



ABONOS VERDES, ENMIENDAS ORGÁNICAS Y MÍNIMO LABOREO: alternativas para mejorar la salud del suelo y potenciar la producción hortícola

Ing. Agr. Alejandro Corres¹; Ing. Agr. (MSc) Juan C. Gilsanz²; Bach. Mariana Silvera²; Ing. Agr. (PhD) Jorge Arboleya²; Ing. Agr. (PhD) Carolina Leoni²

¹ Estudiante de posgrado, Universidad de Wageningen

² Programa Nacional de Producción y Sustentabilidad Ambiental y Programa Nacional de Producción Hortícola

INTRODUCCIÓN

La salud del suelo la podemos definir como “la capacidad de un suelo de funcionar como un sistema vivo que sostiene la productividad biológica, mantiene la calidad ambiental y promueve la salud de plantas, animales y personas”. La salud del suelo es resultado del gran número de interacciones y relaciones simbióticas que existen entre las plantas y los diversos organismos que lo habitan y es la base de una producción agrícola sustentable. Por lo tanto, debemos buscar prácticas que mantengan y promuevan suelos productivos con bajos niveles de degradación.

En el sur del país la producción vegetal representa un importante ingreso económico para los productores familiares. La depreciación de los productos vegetales aunado al incremento en los costos de la energía y los insumos agrícolas llevaron a muchos productores a especializarse y destinar mayores áreas a un solo cultivo, reducir las rotaciones y aumentar el uso de irrigación y agroquímicos. Como consecuencia, aumentaron los riesgos para el sustento y bienestar de las familias, así como para el deterioro del agroecosistema y de la región, donde la erosión afecta entre 60-70% del área.

Actualmente se están buscando alternativas adecuadas para el Uruguay, de forma de reducir las actuales pérdidas: entre 1 - 4% de materia orgánica y entre 5 – 9 toneladas de suelo/hectárea debido a la erosión. Desde la década del 90 se vienen realizando estudios sobre manejo de suelos en sistemas hortícolas en donde se combinan prácticas conservacionistas: mínimo laboreo, abonos verdes y enmiendas orgánicas, confirmando los beneficios de estas prácticas sobre la salud del suelo.

IMPACTO DEL LABOREO SOBRE LA SALUD DEL SUELO

La perturbación física del suelo debida al laboreo favorece la biodegradación de la materia orgánica. Por una parte, expone la materia orgánica que se encuentra protegida en los macro agregados del suelo. Por otra, modifica la estructura de las comunidades bióticas (microbianas, artrópodos, lombrices) que habitan en el suelo y son responsables de la degradación de la materia orgánica.

La agricultura de conservación constituye una alternativa para optimizar la productividad y los servicios que brinda el suelo, y se define por tres principios básicos: alterar el suelo lo mínimo posible, mantener una cubierta orgánica permanente y diversificar las rotaciones y asociaciones entre cultivos. En particular las prácticas de mínimo laboreo ofrecen una gama de beneficios económicos, ambientales y sociales: disminuyen la erosión del suelo, reducen el consumo de combustible, disminuyen las emisiones de CO₂ a la atmósfera, aumentan la actividad biológica en el suelo y en consecuencia su fertilidad, y mejoran la estabilidad de la producción y los rendimientos.

Prácticas complementarias, tales como el uso de enmiendas orgánicas (adición de estiércol y/o compost) y de abonos verdes, aumentan el contenido de carbono orgánico en el suelo y mejoran la estabilidad de sus agregados en mayor medida que si se agregaran fertilizantes químicos. Las enmiendas orgánicas aportan macro y micronutrientes esenciales para mejorar las propiedades químicas del suelo. Los abonos verdes y los residuos que éstos generan mejoran la estructura

del suelo, aumentan la materia orgánica y establecen patrones de ciclo de nutrientes similares a los de los ecosistemas naturales. A su vez, el uso de abonos verdes contribuye en buena medida a reducir el banco de semillas de malezas y ayuda a regular la temperatura y la humedad del suelo.

ESTRATEGIAS PARA RECUPERAR LA SALUD DEL SUELO EN LOS SISTEMAS HORTÍCOLAS

En el 2012 en la estación experimental INIA Las Brujas, sobre un suelo degradado por su historia agrícola, se instaló un ensayo donde se comparan diferentes estrategias para recuperar la salud del suelo. Para ello se definieron cinco manejos: 1- laboreo convencional, sin abono verde ni enmiendas orgánicas y fertilización química exclusiva (Manejo Convencional, MC); 2- laboreo convencional, abono verde incorporado, fertilización con estiércol de ave y compost (Manejo Convencional Mejorado, MCM); 3- laboreo reducido, abono verde picado y dejado en superficie y compost (Manejo Mínimo Laboreo-1); 4- laboreo reducido, abono verde en superficie y estiércol de ave (Manejo Mínimo Laboreo-2); y 5- laboreo reducido, abono verde en superficie, compost y estiércol de ave (Manejo Optimizado) (Cuadro 1, Foto 1). Se evaluaron las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo bajo los distintos manejos, las cuales además se compararon con las propiedades de un sitio que ha permanecido imperturbado durante los últimos 30 años.

¿CÓMO ESTÁ EL SUELO LUEGO DE TRES AÑOS?

Luego de tres años, los diferentes manejos comienzan a mostrar sus efectos. A continuación se presentan los resultados obtenidos luego de la zafra del verano 2014-15.

Cuadro 1 - Características de los distintos manejos

Manejo	Tipo de Laboreo	Uso de abono verde	Uso de enmienda orgánica	Uso del suelo invierno - verano 2014-15
MC = Manejo Convencional	Convencional	NO	NO, fertilización química exclusiva.	Repollo - Calabacín
MCM = Manejo Convencional Mejorado	Convencional	SI, e incorporado al suelo	SI = Estiércol de ave y compost, cada uno aporta el 50% del Nitrógeno demandado por el cultivo	Repollo - Sorgo forrajero
MML-1 = Mínimo Laboreo - 1	Reducido	SI, picado y dejado en superficie	SI = Compost, aporta el 100% del Nitrógeno demandado por el cultivo	Repollo - Sorgo forrajero
MML-2 = Mínimo Laboreo - 2	Reducido	SI, picado y dejado en superficie	SI = Estiércol de ave, aporta el 100% del Nitrógeno demandado por el cultivo	Repollo - Sorgo forrajero
MO = Manejo Optimizado	Reducido	SI, picado y dejado en superficie	SI = Estiércol de ave y compost, cada uno aporta el 50% del Nitrógeno demandado por el cultivo	Repollo - Sorgo forrajero



Foto 1 - Uso del suelo verano 2015. Parcela con calabacín y parcelas de abonos verdes.

El rendimiento del calabacín cv. Pluto bajo manejo convencional, único manejo con hortalizas en este período, fue de 23 ton/ha y el promedio de todos los abonos verdes fue de 16 ton/ha de materia seca de sorgo (suma de dos cortes).

Efecto sobre las propiedades físicas: densidad aparente y porosidad

La densidad aparente es una medida de compactación del suelo y se expresa en gramos de suelo seco/cm³. Mayores valores de densidad aparente significan mayor compactación. Por otro lado, la porosidad es el espacio del suelo ocupado por aire y/o agua y se expresa en % de volumen de suelo, es decir a mayor porosidad mayor soltura del suelo. Una buena porosidad del suelo es decisiva para mantener niveles adecuados de aeración y temperatura, crecimiento de raíces e infiltración de agua.

Cuadro 2 - Densidad aparente y porosidad del suelo, abril 2015

Manejo	Densidad aparente (g/cm ³)		Porosidad total (%)	
MC	1.31	a ¹	50	b
MCM	1.20	ab	55	ab
MML-1	1.12	bc	58	a
MML-2	1.08	c	59	a
MO	1.15	bc	57	a
Suelo imperturbado	1.02	--- ²	62	---

¹Diferentes letras en la columna implican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo a la comparación de medias Tukey (P<0.05).

²No se incluyó en el análisis estadístico

Cuadro 3 - Carbono activo y Carbono orgánico del suelo, abril 2015

Manejo	Carbono activo (mg C / kg suelo)		Carbono orgánico (%)	
	MC	249	b ¹	1,15
MCM	458	a	1,27	a
MML-1	507	a	1,32	a
MML-2	512	a	1,39	a
MO	530	a	1,38	a
Suelo imperturbado	1359	--- ²	2,43	---

¹Diferentes letras en la columna implican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo a la comparación de medias Tukey (P<0.05).

²No se incluyó en el análisis estadístico

Se observó que el manejo convencional presentó una mayor compactación (mayor densidad aparente y menor porosidad total). En contraste, los manejos de mínimo laboreo presentaron los valores más bajos de densidad aparente y los valores más altos de porosidad (Cuadro 2).

Estos resultados son consecuencia de la utilización de abonos verdes y de enmiendas orgánicas (compost y estiércol de ave), los cuales inciden positivamente sobre la formación de agregados y mejora de la estructura del suelo, sobre el incremento de la infiltración, retención y drenaje de agua, así como sobre una mejor aeración del suelo.

Efecto sobre las propiedades químicas: carbono activo, carbono orgánico y macronutrientes

El carbono activo es la fracción de carbono orgánico más propensa a la degradación. Su importancia radica en que esta fracción es el combustible de la cadena alimenticia en el suelo y por lo tanto tiene una gran influencia en las comunidades biológicas y los ciclos de nutrientes. El contenido de carbono orgánico en el suelo tiende a cambiar en base a las prácticas agrícolas y a otras perturbaciones.

Como resultado de los manejos evaluados, se observaron mayores niveles de carbono activo y carbono orgánico en los manejos conservacionistas, si bien aún están muy debajo de los valores observados en el suelo imperturbado (Cuadro 3). Por otro lado, los valores de carbono activo muestran mejor las diferencias entre manejos, pues representan los cambios de la materia orgánica en el corto plazo.

Los valores de nitrógeno total en el suelo (N) oscilaron entre 0,13% y 0,15%, sin diferencias entre manejos, mientras que los niveles de fósforo (P) y potasio (K) fueron significativamente mayores en los manejos con enmiendas orgánicas, especialmente aquellos con

Cuadro 4 - Nitrógeno total, fósforo y potasio en el suelo, abril 2015

Manejo	Nitrógeno total (%)		Fósforo ($\mu\text{g P/g}$)		Potasio (meq/100g)	
MC	0,13	a	15,7	b	0,26	b
MCM	0,13	a	79,0	a	0,35	ab
MML-1	0,14	a	93,4	a	0,32	ab
MML-2	0,15	a	104,1	a	0,44	a
MO	0,14	a	91,2	a	0,41	a
Suelo imperturbado	0,25	--- ²	13,9	---	0,74	---

¹Diferentes letras en la columna implican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo a la comparación de medias Tukey ($P < 0.05$). ² No se incluyó en el análisis estadístico

estiércol de ave (Cuadro 4). El manejo convencional presentó niveles bajos de nutrientes, especialmente en lo que respecta a potasio. Las enmiendas orgánicas muestran que pueden contribuir con las necesidades nutricionales de los cultivos, pero exigen un manejo adecuado para disminuir posibles efectos negativos por niveles excesivos de algunos de ellos.

Efecto sobre las propiedades biológicas: respiración del suelo, comunidades microbianas y macrofauna

Las comunidades biológicas del suelo son responsables de una amplia gama de funciones y procesos como contribuir a mantener la estructura del suelo, incidir en los ciclos de nutrientes y en la descomposición de la materia orgánica, favorecer el crecimiento de las plantas y suprimir el desarrollo de enfermedades. La actividad biológica del suelo está asociada a la salud del mismo y por ende al buen funcionamiento del agroecosistema.

El desprendimiento de CO_2 desde el suelo hacia la atmósfera se conoce como respiración del suelo y es un indicador de la actividad microbiana global, especialmente de aquellos microorganismos que descomponen los residuos orgánicos y mineralizan los nutrientes. Por otra parte, la macrofauna (invertebrados con un ancho

del cuerpo mayor a 2 mm, como artrópodos y lombrices) a través de sus actividades interviene en la regulación de los procesos del suelo.

Según su alimentación se reconocen tres grupos funcionales: herbívoros (se alimentan de las partes vivas de las plantas), depredadores (consumen animales vivos) y detritívoros (se alimentan de materia orgánica no viva). Tanto la respiración como la macrofauna del suelo responden al manejo en escalas de tiempo de meses o años, por lo que se consideran potenciales indicadores biológicos del estado de los agroecosistemas.

En el otoño del 2015, al final del ciclo estival, la respiración del suelo bajo los diferentes manejos varió entre 30 y 50 $\text{mg CO}_2/\text{kg}$ suelo seco, no detectándose diferencias significativas entre ellos, posiblemente debido a la falta de agua en el suelo como consecuencia del déficit hídrico existente durante el ciclo de cultivo. Igualmente, la abundancia de artrópodos y lombrices en general fue baja, y el manejo convencional fue el que presentó los menores valores (Cuadro 5).

En lo que respecta a las comunidades microbianas, los grupos reconocidos por su capacidad de suprimir enfermedades como *Pseudomonas* fluorescentes, actinomicetos y *Trichoderma* spp., presentaron las poblaciones más bajas en el manejo convencional, mientras que los

Cuadro 5 - Respiración del suelo, abundancia de artrópodos y abundancia de lombrices, abril 2015

Manejo	Respiración del suelo ($\text{mg CO}_2/\text{kg}$ suelo seco)		Abundancia artrópodos ($\text{N}^\circ/\text{m}^2$)		Abundancia lombrices ($\text{N}^\circ/\text{m}^2$)	
MC	34	a	24	d	5	b
MCM	31	a	76	c	12	ab
MML-1	34	a	100	ab	4	b
MML-2	50	a	84	bc	16	a
MO	30	a	112	a	12	ab
Suelo imperturbado	42	--- ²	128	---	96	---

¹Diferentes letras en la columna implican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo a la comparación de medias Tukey ($P < 0.05$). ² No se incluye en el análisis estadístico

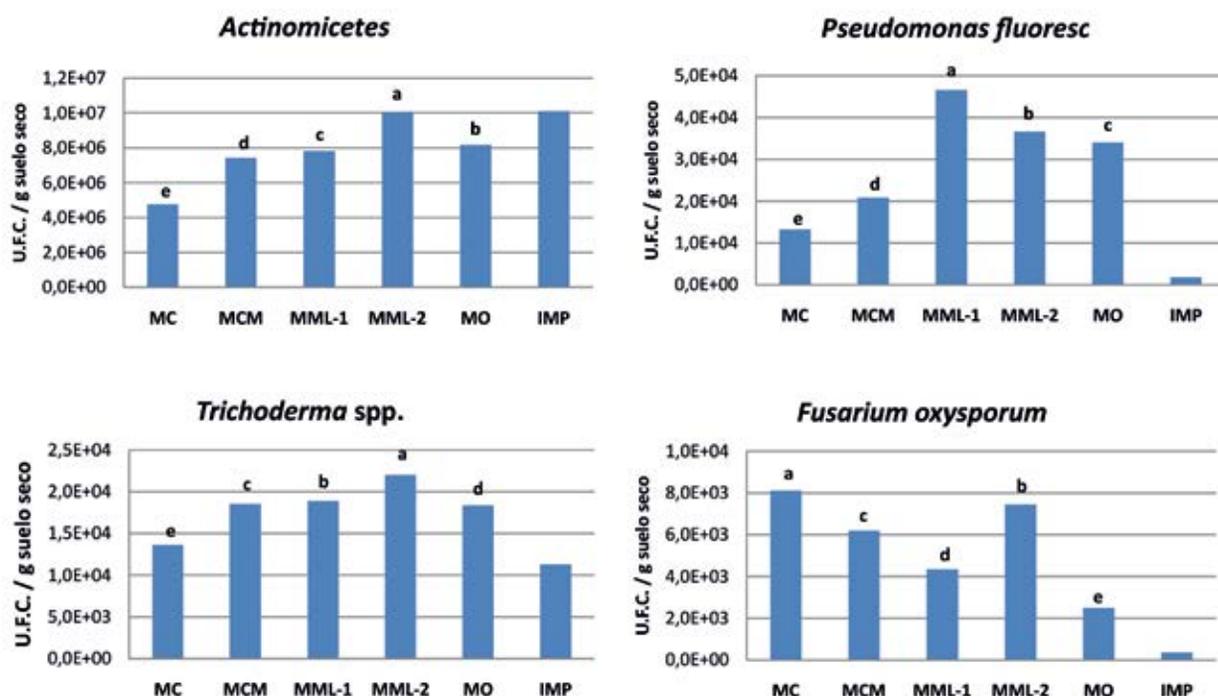


Figura 1 - Comunidades microbianas benéficas y potenciales patogénicas, abril 2015. Diferentes letras en las barras implican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo a la comparación de medias Tukey ($P < 0.05$). Los valores del sitio imperturbado (IMP) no se incluyeron en el análisis estadístico.

manejos con laboreo reducido, abono verde y compost presentaron las poblaciones más bajas de *Fusarium oxysporum*, potencial patógeno vegetal (Figura 1).

CONSIDERACIONES FINALES

Luego de tres años, se comienzan a ver las consecuencias de los diferentes sistemas de manejo, si bien efectos más consistentes son esperables en un plazo mayor de tiempo. Los sistemas con laboreo reducido, uso de abonos verdes y enmiendas orgánicas presentaron buenos valores de productividad junto a una mejora en la salud del suelo, expresada en los valores obtenidos para las propiedades físicas, químicas y biológicas.

Este trabajo muestra que es posible mejorar la salud del suelo y por extensión la sostenibilidad de los sistemas de producción hortícola.

BIBLIOGRAFÍA

Alliaume, F., Rossing, W.A.H., Tittonell, P., Jorge, G., Dogliotti, S. 2014. Reduced tillage and cover crops improve water capture and reduce erosion of fine textured soils in raised bed tomato systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 183: 127-137.

Arbolea, J., Gilsanz, J.C., Alliaume, F., Leoni, C., Falero, M., Guerra, S. 2012. Minimum tillage and vegetable crop production. *Agrociencia Uruguay* 16: 62-70. (special issue).

Gilsanz, J.C., Arbolea, J. Maeso, D.Paullier, J.Beyhaut, E., Labandera, C.Hoyt, G.D., Sanders, D.C. 2004. Evaluation of limited tillage and cover crop systems to reduce N use and disease population in small acreage vegetable farms mirror image projects in Uruguay and North Carolina, USA. *Acta Horticulturae* 638, p 163-169. En: Proc. XXVI IHC. Sustainability of Horticultural Systems. Eds. L. Bertschinger and J. D. Anderson.

Arbolea, J., Gilsanz, J.C., Alliaume, F., Leoni, C., Falero, M., Guerra, S. 2010. Manejo sustentable en producción hortícola intensiva. *INIA Serie Actividades de Difusión* N° 624, p 9-19

Larkin, R.P. 2015. Soil health paradigms and implications for disease management. *Annual Review of Phytopathology* 53:199-221,

Scholberg, J.M.S., Dogliotti, S., Leoni, C., Cherr, C.M., Zotarelli, L., Rossing, W.A.H. 2010. Cover crops for sustainable agrosystems in the Americas. Pages 23-58. In: Genetic Engineering, Biofertilization, Soil Quality and Organic Farming. Lichtfouse, E. (Ed.) Sustainable Agriculture Reviews, Vol. 4. Springer.

Wang, Y., Tu, C., Cheng, L., Li, C., Gentry, L.F., Hoyt, G.D., Zhang, X., Hu, S. 2011. Long-term impact of farming practices on soil organic carbon and nitrogen pools and microbial biomass and activity. *Soil and Tillage Research* 117, 8-16.