e, portanto, a espessura da cobertura morta, que na maioria dos casos leva a uma maior supressão de plantas espontâneas. Teasdale e Mohler (2000) mostraram que a inibição superior a 75% da emergência das plantas espontâneas é somente consistentemente alcançada quando a biomassa e a espessura da cobertura excedem 8.000 kg/ha^{-1} e 10 cm, respectivamente. Muitas misturas de culturas de cobertura, incluindo leguminosas e gramíneas (por exemplo, centeio e ervilhaca-peluda), atingem produções mais elevadas de biomassa se cultivados até a maturidade (Derpsch e Calegari 1992). Os resíduos podem ainda agir sobre as plantas espontâneas, em razão de suas características químicas, em um tipo de interação ecológica conhecido por alelopatia, que é promovido por várias espécies vegetais. Dependendo da espécie, certos resíduos vegetais liberam compostos alelopáticos que podem suprimir a germinação e o crescimento de plantas espontâneas (Wu *et al.* 1999). Esta inibição é causada por substâncias fitotóxicas que são liberadas pela decomposição dos resíduos vegetais. Fitotoxinas lixiviam da superfície do solo até 2 ou 3 cm, onde se localiza pelo menos 90% do banco de sementes de plantas espontâneas, formando uma zona alelopática. Plântulas cujas sementes germinam nesta zona frequentemente sofrem pela ação destes compostos (Liebman *et al.* 2001). Em Santa Catarina, muitos agricultores têm observado que quando espécies da família das brássicas (nabo-forrageiro, por exemplo) são incluídas na mistura de culturas de cobertura

a emergência de plantas espontâneas é menor. A razão para isto pode ser a presença, nestas plantas, de compostos glucosinolatos que hidrolisam em isotiocianatos, apresentando efeitos inibitórios no crescimento e germinação de outras plantas (Boydston e Hang 1995).

A dinâmica da comunidade de plantas espontâneas na conservação convencional dos solos e nos sistemas agroecológicos de manejo do solo (SAMS) também pode ser fortemente influenciada pela estratégia de fertilização das culturas. Os adubos orgânicos apresentam liberação mais lenta de nutrientes (especialmente N) em comparação com fertilizantes minerais (Magdoff e van Es 2000). A taxa de liberação de nutrientes neste caso dependerá da relação C:N do adubo utilizado, das propriedades do solo, das condições climáticas e do método de incorporação, que, juntos, determinam a taxa de mineralização da matéria orgânica incorporada no solo (Liebman *et al.* 2001). A liberação mais rápida dos nutrientes, típica de fertilizantes sintéticos, muitas vezes é vantajosa para as plantas espontâneas, que geralmente são capazes de absorver os nutrientes nos estágios iniciais de crescimento mais rapidamente e mais eficientemente do que as culturas cultivadas. Plantas espontâneas geralmente exibem maior crescimento e resposta da área foliar aos fertilizantes químicos do que as cultivadas, aumentando a sua capacidade competitiva e sombreando as culturas (Liebman *et al.* 2001). A liberação mais lenta de nutrientes das fontes orgânicas não costuma resultar em aumento da capacidade competitiva de plantas espontâneas, mas pode favorecer a ocorrência destas plantas de final de ciclo, contribuindo para a reposição do banco de sementes no solo.

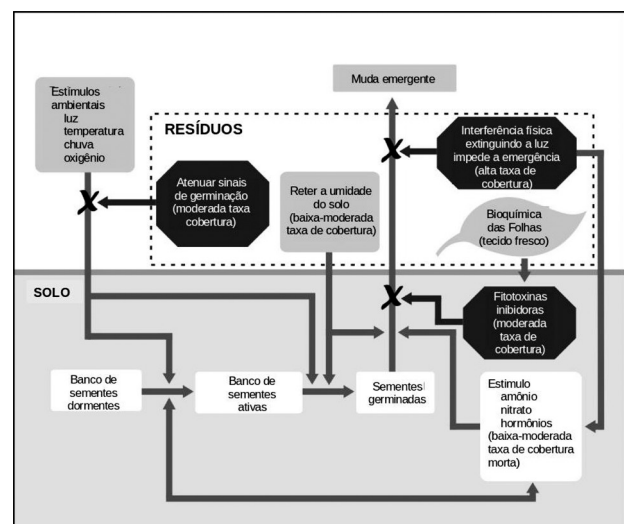


Figura 1: Efeitos da cobertura vegetal sobre a supressão de plantas espontâneas (baseado em Monegat 1991).

A espessura da cobertura, sua interferência física, os níveis de nutrientes e umidade, a presença de fitotoxinas, entre outros fatores e processos, estão intimamente conectados a sistemas agroecológicos de manejo do

solo (SAMS) e por conseqüência afetam a dinâmica das populações de plantas espontâneas (Fig. 1). Entretanto, muitas questões acerca da ecologia das plantas espontâneas e dos mecanismos que sustentam a supressão das mesmas em sistemas agroecológicos de manejo do solo (SAMS) ainda necessitam de mais aprofundamento.

Experimentos agroecológicos em Santa Catarina

Para melhorar a compreensão dos efeitos supressivos das culturas de cobertura e dos mecanismos envolvidos nestes sistemas agroecológicos de manejo do solo (SAMS), o grupo de pesquisa e extensão em agroecologia da Universidade Federal de Santa Catarina conduziu três experimentos entre 2005 e 2008 envolvendo combinações de várias culturas de cobertura de inverno em rotação com feijão (região de Campos Novos) e tomate (região de Ituporanga) em parcelas organizadas em blocos casualizados com três a oito repetições. Detalhes específicos sobre os projetos experimentais, tratamentos, métodos utilizados nesses estudos podem ser encontrados em Lana (2007), Kieling (2007) e Bittencourt (2008). Em todos os casos os dados foram submetidos à análise estatística de variância, bem como a testes de separação de médias.

Resultados

Ensaio com feijão

Experimento 1: O objetivo desta pesquisa foi avaliar o potencial das misturas de culturas de cobertura usadas por agricultores na região de Campos Novos na cultura do feijão. Devido a uma seca prolongada ocorrida na época preferencial de cultivo, o plantio foi atrasado em relação à época ideal, transformando assim este experimento em cultivo de safrinha. Ervilhaca (*Vicia villosa*), nabo-forageiro (*Raphanus sativus*) e centeio (*Secale cereale*) foram cultivados em pares, em um tratamento incluindo as três espécies, além do cultivo solteiro de centeio e como testemunha um tratamento simulando pousio. O objetivo foi observar a cobertura do solo e produção de biomassa das culturas de cobertura, o comportamento de populações de plantas espontâneas de inverno e verão, a taxa de degradação da biomassa das culturas de cobertura de inverno e o rendimento de feijão. Usando métodos descritos por Lana (2007), a cobertura do solo pelas culturas de cobertura e plantas espontâneas, a biomassa das plantas espontâneas e da cobertura verde, a diversidade de espécies de plantas espontâneas, bem como o crescimento do feijão após o esmagamento das culturas de cobertura foram medidos. A degradação da palhada também foi monitorada usando *litterbags* de 25 centímetros x 25 centímetros com dois milímetros de malha em cada parcela e que foram colocados entre a palhada e a superfície do solo para determinar a taxa de degradação das diversas coberturas (Lana 2007). Excluin-

do-se o uso de culturas de cobertura, não houve uso de qualquer outro método de controle de plantas espontâneas para permitir que somente o efeito das culturas de cobertura fosse observado.

Aos 112 dias após a semeadura das culturas de cobertura, as combinações de ervilhaca + nabo-forageiro + centeio, ervilhaca + nabo-forageiro e ervilhaca + centeio atingiram a maior produção de biomassa (5,39, 5,35 e 5,03 Mg ha⁻¹ de matéria seca por hectare, respectivamente) em comparação aos demais tratamentos (Tabela 1). A porcentagem de cobertura do solo pelas misturas atingiu 95%. A menor biomassa de plantas espontâneas de inverno foi observada no tratamento com ervilhaca + nabo-forageiro + centeio (0,26 Mg ha⁻¹), embora o tratamento centeio + ervilhaca também tenha exibido alto potencial supressivo de plantas espontâneas (0,46 Mg ha⁻¹ de biomassa de plantas espontâneas), seguido da mistura nabo-forageiro + ervilhaca (1,1 Mg ha⁻¹). Os maiores valores de biomassa de plantas espontâneas foram exibidos pelo tratamento centeio em monocultura (2,01 Mg ha⁻¹), pela mistura de centeio + nabo-forageiro (2,52 Mg ha⁻¹), e pelo tratamento pousio, que atingiu o valor de 5,41 Mg ha⁻¹. A taxa de decomposição destes resíduos também foi afetada pela combinação de culturas de cobertura, sendo esta aumentada com a presença de ervilhaca. Esta espécie tem uma relação C:N 14,8, com resíduos que decompõem mais rapidamente do que o centeio, o qual produz mais biomassa e leva mais tempo para se degradar, pois tem uma relação C:N 34,4. Quando em uma mistura de culturas de cobertura envolvendo leguminosas e gramíneas com maior proporção do primeiro grupo, há tendência de que a relação C:N da biomassa seja mais baixa, favorecendo uma decomposição mais rápida destes resíduos (Fig. 2). Os rendimentos de feijão nas parcelas em pousio foram baixos (0,3 Mg ha⁻¹): como essas parcelas tiveram o maior valor de biomassa de plantas espontâneas de verão (3,8 Mg ha⁻¹ aos 100 dias após plantio do feijão), pode-se afirmar que houve intensa competição entre cultivo e plantas espontâneas. As parcelas sob o tratamento ervilhaca + nabo-forageiro e centeio + nabo-forageiro também exibiram rendimentos baixos de feijão (0,35 Mg ha⁻¹ e 0,31 Mg ha⁻¹, respectivamente, sem diferenças significativas das parcelas com pousio), atingindo maiores valores de biomassa de plantas espontâneas de verão (em média 3,0 Mg ha⁻¹) quando em comparação com os demais tratamentos. Pela análise de variância (ANOVA) os rendimentos de feijão foram significativamente maiores nos tratamentos onde o feijão foi cultivado sobre resíduos de misturas de centeio + ervilhaca + nabo-forageiro (0,82 Mg ha⁻¹) e o centeio + ervilhaca (0,63 Mg ha⁻¹) e na monocultura do centeio (0,76 Mg ha⁻¹). Estas parcelas exibiram menores valores de biomassa de plantas espontâneas de verão do que as parcelas sob pousio (menos de 2,0 Mg ha⁻¹) aos 100 dias após a semeadura do feijão.

Tabela 1. Biomassa seca de culturas de cobertura (Mg ha^{-1}) em três períodos após a semeadura (Lana 2007).

Tratamento	Dias após a semeadura		
	40 dias	87 dias	112 dias
Centeio + ervilhaca	0.417 a	2.00 b	5.03 ab
Nabo-forrageiro + ervilhaca	0.359 ab	1.44 bc	5.35 a
Centeio + Nabo-forrageiro	0.242 b	1.10 c	3.89 c
Centeio + Nabo-forrageiro + ervilhaca	0.389 a	2.15 a	5.39 a
Centeio	0.292 ab	1.42 bc	4.71 b

Médias dos tratamentos seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente (teste Fisher LSD, $p \leq 0.05$).

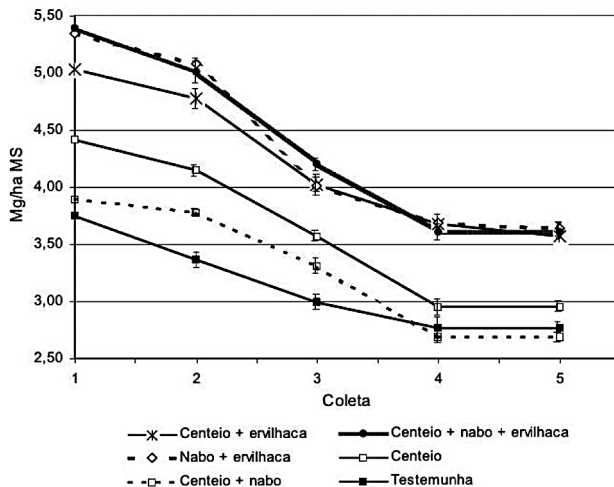


Figura 2: Massa de resíduos das culturas de cobertura e do tratamento pousio (testemunha), coletada no momento da rolagem culturas de cobertura (coleta 1) e a cada 30 dias (coleta 2 a 5) medida pelo método de bolsas de decomposição (litterbags). As barras indicam o erro padrão de cada média por tratamento (Teste DMS-Fisher $p \leq 0,05$) (Lana 2007).

Experimento 2: O experimento foi realizado na mesma área do experimento 1, e o objetivo foi determinar o efeito de supressão de plantas espontâneas pela palhada de culturas de cobertura de inverno. As espécies utilizadas foram escolhidas por serem comumente utilizadas e recomendadas por agentes de assistência técnica e extensão rural e pesquisadores da região Centro-Oeste de Santa Catarina. Foram avaliados os efeitos de centeio, aveia-preta (*Avena strigosa*), aveia-preta + ervilhaca + nabo-forrageiro sobre a porcentagem de cobertura do solo, produção de biomassa das culturas de cobertura de inverno e plantas espontâneas de verão e os rendimentos de feijão (Bittencourt *et al.* 2009).

Os consórcios de centeio + ervilhaca, centeio + ervilhaca + nabo-forrageiro e aveia-preta + ervilhaca apresentaram os maiores percentuais de cobertura do solo, com valores próximos a 90%. Na produção de biomassa das culturas de cobertura de inverno, a mistura de aveia-preta + ervilhaca + nabo-forrageiro produziu $5,64 \text{ Mg ha}^{-1}$, não diferindo dos valores produzidos por centeio + ervilhaca + nabo, centeio + avevém, centeio + ervilhaca e centeio (Tabela 2). Centeio + ervilhaca + nabo e aveia + ervilhaca + nabo-forrageiro não diferiram do pousio

na produção de biomassa de plantas espontâneas, que atingiu $2,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ aos 28 dias após a semeadura do feijão. O maior efeito de supressão de plantas espontâneas aos 28 dias após a emergência do feijão foi observado nas parcelas com os tratamentos avevém, aveia-preta, centeio, centeio+ervilhaca, aveia-preta+ervilhaca, centeio+avevém e aveia-preta+ervilhaca+nabo-forrageiro (Tabela 3). As espécies de plantas espontâneas que se destacaram na produção de biomassa foram *Brachiaria plantaginea*, *Ipomoea grandifolia*, *Bidens pilosa* e *Euphorbia heterophylla*.

Os rendimentos de feijão em todos os tratamentos com plantas de cobertura foram superiores aos das parcelas de pousio de inverno. O maior rendimento de feijão foi obtido com avevém ($1,95 \text{ Mg ha}^{-1}$), não diferindo significativamente dos rendimentos com centeio + ervilhaca, aveia-preta, aveia-preta + ervilhaca + nabo-forrageiro, centeio, centeio + avevém e centeio + ervilhaca + nabo. Apenas o tratamento aveia-preta + ervilhaca diferiu dos demais tratamentos com culturas de cobertura, mas ainda assim apresentando rendimento de feijão maior que o observado no tratamento pousio. Devido ao menor custo da semente ($\text{US\$ } 25 \text{ ha}^{-1}$ e $\text{US\$ } 27 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente) e elevados rendimentos de feijão, os tratamentos avevém e a aveia-preta mostraram maiores retornos por unidade monetária investida. Resultados similares também foram observadas por Kliewer *et al.* (1998).

Experimento 3: O principal objetivo desta pesquisa realizada em Ituporanga foi avaliar os efeitos de diferentes culturas de cobertura de inverno em uma produção de tomate em plantio direto passando por um processo de transição agroecológica. Os tratamentos consistiram em combinações de culturas de cobertura de inverno: aveia-preta, ervilhaca e nabo-forrageiro em comparação com um tratamento pousio (testemunha). A biomassa de plantas espontâneas e de cobertura, as características físicas e químicas do solo e a produtividade de tomate foram avaliados (Kieling, 2007). A produção de biomassa foi decrescente de acordo com a seguinte ordem de tratamentos: aveia-preta + ervilhaca, aveia-preta, nabo-forrageiro + ervilhaca e nabo-forrageiro + aveia-preta. Em comparação com a testemunha, a biomassa de plantas espontâneas (biomassa média total coletada em três datas) atingiu valores mais baixos nas parcelas aveia-preta + ervilhaca e aveia-preta

Tabela 2. Médias e erros-padrão dos valores de biomassa seca de várias plantas de cobertura de inverno (Mg ha^{-1}) antes da rolagem (Bittencourt 2008).

Centeio	5.08	± 0.61 ab
Azevém	3.13	± 0.56 d
Aveia-preta	4.11	± 0.15 bcd
Centeio + azevém	5.01	± 0.58 ab
Centeio + ervilhaca	4.66	± 0.16 abc
Aveia-preta + ervilhaca	3.66	± 0.42 cd
Aveia-preta + ervilhaca + nabo-forrageiro	5.64	± 0.54 a
Centeio + ervilhaca + nabo-forrageiro	4.43	± 0.51 abc
Pousio	2.91	± 0.46 d

Médias dos tratamentos seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente (teste Fisher LSD, $p \leq 0.05$).

Tabela 3. Biomassa seca total de plantas espontâneas (Mg ha^{-1}) aos 14, 21 e 28 dias após a emergência de feijão com diferentes culturas de cobertura de inverno (Bittencourt 2008).

Culturas de cobertura de inverno	Dias após emergência		
	14	21	28
Centeio	0.63 ab	1.35 ab	1.47 a
Azevém	0.97 bc	1.34 ab	1.43 a
Aveia-preta	0.51 ab	1.10 ab	1.46 a
Centeio + Azevém	0.63 ab	1.12 ab	1.67 ab
Centeio + ervilhaca	0.44 a	0.96 a	1.47 a
Aveia-preta + ervilhaca	0.56 ab	1.29 ab	1.64 ab
Aveia-preta + ervilhaca + Nabo-forrageiro	0.66 abc	1.50 abc	1.92 abc
Centeio + ervilhaca + Nabo-forrageiro	0.78 ab	1.75 bc	2.36 bc
Pousio	1.12 c	2.09 c	2.62 c

Médias seguidos pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente (Fisher LSD, $p \leq 0.05$).

Tabela 4: Dados de culturas de cobertura e biomassa de plantas espontâneas (Mg ha^{-1} de biomassa seca) para cada tratamento em três diferentes datas de amostragem (média \pm erro padrão) (Kieling 2007).

Biomassa de culturas de cobertura*	Biomassa de plantas espontâneas		
Data		15/5/2005	16/11/2005
Tratamento	Pousio (controle)	0,0 \pm 0,0 d	5057
	Aveia-preta	6850 \pm 250 a	1316
	Ervilhaca	3306 \pm 418 c	3267
	Nabo-forrageiro	5101 \pm 203 b	1579
	Aveia + ervilhaca	7256 \pm 365 a	838
	Aveia + nabo	6082 \pm 424 ab	1205
	Ervilhaca + nabo	6598 \pm 488 ab	1183
	Aveia + ervilhaca + nabo	5911 \pm 1095 ab	896

Médias (na horizontal) não seguidas de letras não diferem estatisticamente (Teste-T Student, $p \leq 0.05$).

+ ervilhaca + nabo-forrageiro, seguidos das misturas ervilhaca + nabo-forrageiro, aveia-preta + nabo-forrageiro e aveia-preta (Tabela 4). Os rendimentos acumulados de tomate foram estimados pelo total de peso de frutos comerciais obtidos em oito colheitas consecutivas em cada parcela. As parcelas ervilhaca + nabo-forrageiro e aveia-preta exibiram os maiores rendimentos cumulativos, com valores de $82,6 \text{ Mg ha}^{-1}$, $78,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $76,1 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente. A parcela testemunha apresentou maior rendimento ($74,3 \text{ Mg ha}^{-1}$) que as parcelas de nabo-forrageiro, aveia-preta + nabo-forrageiro e er-

vilhaca. Surpreendentemente, a combinação ervilhaca + nabo-forrageiro + aveia-preta apresentou os menores rendimentos de biomassa ($0,69 \text{ Mg ha}^{-1}$), embora a biomassa de plantas espontâneas observada neste tratamento fosse muito baixa ($0,79 \text{ Mg ha}^{-1}$).

Discussão e conclusões

Nos três experimentos, o efeito de culturas de cobertura, solteiras ou em misturas, apresentou uma tendência de aumento nos rendimentos quando em comparação

com os tratamentos pousio. As culturas de cobertura também reduziram significativamente a pressão das plantas espontâneas sobre os cultivos, mas estes efeitos também foram dependentes da espécie ou mistura. No sistema de cultivo de feijão de Campos Novos a mistura centeio + ervilhaca + nabo-forrageiro consistentemente produziu a maior biomassa, suprimindo de forma significativa as plantas espontâneas. Provavelmente, a biomassa agiu como uma barreira para a luz a cobertura inibiu a germinação de muitas espécies de plantas espontâneas. Entretanto, a presença de aveia-preta, centeio ou azevém pode ter contribuído nestes processos supressivos através de efeitos alelopáticos. Por exemplo, o centeio pode suprimir significativamente plantas espontâneas em condições de campo, sendo este efeito atribuído a compostos como ácido B-fenilático e ácido B-hidroxiburítico e benzoxazinonas (Barnes e Putnam 1987). Outras espécies de aveia (*Avena spp*) têm a capacidade de exsudar escopoletina (6-metoxi-7-hidroxi cumarina), um produto químico identificado como fitotóxico para várias espécies de plantas (Putnam e Tang 1996). Compostos glucosinolatos contidos em brássicas, como nabo-forrageiro, também podem contribuir para manejo de plantas espontâneas, reduzindo a densidade e biomassa de plantas espontâneas, ainda que o efeito seja mais intenso quando a cultura de cobertura é incorporada ao solo (Wu *et al.* 1999). Dependendo da relação C:N das culturas de cobertura, e da consequente taxa de decomposição, a toxicidade de resíduos vegetais pode diminuir substancialmente após várias semanas de decomposição. Neste contexto muitos agricultores, para aumentar a chance de sucesso de estabelecimento de seus cultivos, esperam várias semanas entre a incorporação dos resíduos e a semeadura, com o intuito de que o efeito das culturas de cobertura suprima a germinação de plantas espontâneas antes do plantio. Agricultores semeiam cultivos como feijão, milho ou soja a uma profundidade maior do que três centímetros, pois observam que há uma alta taxa de falha na germinação quando a semeadura é feita superficialmente. Isto pode ser atribuído à concentração de substâncias alelopáticas na camada de dois centímetros superficiais do solo, como sugerido por Liebman *et al.* (2001). Alguns agricultores também observam que espécies de sementes pequenas parecem ser especialmente suscetíveis a compostos alelopáticos, ao passo que espécies de sementes maiores parecem ser relativamente insensíveis, reforçando assim a prática de transplante de mudas de culturas como cebola, tomate, hortaliças, etc. Embora os resíduos de culturas de cobertura e suas fitotoxinas são associados com a supressão de outras plantas – incluindo-se também os cultivos – os resíduos, quando apropriadamente manejados, também podem ter efeitos positivos sobre os agroecossistemas: melhoramento de parâmetros de qualidade do solo, nutrição de culturas e em alguns casos, supressão de patógenos do solo. Estes fatores desempenham um papel-chave na determinação do rendimento dos culti-

vos. Os resultados obtidos, bem como observações dos agricultores, corroboram com a hipótese de que plantas de cobertura podem aumentar a supressão de plantas espontâneas e, conseqüentemente, a produtividade das culturas (Fig. 1). Os resultados dos três estudos indicam que as melhores misturas de culturas de cobertura de inverno devem incluir uma proporção significativa de ervilhaca ou aveia-preta ou azevém, centeio e nabo-forrageiro, pois:

- Produzem boas quantidades de biomassa, pelo menos 4 Mg ha⁻¹ de matéria seca.
- São facilmente manejadas com um rolo-faca, formando uma cobertura suficiente para proporcionar controle de plantas espontâneas no cultivo subsequente.
- Quando em sistemas corretamente manejados, não suprimem a cultura principal através de efeitos alelopáticos ou microbianos (imobilização de N).
- Uma maior proporção de ervilhaca nas misturas diminui a relação C:N da cobertura, liberando N de forma mais gradual para o agroecossistema.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CS FUND, a Organic Farming Research Foundation (OFRF), a Epagri e a UFSC pelo apoio.

Referências

- Altieri MA. 1995. Agroecology: the science of sustainable agriculture. Boulder: Westview Press.
- Altieri MA. 2002. Agroecology: The Science of Natural Resource Management for Poor Farmers in Marginal Environments. Agriculture, Ecosystems and Environment 93.
- ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. <http://portal.anvisa.gov.br/wps/portal/anvisa/anvisa/home>. Acessado em 10/2011.
- Barnes JP, Putnam AR. 1987. Role of benzoxazinones in allelopathy of rye. Journal of Chemical Ecology 13: 889-906.
- Bittencourt HH, Lovato PE, Comin JJ, Lana MA, Altieri MA. 2009. Produtividade de feijão-guará e efeito supressivo de culturas de cobertura de inverno em espontâneas de verão. Acta scientiarum. Agronomy 31(4): 689-694.
- Bittencourt HH. 2008. Culturas de cobertura de inverno na implantação de sistema de plantio direto sem uso de herbicidas. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em agroecossistemas. Florianópolis, Brasil. <http://www.tede.ufsc.br/teses/PAGR0198-D.pdf>

- Boydston R, Hang A. 1995. Rapeseed (*Brassica napus*) green manure crop suppresses weeds in potato. *Weed technology* 9: 669-675.
- Christoffoleti PJ, Pinto de Carvalho SJ, Lopez-Ovejero RF, Nicoli M, Hidalgo E, da Silva JE. 2007. Conservation of natural resources in Brazilian agriculture: implications on weed biology and management. *Crop Protection* 26: 383-389.
- Derpsch R, Calegari A. 1992. Plantas para adubação verde de inverno. IAPAR, Londrina. Circular 73.
- do Prado WL, Heraclio de Freitas V, McGuire MM. 2004. Use of green manure/cover crops and conservation tillage in Santa Catarina, Brazil. En Green manure/cover crop systems of small holders: experiences from tropical and subtropical regions (Elilitta M, Mureithi J, Derpsch R, eds). Dordrecht: Kluwer Academic Press.
- Fayad JA. 2004. Sistema de plantio direto de hortaliças. Boletim Didático N 57. EPAGRI, Florianópolis, SC, Brasil.
- IBGE - Banco de dados agregados - SIDRA, Tabela 849. Disponível em <www.ibge.gov.br>. Acessado em 10/2011.
- Kieling AS. 2007. Plantas de cobertura em sistema de plantio direto de tomate: efeitos sobre plantas espontâneas, atributos do solo e a produtividade de frutos em um processo de transição agroecológica. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas. Florianópolis, Brasil. <http://www.tede.ufsc.br/teses/PAGR0202-D.pdf>
- Kliewer L, Casaccia J, Vallejos F. 1998. Viabilidade da redução do uso de herbicidas e custos no controle de plantas daninhas nas culturas de trigo e soja no sistema de plantio direto através do emprego de adubos verdes de curto período. Resumo de Palestras: I Seminário Nacional Sobre Manejo e Controle de Plantas Daninhas em Plantio Direto. Passo Fundo, RS, Brasil: Editora Aldeia Norte, 120-123 pp.
- Lana MA. 2007. Uso de culturas de cobertura no manejo de comunidades de plantas espontâneas como estratégia agroecológica para o redesenho de agroecossistemas. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas. Florianópolis, Brasil. <http://www.tede.ufsc.br/teses/PAGR0187-D.pdf>
- Liebman M, Mohler CL, Staver CP. 2001. Ecological management of agricultural weeds. Cambridge: Cambridge University Press.
- Magdoff F, van Es H. 2000. Building soils for better crops. SARE, Washington, D.C.
- Monegat C. 1991. Plantas de cobertura do solo: características e manejo em pequenas propriedades. Chapecó: [Edição do autor].
- Petersen P, Tardin JM, Marochi F. 1999. Participatory development of no-tillage systems without herbicides for family farming. *Environment, Development and Sustainability* 1: 235-252
- Putnam AR, Tang CS. (eds). 1996. The Science of Allelopathy. New York: John Wiley and Sons.
- Teasdale JR, Mohler CL. 1993. Light transmittance, soil temperature, and soil moisture under residue of hairy vetch and rye. *Agron. J.* 85: 673-680.
- Teasdale JR, Mohler CL. 2000. The quantitative relationship between weed emergence and the physical properties of mulches. *Weed Sci.* 48: 385-392.
- Wu H, Pratley J, Lemerle D, Haig T. 1999. Crop cultivars with allelopathic capability. *Weed Research* 39 (3): 171-180.