

AVANCES EN INVESTIGACIÓN Y PERSPECTIVAS DEL APROVECHAMIENTO DE LOS ABONOS VERDES EN LA AGRICULTURA

Research Advances and Prospects on the Use of Green Manures in Agriculture

José Luis García-Hernández^{1‡}, Bernardo Murillo-Amador², Alejandra Nieto-Garibay², Manuel Fortis-Hernández³, Cándido Márquez-Hernández¹, Edmundo Castellanos-Pérez¹, José de Jesús Quiñones-Vera¹ y Narciso Ysaac Avila-Serrano⁴

RESUMEN

La producción agrícola en los sistemas convencionales utiliza primordialmente fertilizantes químicos para proporcionar a las plantas los nutrimentos necesarios. Sin embargo, tal práctica tiene efectos colaterales negativos de contaminación y degradación del suelo, los cuales se hacen más graves con la excesiva mecanización de la agricultura. Derivado de ello, en la actualidad es necesario encontrar alternativas más sustentables para fertilizar los cultivos; y una de las alternativas con mayor potencial son los abonos verdes. Los abonos verdes son residuos y partes vegetales de un cultivo que pueden incorporarse al suelo o bien puede permanecer como cultivo intercalado. Los cultivos más utilizados como abono verde son las leguminosas por su capacidad para fijar altas cantidades de nitrógeno atmosférico. Sin embargo, no todas las leguminosas presentan las mismas características. Este trabajo realiza una revisión y análisis de la literatura más reciente con relación al uso potencial de los abonos verdes en la agricultura, considerando no solo la capacidad de estos materiales para proporcionar materia orgánica y nutrimentos al suelo, sino también la capacidad para controlar plagas, enfermedades y maleza; especialmente en la agricultura de zonas áridas. Los géneros más destacados y con mayor potencial, especialmente para

ser utilizados en la agricultura de zonas áridas y semiáridas son *Vigna*, *Lablab*, *Lupinus* y *Melilotus*.

Palabras clave: abono orgánico, fertilización, suelo, nutrición vegetal, control de plagas.

SUMMARY

Agricultural production in conventional systems utilizes primarily chemical fertilizers to provide the plants the necessary nutrients. However, this practice has negative collateral effects that contaminate and degrade soil, becoming more serious with the excessive mechanical tillage. For these reasons, it is further necessary to find more sustainable alternatives for fertilizing crops, and one of these alternatives is the use of green manures. Green manures are plant parts or residues that can be cropped and mixed into the soil or can be kept as intercrop. The most common crops used as green manure are legumes because of their capability to fix high levels of atmospheric nitrogen (N). Nevertheless, within the legume group, not all have the same characteristics. This paper reviews and analyzes the most recent literature on the potential use of green manures in agriculture, regarding not only the ability of these materials to provide organic matter and nutrimentos to soil, but also to control pests, plant diseases and weeds. Emphasis is given to the potential of their use in arid land agriculture. The most outstanding genera with the greatest potential, especially for use in arid and semiarid lands, are *Vigna*, *Lablab*, *Lupinus*, and *Melilotus*.

Index words: manure, fertilization, soil, plant nutrition, pest control.

INTRODUCCIÓN

La agricultura y en general el modelo productivo y de distribución de alimentos y fibras en forma convencional están actualmente fundamentados

¹ Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Agronomía y Zootecnia. 35110 Venecia, Gómez Palacio, Durango, México.

[‡] Autor responsable (luis_garher@hotmail.com)

² Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. Mar Bermejo No. 195, Col. Playa Palo de Santa Rita. Apartado Postal 128. 23090 La Paz, Baja California Sur, México.

³ Instituto Tecnológico de Torreón. km 7.5 carretera Torreón-San Pedro. Apartado Postal 42. 27070 Torreón, Coahuila, México.

⁴ Universidad del Mar. Ciudad Universitaria 71980 Puerto Escondido, San Pedro Mixtepec, Juquila, Oaxaca, México.

Recibido: marzo de 2010. Aceptado: noviembre de 2010.

Publicado como ensayo en

Terra Latinoamericana 28: 391-399.

en grandes extensiones de monocultivos, así como en el alto uso de recursos financieros, plaguicidas, fertilizantes sintéticos entre otros recursos contaminantes y no renovables (dos Santos *et al.*, 2010). Desde el punto de vista económico, este modelo proporciona una posible reducción en los costos de producción y a su vez permite la producción de los alimentos que son necesarios en el presente (Smil, 2000). Sin embargo, bajo dicho esquema convencional existen una serie de efectos colaterales que usualmente no se toman en cuenta, tales como los costos ambientales de contaminación del agua por plaguicidas y algunos otros tipos de contaminación al suelo y el aire, o los costos sociales asociados con la marginación hacia el sector rural debido a los cada vez mayores requerimientos de capital (Wheeler, 2007; Sandhu *et al.*, 2010). Entre los efectos colaterales más serios se encuentra la degradación del suelo, lo cual es un grave problema en las zonas áridas que afecta actualmente 5.5 millones de hectáreas (Beltrán-Morales *et al.*, 2009). Además, derivado de las prácticas convencionales; que incluyen un excesivo uso de maquinaria agrícola se pierden enormes cantidades de suelo por año (Singh *et al.*, 2005). La urbanización también está produciendo una disminución de las áreas agrícolas bajo riego (Abrol *et al.*, 2005). Este tipo de efectos colaterales, que hasta hace muy poco tiempo no significaban una preocupación para los productores o la sociedad en general, tienen bajo amenaza muy grave la sustentabilidad de la producción de alimentos y señalan con énfasis la necesidad de encontrar nuevos paradigmas agrícolas (Gill y Brar, 2005). Uno de los aspectos más serios de la degradación del suelo es la pérdida de materia orgánica (MO) en los mismos. El excesivo uso de la maquinaria agrícola en la agricultura convencional cambia la estructura física, química y biológica del suelo (Pankhurst *et al.*, 2003) provocando la degradación y pérdida de millones de toneladas anuales de MO y suelo fértil (Chan, 2001). La MO, bajo cualquier punto de vista que se observe, resulta fundamental en la búsqueda de la sustentabilidad en la agricultura (Johnston *et al.*, 2009) y su disminución en el suelo ocasiona pérdidas de la capacidad de amortiguamiento, empobrece la capacidad de intercambio catiónico, facilita la erosión y no permite el desarrollo de la micro y macro-fauna benéficas del suelo (Aslantas *et al.*, 2007). Aunado a la degradación, otro serio problema es la contaminación por el excesivo uso de fertilizantes químicos, los cuales, si bien por un lado proporcionan los nutrientes que la planta necesita,

también constituyen un problema de contaminación potencial de lagos, ríos y agua subterránea por lixiviación de nitrógeno combinado con lluvia en exceso (Dong *et al.*, 2005), así como por los cambios que generan en las características químicas del suelo, como el pH y la capacidad de intercambio catiónico (Rivera-Cruz *et al.*, 2010). De igual forma afectan el balance de nutrientes y causan una mayor solubilidad de iones, que son absorbidos por la planta en una mayor proporción de la que es realmente necesaria (Beltrán-Morales *et al.*, 2009), lo cual comúnmente es inconveniente para la salud de los consumidores. El uso excesivo de fertilizantes de baja calidad incrementa la concentración de metales pesados en los suelos agrícolas donde se aplican (Fässler *et al.*, 2010).

Con fundamento en lo anterior, otros modelos de producción y distribución de alimentos más sustentables están recibiendo mayor atención. De hecho, cada vez más personas y gobiernos en el mundo están requiriendo de alimentos, fibras y otros productos bienes que son producidos mediante prácticas sustentables y ambientalmente benéficas o amigables (Lynch, 2009), especialmente en los países desarrollados (Zhang *et al.*, 2008). En este sentido, uno de los modelos de producción agrícola que se considera más sustentable es la agricultura orgánica (Demiryürek *et al.*, 2008), la cual promueve, entre muchas otras cosas, la fertilización basada en la eliminación de los fertilizantes sintéticos a favor del uso recurrente de abonos orgánicos, principalmente compost y abonos verdes (NOP, 2002; OCIA, 2005; Gélinas *et al.*, 2009). En este sentido es importante aclarar que en ocasiones en la agricultura orgánica se aceptan algunas formulaciones de fertilizantes cuando han pasado por diversos esquemas de certificación de organismos reguladores como el OMRI (siglas en inglés del Instituto Revisor de Materiales Orgánicos). De las diferentes enmiendas de tipo orgánico, los abonos verdes han adquirido cada vez mayor importancia como fuente de nutrientes para el suelo y las plantas en la agricultura orgánica, y en aquellos sistemas agrícolas que pretenden ser más sustentables (Cherr *et al.*, 2007). Este insumo natural ha sido reconocido por contribuir a la recuperación de la fertilidad (Bučienė *et al.*, 2003) y las características físicas del suelo (Agostini *et al.*, 2003), así como por su capacidad de controlar plagas (Aloyokhin y Atildan, 2005), maleza (Blackshaw *et al.*, 2001) y nematodos (Guereña, 2006), pero especialmente ha sido reconocido

por su capacidad para incrementar la concentración de MO del suelo, lo cual modifica favorablemente la capacidad de intercambio catiónico y la disponibilidad de macro y micronutrientes (Beltrán-Morales *et al.*, 2009). En relación a lo anterior, se puede aseverar que no existen revisiones recientes respecto a los avances de investigación de los abonos verdes. Las cualidades y ventajas que representa su uso no han sido plenamente difundidas. En parte, esa falta de difusión y falta de conocimiento ocasionan que la adopción de los abonos verdes sea todavía escasa, especialmente en las zonas áridas. En el presente trabajo se realiza una revisión de literatura reciente relacionada con el aprovechamiento integral de los abonos verdes en la agricultura, así como su potencial de ser adaptado en diversos sistemas agrícolas, especialmente aquellos ubicados en las zonas áridas, se incluye una reflexión respecto a las necesidades de investigación más importantes al respecto.

Los Abonos Verdes

Los AV son plantas, o partes de plantas, o residuos vegetales de una cosecha anterior, o residuos vegetales que han sido producidos expresamente para este fin, las cuales generalmente son incorporadas al suelo, pero que también pueden ser utilizadas como cultivos de cobertura, cuya finalidad es enriquecer el contenido de nutrientes en el suelo y mejorar su estructura. Estos cultivos pueden ser producidos como parte de un programa de rotación o en sistemas de asociación de cultivos, o bien como un cultivo de protección en contra de la erosión. La incorporación de AV viene constituyéndose en una tecnología apropiada para la conservación y el mejoramiento de la fertilidad de los suelos (Sing *et al.*, 2010). Este tipo de enmiendas son especialmente necesarias en las zonas áridas, donde en forma natural los suelos son pobres en MO y en el contenido de nutrientes sumamente importantes como el nitrógeno (N). En este sentido, existen regiones áridas importantes desde el punto de vista de la producción agrícola, como lo es la Comarca Lagunera, ubicada en el norte de México. Esta región tiene cerca de 100 000 hectáreas de producción agrícola y pecuaria, con suelos pobres en MO y una producción de mil toneladas diarias de estiércol derivadas de la producción de leche (Vázquez-Vázquez *et al.*, 2010). Dicho residuo orgánico ha sido ampliamente utilizado en dicha región como fuente de MO para el suelo, pero ello se ha hecho en muchas

ocasiones en forma irracional y se han derivado problemas de contaminación. El problema de una fuente de MO como el estiércol es que la concentración de nutrientes importantes como el N es muy baja (aproximadamente 1.5%), mientras que el contenido de otros minerales que pueden salinizar el suelo (Mg, Ca, K, Na) es muy alta. A diferencia del estiércol, los abonos verdes presentan mayores concentraciones de N (4.5% en el caso de frijol dolichos; Beltrán-Morales *et al.*, 2009) y menores de minerales que pueden alcalinizar o salinizar el suelo. Regularmente, en las fincas orgánicas, los AV son usados para complementar el abonado de otras fuentes, como son estiércoles o compostas. La producción de un AV no es simplemente la producción de una leguminosa en una rotación de cultivos. Estos son usualmente incorporados en el suelo mediante alguna práctica mecánica como lo es el rastreo (Beltrán-Morales *et al.*, 2006). La incorporación se realiza cuando las plantas están en pleno desarrollo, antes de la madurez, cuando el tejido vegetal tiene su mayor concentración de nutrientes o cuando la planta alcanza aproximadamente el 30% de floración. Esta práctica está siendo complementada con otras, como la utilización de la labranza de conservación, el uso de biofertilizantes y otras enmiendas orgánicas (Salazar *et al.*, 2004; Rivera-Cruz *et al.*, 2010).

Uso Potencial de los Abonos Verdes

Aporte de materia orgánica y nutrientes en el suelo. La transición de productor convencional a orgánico va acompañada una suerte de cambios de propiedades químicas del suelo, así como de procesos que afectan la fertilidad del mismo (Herencia *et al.*, 2008). Esos cambios afectan la disponibilidad de nutrientes para los cultivos, en primera instancia en forma directa, lo que contribuye al incremento – o bien disminución - del contenido de nutrientes del suelo, o indirectamente, influye en cambios químicos y físicos en el suelo (Wienhold, 2005). El incremento en MO durante el periodo de transición en el que se realizan aportaciones de abonos verdes ocurre lentamente, generalmente durante años (Johnston *et al.*, 2009), y pueden tener un efecto significativo en la productividad a largo plazo (Brechelt, 2004). La cantidad de MO acumulada en el suelo y el contenido de nutrientes depende principalmente de la tasa de descomposición, el tipo de material utilizado y el manejo agronómico (Beltrán-Morales *et al.*, 2006).

La MO del suelo es una importante fuente de nutrimentos para el desarrollo vegetal que necesitan ser mantenidos para asegurar la sostenibilidad agrícola (Whitehead *et al.*, 2003). Estudios que se han realizado comparando prácticas convencionales de fertilización con aplicaciones de abonos verdes en suelos similares han mostrado mayores concentraciones de MO desde el primer año de tratamientos, aunque la tasa de acumulación de MO es muy lenta (Herencia *et al.*, 2008). Beltrán-Morales *et al.* (2005) realizaron aplicaciones de frijol dolichus (*Lablab purpureus*) como AV en suelos de zonas áridas de Baja California Sur y encontraron aumentos de 0.54 a 0.758% en el contenido de MO en el primer año de aplicación de AV. Asimismo encontraron que la producción de materia verde de una ha de frijol dolichus fue de 49.98 Mg y cada 1000 kg de materia seca (MS) aportaron de 15 a 40 kg de N; es decir, que con la incorporación de este AV puede aportarse al suelo hasta 240 kg de N mineral.

Múltiples beneficios han sido atribuidos al uso de abonos verdes, por ejemplo: control de la erosión, uso eficiente de recursos por plantas con diferentes ciclos fenológicos, desarrollo vegetativo, sistemas radiculares y requerimientos nutrimentales, pero lo que se considera la principal ventaja es el incremento de N disponible en el suelo para las plantas no-leguminosas (Singh, *et al.*, 2010). El uso de AV de leguminosas tiene el potencial de economizar las necesidades de fertilizante nitrogenado. Pandey y Pendleton (1986) observaron que la soya intercalada con maíz pudo suministrar una cantidad de N similar a una aplicación de 28 kg ha⁻¹ de fertilizante nitrogenado. El uso de *Sesbania aculeata* L. como AV mejoró la producción de caña en un 9.3% en el primer corte y 6% en una segunda brotación y corte (Yadav y Dey, 2000). En otro estudio, Yadav (2004) registró incrementos en el rendimiento de arroz utilizando *Sesbania aculeata* L. Para que un AV sea considerado como una fuente efectiva de N para cultivos hortícolas, debe aportar suficiente N de acuerdo a los requerimientos del cultivo, y la liberación de N disponible debe ser sincronizada con la fenología de dicho cultivo (Hernández-Mendoza *et al.*, 2007). La descomposición del abono y la subsecuente liberación de N dependen, en mayor medida, de la calidad y cantidad de los residuos, la humedad y la temperatura del suelo, la mineralización y el pH.

El frijol yorimón (*Vigna unguiculata*) ha recibido gran atención como AV en los años recientes. Beltrán-Morales *et al.* (2009) lo han estudiado en el clima árido

en Baja California Sur y encontraron que este cultivar puede proporcionar mayor cantidad de macro y micronutrientes que otros géneros de leguminosas señaladas en la literatura como son *Mucuna* y *Crotalaria* (Ruiz-Vega y Loeza-Ramírez, 2003). De igual forma, el frijol yorimón, como AV, fue comparado, con diversas dosis de N en *Mentha arvensis*. El frijol yorimón dio un resultado similar a la aplicación de 30 kg ha⁻¹ de fertilizante nitrogenado con lo que se logró incrementar la producción de materia seca de menta en un 23.4% y la producción de aceite esencial en un 25.2% (Singh *et al.*, 2010). Por su parte, el género *Crotalaria* ha sido recurrentemente utilizada y estudiada como AV. Nezomba *et al.* (2010) compararon este género en conjunto con otros de leguminosas como *Indigofera* y *Tephrosia* respecto a la producción de biomasa y la fijación de N, así como los efectos residuales en cultivo de maíz en regiones húmedas de Zimbabue. La combinación de estos géneros de leguminosas produjeron 8.6 Mg ha⁻¹ de MS en 6 meses, con lo que superaron la producción de *Crotalaria juncea* producida sola y de pastos que produjeron 41 y 74% menos de MS. Respecto al N fijado, los valores para la combinación de leguminosas fueron de 125 a 210 kg de N ha⁻¹, dependiendo del nivel de fertilidad del suelo. Es decir, en el suelo con la menor fertilidad hubo menor fijación de N y ésta fue mayor en suelos con concentraciones altas de fósforo. Los rendimientos de maíz cultivado después de la producción de AV fueron también superiores en el suelo donde se utilizó la combinación de leguminosas en 30% en comparación con el rendimiento del maíz cultivado donde sólo se produjo *Crotalaria juncea*.

En general, las leguminosas son las especies con mayor potencial para ser utilizadas como AV. El cacahuate fue probado como AV en maíz y proporcionó el equivalente a 60-90 kg de N ha⁻¹ (McDonagh *et al.*, 1993). Sin embargo, este cultivo fue evaluado en un suelo con reservas significativas de P, al respecto, Nezomba *et al.* (2010) sugieren que en los suelos pobres en P tienen menor capacidad de fijar N. Al respecto, Hikwa *et al.* (1998) registraron rendimientos de biomasa menores a 0.3 Mg ha⁻¹ en suelos arenosos deficientes de P en el norte de Zimbabue. Por lo tanto, en los suelos donde se establecerá un cultivo para ser incorporado como AV deben realizarse análisis químicos que determinen el contenido de otros nutrimentos como el P. En relación con lo anterior, de igual forma se ha encontrado que se requiere un contenido mínimo de 10% de arcilla

en el suelo (Nezomba *et al.*, 2010). En un suelo con menos de 10% de arcilla los cultivos de *Sesbania sesban* y *Acacia angustissima* fallaron como AV (Chikowo *et al.*, 2004). Con base en lo antes expuesto el comportamiento del frijol yorimón y el frijol dolichus en Baja California Sur (Beltrán-Morales *et al.*, 2005; 2009), donde los suelos son arenosos y con 10% o menos de arcilla *Melilotus officinalis* se reporta con alta capacidad de fijar N, además de presentar tolerancia a la sequía (Turkington *et al.*, 1978), lo que la convierte en una excelente opción para ser utilizada en la agricultura de zonas áridas.

Los niveles más altos de acumulación de materia seca (de 7 a 10 Mg ha⁻¹) y N (de 150 a 250 kg N ha⁻¹) de los AV se encuentran en los climas templados y tropicales y suelos con textura fina (Cline y Silvernal, 2002). Por lo que es necesario estudiar la forma de incrementar su potencial en las zonas áridas y semiáridas, así como en los suelos arenosos. Cherr *et al.* (2007) sugieren al respecto que en este tipo de suelos, y tratándose de cultivos altamente demandantes, es necesario complementar el uso de los AV con fertilizaciones químicas.

Thorup-Kristensen (2006) realizó un ensayo con cuatro cultivos (cebolla, lechuga, zanahoria y repollo) y 6 tipos de AV (*Vicia villosa*, *V. sativa*, *Trifolium incarnatum*, *T. alexandrinum*, *Secale cereale* y *Lolium multiflorum*) para determinar diferencias en el desarrollo de los cultivos con la fertilización exclusiva de AV en suelo franco. Los resultados de dicho ensayo mostraron que los abonos verdes acumularon entre 26 y 134 kg N ha⁻¹. El AV que resultó con mayor contenido de N inorgánico en el suelo fue *V. villosa*, seguido de tres leguminosas (*V. sativa*, *T. incarnatum*, *T. alexandrinum*) y el menor contenido con *Secale cereale* y *Lolium multiflorum* que no son leguminosas. Otros géneros que han mostrado crecimiento efectivo y nodulación de raíces en suelos arenosos y de bajo nivel de fertilidad son *Rothia* y *Tephrosia* (Mapfumo *et al.*, 2005). Otra especie leguminosa interesante para las zonas áridas e incluso los suelos arenosos es el lupino (*Lupinus albus*), la cual fue estudiada durante dos años por Carranca *et al.* (2009) encontrándose una fijación de hasta 100 kg N ha⁻¹ por año mediante la inoculación de una mezcla de cepas de *Bradyrhizobium*. Al respecto, cabe señalar que la aportación de MO y muchas de las ventajas de los AV se presentan después de varios años, por lo que en la mayoría de las ocasiones

se prefieren abonos químicos que proporcionan nutrimentos en una forma más inmediata para la planta.

Supresión de Plagas

Los abonos verdes son básicamente conocidos por su capacidad para mejorar la fertilidad del suelo y por controlar ciertas enfermedades (Oka, 2010). En este sentido, la incorporación de residuos vegetales incrementa el número de nematodos de vida libre, pero los aumentos en ciertos géneros de nematodos pueden ser afectados por el tipo de residuo (McSorley y Frederick, 1999), ya que cada tipo de residuo puede afectar organismos antagonistas, tales como nematodos depredadores y hongos parasíticos. Por ejemplo, la incorporación de *C. juncea* incrementa el número de nematodos parasíticos de huevos de *Rotylenchulus reniformis* en forma más eficiente que otras especies vegetales como *Brassica napus* y *Tagetes erecta* (Wang *et al.*, 2001).

Se han observado incrementos en el número de nematodos depredadores después de aplicar abonos orgánicos, probablemente como resultado de la proliferación de nematodos de vida libre como presas (Oka, 2010). Otro estudio mostró que la incorporación de *C. juncea* incrementó el número de nematodos depredadores, bacteriófagos y omnívoros; sin embargo, el incremento en la abundancia de nematodos omnívoros y depredadores no fue suficiente para controlar *Meloidogynes incognita* (Wang *et al.*, 2003). La incorporación de abono verde también puede cambiar las poblaciones de bacterias en la rizósfera. Un estudio indicó que las rizobacterias -antagonistas a nematodos- provenientes de raíces de plantas como mucuna (*Mucuna pruriens*), higuera (*Ricinus communis*) y algunas gramíneas fueron básicamente de géneros gram-negativas, mientras que aquellas provenientes de raíces de soya (*Glicine max*) fueron básicamente de *Bacillus* spp. Las bacterias gram-negativas redujeron el daño a soya realizado por *Heterodera glycines* y *M. incognita* (Kloepper *et al.*, 1992). Linford *et al.* (1938) encontraron que la incorporación de residuos de piña redujo poblaciones de *M. incognita*, y sugirió que la piña ocasiona un incremento en el número de bacterias y hongos nematófagos. Al respecto, Oka (2010) señala que el comportamiento de hongos nematófagos y su eficiencia para controlar nematodos después de la incorporación de un AV dependen en mayor medida

de las especies fúngicas que habitan el suelo, y en menor grado de la especie que es incorporada como abono. En el mismo sentido, Hirsch *et al.* (2009) señalan que si bien la abundancia de microorganismos en el suelo aumenta conforme se incrementa el contenido de residuos vegetales, la diversidad permanece por décadas, independientemente del contenido de dicha materia orgánica, de lo anterior se puede deducir que en muchas ocasiones la función del AV es solo como catalizador para el control de nematodos o de otras plagas mediante la actividad de los microorganismos ya presentes en el suelo.

Asimismo, se ha señalado que los AV son benéficos para interrumpir el ciclo de vida de insectos, fitopatógenos y maleza, por lo que su uso de igual forma disminuye la necesidad de utilizar plaguicidas (Suquilanda, 2003). Básicamente los abonos verdes vivos pueden suprimir el crecimiento de la maleza a través de la competencia vigorosa por recursos físicos, y los residuos de los abonos verdes pueden continuar suprimiendo el desarrollo de maleza a través de interacciones físicas, bióticas y alelopáticas (Delgado *et al.*, 2009). *M. officinalis* fue evaluada como AV en combinación con dos cultivos (*Pisum sativum* y *Linum usitatissimum*) y se observó que, tanto en pie como después de haber sido removida del suelo, logró reducir la densidad de maleza 75 al 97%. *M. officinalis* logró suprimir las poblaciones de especies de malas hierbas como *Kochia scoparia*, *Sonchus arvensis* y *Salsola iberica*. Esta especie reafirma su potencial para ser utilizada en la agricultura de zonas áridas ya que se ha comprobado como resistente a la sequía (Blackshaw *et al.*, 2001).

Consideraciones Económicas

La formación de suelo y el reciclaje de nutrientes son los servicios ecosistémicos (SE) más importantes que soportan la vida del planeta (Sandhu *et al.*, 2010). El uso de AV forma parte de dicho servicio y por tanto su valor ecológico es altamente considerable (Reid *et al.*, 2005). Dado que este tipo de servicios no responden a un mercado comercial convencional es difícil cuantificar la relación costo/beneficio de este tipo de recursos. Sin embargo, en forma global, algunos de los beneficios que en parte se obtienen de estos productos, como lo son: a) la fijación de nutrimentos (especialmente N), b) el secuestro de carbono, c) la supresión de plagas y enfermedades y d) la formación de suelo, han sido

calculados en aproximadamente 350 billones de dólares anualmente (Pimentel *et al.*, 1997). El uso de AV es recomendado por la normatividad orgánica (NOP, 2002), la cual es considerada uno de los modelos productivos que pueden conducir a lograr la sustentabilidad (Maeder *et al.*, 2002). Los SE proporcionados por la agricultura orgánica son más altos que los de la agricultura convencional. Al respecto, el valor económico de los SE en Nueva Zelanda por las parcelas orgánicas se ha calculado en 1516 dólares ha⁻¹ año⁻¹ comparados con los 670 dólares ha⁻¹ año⁻¹ de las parcelas convencionales (Sandhu *et al.*, 2008). Un aspecto sumamente significativo para reconocer el beneficio económico de los AV radica en el N fijado por AV de leguminosas, ya que el N que proporcionan estas plantas es prácticamente gratis, ya que el único gasto que se realiza en este tipo de siembras corresponde a la semilla y al riego (si no se cuenta con lluvias apropiadas) y se pueden suministrar hasta 240 kg N ha⁻¹ en tan solo tres meses con una leguminosa como el frijol dolichos (Beltrán-Morales *et al.*, 2006). Mientras que el N químico constantemente aumenta de precio. Tan solo la tonelada de la urea, que es el fertilizante nitrogenado más económico, vale más de 7000 pesos mexicanos por tonelada en varias regiones del país. Los fertilizantes nitrogenados han aumentado hasta en un 300% en los dos años recientes (Rodríguez-Ortiz *et al.*, 2010).

Necesidades de Investigación

Las regiones agrícolas donde los abonos verdes son más productivos son aquellas ubicados en zonas tropicales y templadas con niveles medios de humedad (Cherr *et al.*, 2006). Por ello es necesario seguir con investigaciones con otros géneros y especies con potencial para tolerar y ser productivos bajo condiciones adversas. Los abonos verdes con mayor potencial para la agricultura son las leguminosas, por su capacidad para fijar N atmosférico (García-Hernández *et al.*, 2010), y dentro de este tipo de plantas, los géneros más sobresalientes son los siguientes: *Vigna*, *Lablab*, *Vicia*, *Crotalaria*, *Indigofera*, *Rtothia*, *Tephrosia*, *Lupinus* y *Melilotus*. De los géneros enlistados, los dos primeros y los dos últimos han sido ya estudiados en zonas áridas o semiáridas y han demostrado una alta capacidad para producir en condiciones adversas (Beltrán-Morales *et al.*, 2005; 2009). Se han señalado resultados positivos cuando se realizan combinaciones de diferentes especies de abono verde.

CONCLUSIONES

Los abonos verdes son cada vez más utilizados en los sistemas agrícolas, especialmente por la demanda de alimentos y bienes de origen agrícola que se producen mediante prácticas agronómicas más sustentables que aquellas convencionales de la agricultura intensiva e industrial. Este tipo de fuentes de materia orgánica han demostrado que proporcionan mayores cantidades de nitrógeno que los estiércoles o residuos de origen animal. Además han demostrado que pueden aumentar los niveles de materia orgánica aun en suelos de zonas áridas. Las leguminosas como abonos verdes son primordialmente incorporadas al suelo, pero de igual forma es común utilizarlas en rotaciones o en cultivos intercalados con el cultivo comercial principal. Se ha encontrado que no solo son fuente de materia orgánica y nutrientes, sino que tienen propiedades para controlar el desarrollo de plagas, enfermedades y maleza.

LITERATURA CITADA

- Abrol, I. P., R. K. Gupta, and R. K. Malik. 2005. Conservation agriculture status and prospects. Centre for advancement of sustainable agriculture. Pusa Campus, New Delhi, India.
- Agostini, F., E. Sparvoli, and C. De Siena. 2003. Improving the physical properties of soil from the Biancana Badlands, Tuscany, Italy, by the use of amendment materials. *Soil Use Manage.* 19: 270-272.
- Alyokhin, A., and R. Atlihan. 2005. Reduced fitness of the Colorado potato beetle (Coleoptera: *Chrysomelidae*) on potato plants grown in manure-amended soil. *Environ. Entomol.* 34: 963-968.
- Aslantas, R., C. R. Cakmakc, and F. Sahin. 2007. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on young apple tree growth and fruit yield under orchard conditions. *Sci. Hortic.* 111: 371-377.
- Beltrán-Morales, F. A., J. L. García-Hernández, R. D. Valdez-Cepeda, B. Murillo-Amador, E. Troyo-Diéguez, J. Larrinaga y L. F. Beltrán-Morales. 2006. Efecto de sistemas de labranza e incorporación de abono verde (*Lablab purpureus* L.) sobre la respiración edáfica en un yermosol háplico. *Interciencia* 31: 226-230.
- Beltrán-Morales, F. A., J. L. García-Hernández, F. H. Ruiz-Espinoza, L. Fenech-Larios, B. Murillo-Amador, A. Palacios y E. Troyo-Diéguez. 2009. Nutritional potential of red dolichos, brown dolichos and cowpea for green manure produced under three tillage Systems. *Trop. Subtrop. Agroecosystems* 10: 487-495.
- Beltrán-Morales, F. A., J. L. García-Hernández, R. D. Valdez-Cepeda, B. Murillo-Amador, E. Troyo-Diéguez, J. Larrinaga-Mayoral, F. Ruiz-Espinoza, L. Fenech-Larios y F. García-Rodríguez. 2005. Sistemas de labranza, incorporación de abono verde y recuperación de la fertilidad de un yermosol háplico. *Terra Latinoamericana* 23: 381-387.
- Blackshaw, R. E., J. R. Moyer, R. C. Doram, and A. L. Boswell. 2001. Yellow sweetclover, green manure and its residues effectively suppress weeds during fallow. *Weed Sci.* 49: 406-413.
- Brechelt, A. 2004. El manejo ecológico del suelo. Fundación Agricultura y Medio Ambiente (FAMA). Red de acción plaguicidas y sus alternativas para América Latina (RAP-AL) (ed.). Santiago de Chile, Chile.
- Bučienė, A., A. Šlepetienė, D. Šimanskaitė, A. Svirskienė, and B. Butkutė. 2003. Changes in soil properties under high- and low-input cropping systems in Lithuania. *Soil Use Manage.* 19: 291-297.
- Carranca, C., M. O. Torres, and J. Baeta. 2009. White lupine as a beneficial crop in Southern Europe I. Potential for N mineralization in lupine amended soil and yield and N₂ fixation by white lupine. *Europ. J. Agron.* 31: 183-189.
- Chan, K. Y. 2001. An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity -implications for functioning in soils. *Soil Tillage Res.* 57: 179-191.
- Cherr, C. M., J. M. S. Scholberg, and R. McSorley. 2006. Green manure approaches to crop production: a synthesis. *Agron. J.* 98: 302-319.
- Cherr, C. M., J. M. S. Scholberg, R. McSorley, and O. S. Mbuya. 2007. Growth and yield of sweet corn following green manure in a warm temperate environment on sandy soil. *J. Agron. Crop Sci.* 193: 1-9.
- Chikowo, R., P. Mapfumo, P. Nyamugafata, and K. Giller. 2004. Maize productivity and mineral N dynamics following different soil fertility management practices on a depleted sandy soil in Zimbabwe. *Agric. Ecosyst. Environ.* 102: 119-131.
- Cline, G. R., and A. F. Silvernail. 2002. Effects of cover crops, nitrogen, and tillage on sweet corn. *HortTechnology* 12: 118-125.
- Delgado H., G. E. Navas, C. R. Salamanca y A. Chacón. 2009. Barbechos mejorados con leguminosas: una promisoriosa alternativa agroecológica para el manejo alelopático de malezas y mejoramiento del cultivo de arroz y maíz en los Llanos de Colombia. *Agron. Colomb.* 27: 227-235.
- Demiryürek, K., C. Stopes, and A. Güzel. 2008. Organic agriculture: the case of Turkey. *Organic agriculture: the case of Turkey. Outlook Agric.* 37: 261-267.
- Dong, S., D. Neilsen, G. H. Neilsen, and L. H. Fuchigami. 2005. Foliar N application reduces soil NO₃⁻-N leaching loss in apple orchards. *Plant Soil* 268: 357-366.
- Dos Santos, L. M. R., A. M. Costa, M. N. Arenales, and R. H. S. Santos. 2010. Sustainable vegetable crop supply problem. *European J. Operat. Res.* 204: 639-647.
- Fässler, E., B. H. Robinson, W. Stauffer, S. K. Gupta, A. Papritz, and R. Schulin. 2010. Phytomanagement of metal-contaminated agricultural land using sunflower, maize and tobacco. *Agric., Ecosyst. Environ.* 136: 49-58.
- García-Hernández, J. L., I. Orona-Castillo, P. Preciado-Rangel, A. Flores-Hernández, B. Murillo-Amador y E. Troyo-Diéguez. 2010. Nutrients Use Efficiency in Legume Crops to Climatic Changes. pp. 193-206. *In: S. S. Yadav, D. L. McNeil, R. Redden, S. A. Patil (eds.). Climatic Change and management of cool season grain legume crops.* Springer Dordrecht Heidelberg, London, New York.

- Gélinas P., C. Morin, J. F. Reid, and P. Lachance. 2009. Wheat cultivars grown under organic agriculture and the bread making performance of stone-ground whole wheat flour. *Int. J. Food Sci. Technol.* 44: 525-530.
- Gill, M. S., L. S. Brar. 2005. Cropping systems diversification opportunities and conservation agriculture. pp: 64-71. *In: Abrol, I. P., R. K. Gupta and R. K. Malik (eds.). Conservation agriculture status and prospects. Centre for Advancement of Sustainable Agriculture. New Delhi, India.*
- Guereña, M. 2006. Nematodes: Alternative controls. National Sustainable Agriculture Service. Washington, DC, USA.
- Herencia, J. F., J. C. Ruiz, S. Melero, P. A. García Galavis, and C. Maqueda. 2008. A short-term comparison of organic vs. conventional agriculture in a silty loam soil using two organic amendments. *J. Agric. Sci.* 146: 677-687.
- Hernández Mendoza, T. M., E. Salcedo Pérez, G. Arévalo Galarza y A. Galvis Spinola. 2007. Evaluación de la concentración de lignina como indicador de la capacidad de aporte de nitrógeno de residuos orgánicos. *Rev. Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 13: 5-13.
- Hikwa, D., M. Murata, F. Tagwira, C. Chidzuza, H. Murwira, L. Muza, and S. R. Waddington. 1998. Performance of green manure legumes on exhausted soils in Northern Zimbabwe: a soil fertility network trial. pp. 81-84. *In: S. R. Waddington, H. K. Murwira, J. D. T. Kumwenda, D. Hikwa, F. Tagwira (eds.). Soil fertility research for maize-based farming systems in Malawi and Zimbabwe. Soil-FertNet/CIMMYT, Harare, Zimbabwe.*
- Hirsch, P. R., L. M. Gilliam, S. P. Sohi, J. K. Williams, I. M. Clark, and P. J. Murray. 2009. Starving the soil of plant inputs for 50 years reduces abundance but not diversity of soil bacterial communities. *Soil Biol. Biochem.* 41: 2021-2024.
- Johnston, A. E., P. R. Poulton, and K. Coleman. 2009. Soil organic matter: its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. *Adv. Agron.* 101: 1-57.
- Klopper, J. W., R. Rodríguez-Kábana, J. A. McInroy, and R. W. Young. 1992. Rhizosphere bacteria antagonistic to soybean cyst (*Heterodera glycines*) and root-knot (*Meloidogyne incognita*) nematodes: identification by fatty acid analysis and frequency of biological control activity. *Plant Soil* 139: 75-84.
- Linford, M. B., F. Yap, and J. M. Oliveira. 1938. Reduction of soil populations of root-knot nematode during decomposition of organic matter. *Soil Sci.* 45:127-142.
- Lynch, D. 2009. Environmental impacts of organic agriculture: A canadian perspective. *Can. J. Plant Sci.* 89: 621-628.
- Maeder, P., A. Fliessbach, D. Dubois, L. Gunst, P. Fried, and U. Niggli. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296: 1694-1697.
- Mapfumo, P., F. Mtambanengwe, K. E. Giller, and S. Mpeperekwi. 2005. Tapping indigenous herbaceous legumes for soil fertility management by resource poor farmers in Zimbabwe. *Agric. Ecosyst. Environ.* 109: 221-233.
- McDonagh, J. F., B. Toomsan, V. Limpinuntana, and K. E. Giller. 1993. Estimates of the residual nitrogen benefit of groundnut to maize in Northeast Thailand. *Plant Soil* 154: 267-277.
- McSorley, R. and J. J. Frederick. 1999. Nematode population fluctuations during decomposition of specific organic amendments. *J. Nematol.* 31: 37-44.
- National Organic Program (NOP). 2002. Reglamento final del programa nacional orgánico. 7CFR Parte 205-Programa Nacional Orgánico. Departamento de Agricultura de Estados Unidos. Washington, DC, USA.
- Nezomba, H., T. P. Tauro, F. Mtambanengwe, and P. Mapfumo. 2010. Indigenous legume fallows (indifallows) as an alternative soil fertility resource in smallholder maize cropping systems. *Field Crops Res.* 115: 149-157.
- Oka, Y. 2010. Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments-A review. *Appl. Soil Ecol.* 44: 101-115.
- Organic Crop Improvement Association International (OCIA). 2005. Estándares Internacionales de Certificación. OCIA Internacional. Lincoln, NE, USA.
- Pandey, R. K. and J. W. Pendleton. 1986. Soybean as green manure in a maize intercropping system. *Exp. Agric.* 22:179-185.
- Pankhurst C. E., R. C. Magarey, G. R. Stirling, B. L. Blair, M. J. Bell, and A. L. Garside. 2003. Management practices to improve soil health and reduce the effects of detrimental soil biota associated with yield decline of sugarcane in Queensland, Australia. *Soil Tillage Res.* 72: 125-137.
- Pimentel, D., C. Wilson, C. McCullum, R. Huang, P. Dwen, J. Flack, Q. Tran, T. Saltman, and B. Cliff. 1997. Economic and environmental benefits of biodiversity. *BioScience* 47: 747-757.
- Reid, W. V., H. A. Mooney, A. Cropper, D. Capistrano, S. R. Carpenter, K. Chopra, P. Dasgupta, T. Dietz, A. K. Duraiappah, R. Hassan, R. Kasperson, R. Leemans, R. M. May, A. J. McMichael, P. Pingali, C. Samper, R. Scholes, R. T. Watson, A. H. Zakri, Z. Shidong, N. J. Ash, E. Bennett, P. Kumar, M. J. Lee, C. Raudsepp-Hearne, H. Simons, J. Thonell, and N. B. Zurek. 2005. Millennium ecosystem assessment synthesis report. United Nations. Washington, DC, USA.
- Rivera-Cruz, M. C., A. Trujillo-Narcía y D. E. Alejo Pereyra. 2010. Los biofertilizantes integrados con bacterias fijadoras de N, solubilizadoras de P y sustratos orgánicos en el crecimiento de naranjo agrio *Citrus aurantium* L. *Interiencia* 35: 113-119.
- Rodríguez Ortiz, J. C., C. Loredó, J. A. Alcalá, L. Beltrán, J. J. Tapia, C. Villar y J. L. García H. 2010. Efecto de dosis y momento de aplicación de lombricomposta en la producción de cebollita cambray (*Allium cepa*). *Agrofaz* 10: 99-106.
- Ruiz-Vega, J. y G. Loeza-Ramírez. 2003. Evaluación de abonos verdes en asociación con maíz de temporal en los Valles Centrales de Oaxaca, México. *Terra* 21: 409-415.
- Salazar R., M. A., M. Prager M., and J. E. Arat R. 2004. Evaluación de abonos verdes en el cultivo de yuca (*Manihot sculenta*) en un inceptisol de la zona de ladera del Departamento de Cauca, Colombia. *Rev. Fac. Nac. Agr.* 57: 1-10.
- Sandhu, H. S., S. D. Wratten, and R. Cullen. 2010. Organic agriculture and ecosystems services. *Environ. Sci. Pol.* 13: 1-7.
- Sandhu, H. S., S. D. Wratten, R. Cullen, and B. Case. 2008. The future of farming: the value of ecosystem services in conventional and organic arable land. An experimental approach. *Ecol. Econ.* 64: 835-848.
- Singh, G., S. K. Jalota, and B. S. Sidhu. 2005. Soil physical and hydraulic properties in a rice-wheat cropping system in India: Effects of rice-straw management. *Soil Use Manage.* 21: 17-21.
- Singh, M., A. Singh, S. Singh, R. S. Tripathi, A. K. Singh, and D. D. Patra. 2010. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) as a green manure to improve the productivity of a menthol mint (*Mentha arvensis* L.) intercropping system. *Indust. Crops Prod.* 31: 289-293.

- Smil, V. 2000. Feeding the World. MIT Press, Cambridge, MA, USA.
- Suquilanda, M. B. 2003. Manejo integrado de plagas en el cultivo del arroz. Organización Mundial de la Salud. Organización Panamericana de la Salud. Quito, Ecuador.
- Thorup-Kristensen, K. 2006. Root growth and nitrogen uptake of carrot, early cabbage, onion and lettuce following a range of green manures. *Soil Use Manage.* 22: 29-38.
- Tillman, D., K. G. Cassman, P. A. Matson, R. Naylor, and S. Polask. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418: 671-677.
- Turkington, R. A., P. B. Cavers, and E. Rempel. 1978. The biology of Canadian weeds. 29. *Melilotus alba* Desr. and *M. officinalis* (L.) Lam. *Can. J. Plant Sci.* 58: 523-537.
- Vázquez-Vázquez, C., J. L. García-Hernández, E. Salazar-Sosa, B. Murillo-Amador, I. Orona-Castillo, R. Zúñiga, E. O. Rueda-Puente y P. Preciado-Rangel. 2010. Rendimiento y valor nutritivo de forraje de alfalfa (*Medicago sativa* L.) con diferentes dosis de estiércol bovino. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 1: 363-372.
- Wang, K. H., B. S. Sipes, and D. P. Schmitt. 2001. Suppression of *Rotylenchulus reniformis* by *Crotalaria juncea*, *Brassica napus*, and *Tagetes erecta*. *Nematropica* 31: 237-251.
- Wang, K. H., R. McSorley, and R. N. Gallaher. 2003. Effect of *Crotalaria juncea* amendment on nematode communities in soil with different agricultural histories. *J. Nematol.* 35: 294-301.
- Wheeler, S. A. 2007. Contrasting the beliefs of Australian agricultural professionals about the benefits and costs of genetic engineering and organic agriculture. *Australian J. Exp. Agric.* 47: 1389-1396.
- Whitehead, C. C., R. H. Fleming, and R. J. Julian. 2003. Skeletal problems associated with selection for increased production. pp. 29-52. *In*: W. M. Muir and S. E. Aggrey (eds.). *Poultry Genetics, Breeding and Biotechnology*. CABI Publishing Wallingford, UK.
- Wienhold, B. J. 2005. Changes in soil attributes following low phosphorus swine slurry application to no-tillage sorghum. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69: 206-214.
- Yadav, D. V. and P. Dey. 2000. Increasing productivity of soils and sugarcane through green manure crop intercropped with late planted sugarcane. pp. 34-36. *In*: Proc. International Conference on Managing Natural Resources for Sustainable Agricultural Production in the 21st Century. New Delhi, India.
- Yadav, R. L. 2004. Enhancing efficiency of fertilizer N use in rice-wheat systems of Indo-Gangetic plains by intercropping *Sesbania aculeata* in direct seeded upland rice for green manuring. *Bioresour. Technol.* 93: 213-215.
- Zhang, F., Ch. L. Huang, B. H. Lin, and J. E. Epperson. 2008. Modeling fresh organic produce consumption with scanner data: a generalized double hurdle model approach. *Agribusiness* 24: 510-522.