



Foto: Carolina Leoni

# ¿ES POSIBLE RESTAURAR LA SALUD DEL SUELO?

## Lecciones aprendidas en el experimento de largo plazo con sistemas hortícolas a campo

Ing. Agr. PhD Carolina Leoni<sup>1</sup>; Lic. Bioquímica Mag Victoria Cerecetto<sup>1,2\*</sup>; Ing. Agr. MSc Juan Carlos Gilsanz<sup>1</sup>; Téc. Agrop. Adriana Reggio<sup>1</sup>; Bach. Mariana Silvera<sup>1</sup>; Prof. Dr. Kornelia Smalla<sup>2</sup>; Dr. Doreen Babin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Investigación en Producción y Sustentabilidad Ambiental - INIA

<sup>2</sup>Julius Kühn - Institut, Federal Research Centre for Cultivated Plants (Alemania)

\*Estudiante de Doctorado

Cumplidos seis años de evaluación de diferentes manejos de suelo en el experimento de largo plazo de INIA Las Brujas, es posible observar y cuantificar diferencias importantes en los sistemas evaluados. Este experimento es un recurso sumamente valioso, por su potencialidad para brindar información cuali y cuantitativa sobre cómo evolucionan las prácticas agropecuarias y cómo afectan el ambiente, permitiendo una visión integral en el mediano y largo plazo.

Los suelos brindan múltiples servicios ecosistémicos esenciales para la vida, como la provisión de alimentos, fibras y energía. Pero también proveen servicios ecosistémicos de soporte de hábitats y regulación como amortiguación de eventos extremos y reducción de enfermedades y plagas. Preservar y restaurar los suelos es un desafío ante la

demanda creciente de alimentos, y para ello debemos conocer y medir los impactos resultantes del uso e intensificación agrícola. A nivel nacional, existen políticas públicas para mitigar la erosión de los suelos, pero aún es necesario comprender y cuantificar el impacto de las prácticas de manejo sobre la salud del suelo.

Los experimentos de largo plazo nos permiten conocer cómo las prácticas agropecuarias afectan el ambiente con el transcurso del tiempo.

Entendemos la salud del suelo como la capacidad sostenida del suelo de funcionar como un sistema vivo que soporte la productividad biológica, mantenga la calidad ambiental y promueva la salud de las plantas, los animales y las personas (Larkin, 2015). Como sistema vivo los suelos albergan la mayor diversidad biológica (biodiversidad) del planeta, desde microorganismos como bacterias y hongos hasta nematodos, lombrices y artrópodos. Los procesos de intensificación agrícola muchas veces están asociados a una disminución de la biodiversidad del suelo comprometiendo su funcionamiento, por ello es importante mantener y/o recuperar la biodiversidad del suelo para garantizar la provisión de servicios ecosistémicos esenciales para la vida. La biodiversidad está íntimamente asociada a los parámetros físico-químicos del suelo, por lo cual el estudio de la salud del suelo implica conocer cómo cambian simultáneamente las propiedades físicas, química y biológicas.

INIA dispone de una serie de experimentos de largo plazo (ELP), los que, desde 2018, constituyen la Plataforma Agroambiental sobre la cual se asientan diversos proyectos de investigación. El disponer de dichos experimentos es un recurso sumamente valioso para el país, pues tienen la potencialidad de brindar información cuali y cuantitativa sobre cómo evolucionan las prácticas agropecuarias y cómo afectan el ambiente, permitiendo una visión integral en el mediano y largo plazo. En particular, son una excelente herramienta para estudiar y comprender el impacto de diferentes prácticas agronómicas sobre el microbioma del suelo, de forma de contribuir al diseño de sistemas agrícolas resilientes, donde se reduzcan los insumos externos y se promuevan los procesos biológicos mediados por la biota del suelo (Figura 6).

En el año 2012 se instaló en la Estación Experimental "Wilson Ferreira Aldunate"- INIA Las Brujas, un experimento sobre un suelo altamente degradado por su historia agrícola, donde se comparan diferentes estrategias para restaurar la salud del suelo de sistemas hortícolas. El experimento evalúa cinco manejos, pero aquí presentamos los tres más contrastantes y un sitio de referencia que ha permanecido imperturbado durante los últimos 30 años. Ellos son: **1** - Manejo Convencional, MC (laboreo convencional con fertilización química exclusiva, sin abono verde ni enmiendas orgánicas); **2** - Manejo Convencional Mejorado, MCM (laboreo convencional, abono verde incorporado, fertilización con estiércol de ave y compost); **3** - Manejo Optimizado, MO (laboreo reducido,

abono verde en superficie sin incorporar, fertilización con compost y estiércol de ave) (Figura 1). Es importante destacar que todas las parcelas recibieron un aporte de nitrógeno similar, tanto químico como orgánico (compost, estiércol de ave), el abono verde empleado fue sorgo forrajero (*Sorghum sudanense* x *S. bicolor*) y el manejo del cultivo fue semejante en todo el experimento. Desde el comienzo del ELP se realizaron diferentes cultivos hortícolas, como zanahoria (*Daucus carota* L.), maíz dulce (*Zea mays* L. convar. *saccharata*), repollo (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*), cebolla (*Allium cepa* L.), boniato (*Ipomoea batatas* L.), calabaza (*Cucurbita moschata* D.), coliflor (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*) y por último, remolacha (*Beta vulgaris* var. *vulgaris*).

En noviembre de 2017, previo a la cosecha de remolacha, se realizaron una serie de evaluaciones para ver como las diferentes estrategias afectaban la productividad del cultivo y las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo.



Manejo Convencional (MC): laboreo convencional, fertilización química exclusiva, sin abono verde ni enmiendas orgánicas.



Manejo Convencional Mejorado (MCM): laboreo convencional, abono verde incorporado, fertilización con estiércol de ave y compost.

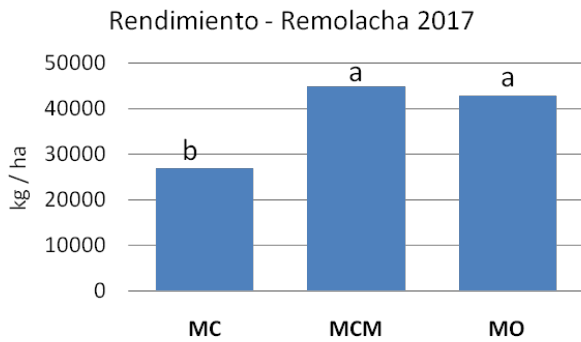


Manejo Optimizado (MO): laboreo reducido, abono verde en superficie sin incorporar, fertilización con compost y estiércol de ave.

Fotos: Carolina Leoni

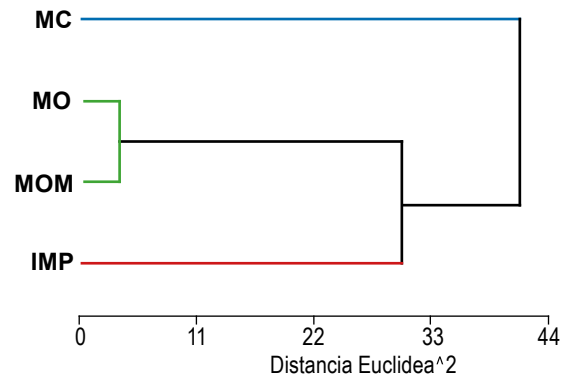
**Figura 1** - Vista de las parcelas experimentales con el cultivo de remolacha en octubre de 2017, para las diferentes estrategias de manejo.





Columnas con igual letra no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ , Prueba de Tukey).

**Figura 2** - Rendimientos de remolacha obtenidos en la temporada 2017 en las tres estrategias de manejo evaluadas: manejo convencional (MC), manejo convencional mejorado (MCM), manejo optimizado (MO).



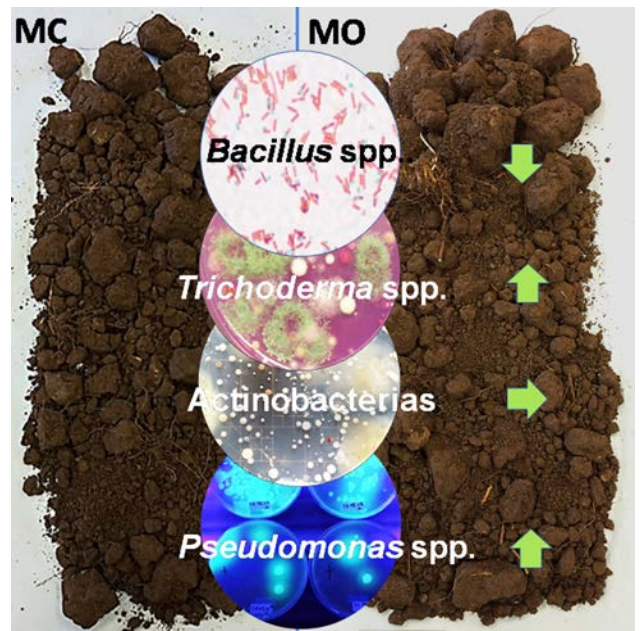
**Figura 3** - Análisis de conglomerados para las variables físicas, químicas y biológicas de los suelos, bajo tres estrategias de manejo y en un sitio de referencia imperturbado.

### ¿CÓMO IMPACTARON LOS DIFERENTES MANEJOS EN LA SALUD DEL SUELO?

En primer lugar, encontramos diferencias en la productividad de los cultivos según la estrategia de manejo empleada. El rendimiento del cultivo fue significativamente menor en el manejo convencional (MC) frente a los dos manejos restauradores del suelo (MCM y MO) (Figura 2).

Al analizar el conjunto de variables físicas, químicas y biológicas del suelo, vemos tres grupos: en un extremo encontramos el manejo convencional (MC), en el otro extremo el sitio de referencia imperturbado (IMP), y en una posición intermedia acercándose al IMP los manejos MCM y MO (Figura 3).

Entre las variables físico-químicas estudiadas, las que se destacaron por su capacidad de diferenciar los manejos fueron el tamaño de los agregados de suelo, el nivel de carbono lábil, el pH y los niveles de fósforo y potasio disponible (Cuadro 1). En tanto, las variables biológicas destacadas fueron la tasa de respiración del suelo y la abundancia y biodiversidad de microorganismos (Cuadro 2).



**Figura 4** - Cambios en la composición de las comunidades microbianas del suelo en respuesta a dos de las estrategias de manejo evaluadas: manejo convencional (MC) y manejo optimizado (MO). Las flechas indican si la abundancia de cada grupo de microorganismos disminuye, se mantiene o aumenta en el MO respecto al MC.

**Cuadro 1** - Propiedades físico-químicas del suelo. Valores medios obtenidos en la temporada 2017 para las tres estrategias de manejo evaluadas: manejo convencional (MC), manejo convencional mejorado (MCM), manejo optimizado (MO) y el sitio de referencia (IMP).

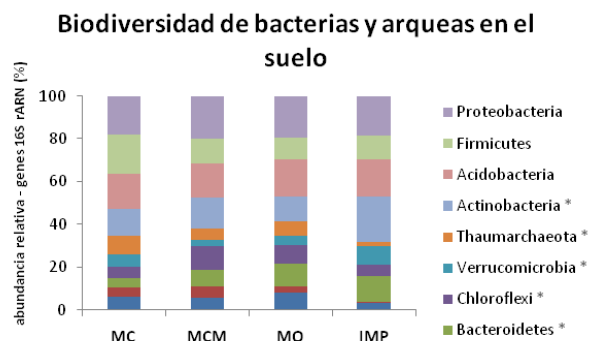
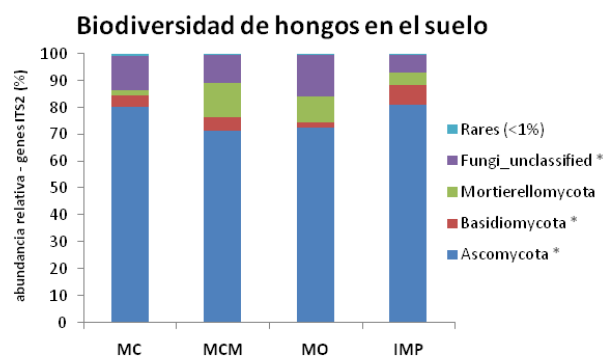
	Agregados de suelo >2 mm (%)	Agregados de suelo 1-2 mm (%)	Agregados de suelo < 0,25 mm (%)	pH	Carbono lábil (mg C/ kg suelo)	Carbono orgánico (%)	N total (%)	P disponible ( $\mu\text{g P / g}$ suelo)	K (meq/ 100 g suelo)
MC	0,8 b	12,8 c	28,5 a	5,5 c	224,5 c	1.09 b	0,09 b	14,6 b	0,14 c
MCM	8,8 b	22,2 bc	16,0 ab	6,6 a	513,0 b	1.15 b	0,12 b	109,1 a	0,25 b
MO	4,5 b	31,2 ab	9,1 b	6,7 a	488,7 b	1.44 b	0,14 b	141,8 a	0,30 ab
IMP	51,3a	36,4 a	3,1 c	6,2 b	1367,0 a	2.44 a	0,25 a	10,5 b	0,31 a

Medias con igual letra no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ , Prueba de Tukey)

**Cuadro 2** - Propiedades biológicas del suelo. Valores medios obtenidos en la temporada 2017 para las tres estrategias de manejo evaluadas: manejo convencional (MC), manejo convencional mejorado (MCM), manejo optimizado (MO) y el sitio de referencia (IMP). Riqueza y diversidad estimadas para los genes 16S rARN e ITS2.

	Respiración (mgCO <sub>2</sub> /g suelo seco/día)	Riqueza		Diversidad (chao-1)	
		16S rARN	ITS 2	16S rARN	ITS 2
MC	0,015 b	754.5 b	803.0 b	176,5 a	178,1 b
MCM	0,029 ab	804.5 b	841.4 b	227,9 a	217,4 ab
MO	0,029 ab	1049.1 a	1144.3 a	226,7 a	228,3 ab
IMP	0,053 a	1019.0 a	1104.7 a	259,9 a	263,9 a

Medias con igual letra no son significativamente diferentes (p> 0,05, Prueba de Tukey)



\* Significativamente diferentes (p> 0,05, Prueba de Tukey)

**Figura 5** - Composición de la comunidad de hongos, bacterias y arqueas en el suelo a nivel de *Phylum*, estimadas mediante secuenciación de genes ITS2 y 16S rARN.

Los manejos restauradores del suelo mostraron un incremento en la actividad biológica global del suelo (estimado por la tasa de respiración), pero también cambios en la composición de las comunidades microbianas (Figura 5).

En el MC tienden a dominar comunidades oligotróficas (por ejemplo representantes de los géneros *Bacillus* y *Acidobacteriales*), adaptadas a ambientes nutricional-

mente más pobres, ya que los fertilizantes están dirigidos a la nutrición de las plantas y no del sistema globalmente. En tanto en MCM y MO dominan las comunidades copiotróficas (por ejemplo los géneros *Chrisolinea* y *Terrimonas* del Phylum *Bacteroidetes*), adaptadas a ambientes más ricos y capaces de degradar compuestos orgánicos complejos.

La diferente composición de las comunidades microbianas también ayuda a comprender los cambios observados en la estructura del suelo. La disminución de la proporción de agregados menores a 0,25 mm y el aumento de los mayores a 1-2 mm en el MO podría explicarse por una mayor presencia agentes aglutinantes como exopolisacáridos y lipopolisacáridos secretados por bacterias del grupo de las *Pseudomonas*. Esos cambios en la estructura del suelo se reflejan en un menor encostramiento lo cual facilita la emergencia de las plántulas. Pero esos cambios también favorecen la aireación y retención de agua, y reducen el riesgo de erosión.

También los cambios en el pH del suelo pueden explicarse por las diferentes comunidades microbianas. En el MC, el aporte de nitrógeno al cultivo es mediante la adición de urea, la que, para ser empleada por la planta, es transformada (oxidación del amonio a nitrito y luego a nitrato), acidificando el suelo. Ese proceso de transformación es en parte responsabilidad de los microorganismos del suelo, por ejemplo arqueas de la Familia *Nitrososphaeraceae* del Phylum *Thaumarchaeota*, las cuales aumentaron en el MC.

El rendimiento del cultivo fue significativamente mayor en los manejos restauradores del suelo frente al manejo convencional, acompañado por una mayor actividad biológica.

## ¿QUÉ HEMOS APRENDIDO Y QUÉ NOS FALTA CONOCER?

Hemos comprobado que ya a los seis años de establecidos los diferentes manejos es posible observar y cuantificar diferencias importantes en los sistemas evaluados.

Particularmente la combinación de uso de abonos verdes, laboreo reducido y enmiendas orgánicas (MO) nos permiten ir recuperando la salud del suelo y acercarnos al estado de un suelo imperturbado, lo cual se traduce en una mejor productividad de los cultivos. Sin embargo, cuando miramos los valores del suelo imperturbado, como por ejemplo carbono y respiración, vemos que aún necesitamos más tiempo de restauración del sistema.

Pero también percibimos algunas señales de alerta como el incremento en los niveles de P debido al uso de estiércol aviar o algunos desequilibrios en los micronutrientes necesarios para el buen desarrollo de los cultivos. Para ello es fundamental seguir manteniendo los ELP como “laboratorio vivo” en donde podemos analizar los diferentes procesos resultantes de los manejos impuestos.

Es esencial conocer mejor quiénes (qué microorganismos) mantienen las funciones ecosistémicas del sue-

Particularmente la combinación de uso de abonos verdes, laboreo reducido y enmiendas orgánicas nos permite transitar hacia la restauración de la salud del suelo.

lo, para así conservarlos y/o incrementarlos. A su vez debemos conocer mejor de qué forma los diferentes manejos impactan en el microbioma asociado a las raíces de las plantas, ya que estas seleccionan aquellos microorganismos del ambiente que le confieren beneficios como aporte de nutrientes y resistencia a diferentes tipos de estrés, ya sean bióticos u abióticos.

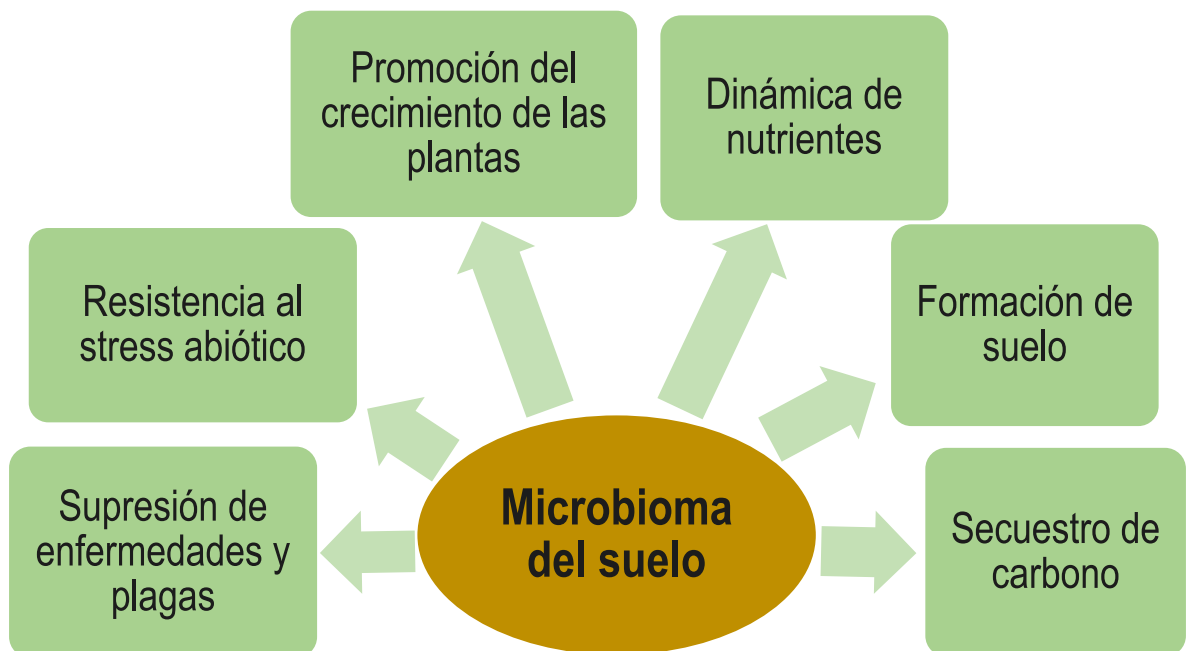
### REFERENCIAS

Larkin R P. 2015. Soil health paradigms and implications for disease management. *Annu Rev Phytopathol* 53:199–221.

Bender, F.; Wagg, C.; van der Heijden, M.G.A. 2016. An underground revolution: biodiversity and soil ecological engineering for agricultural sustainability. *Trends in Ecology & Evolution* 31(6): 440-452.

Salud del suelo: es la capacidad sostenida del suelo de funcionar como un sistema vivo que soporte la productividad biológica, mantenga la calidad ambiental y promueva la salud de las plantas, los animales y las personas (Larkin, 2015).

Microbioma: son todos los microorganismos -y sus genes- que viven en un ecosistema particular (ej: suelo, planta, curso de agua, rumen, etc.). Incluye bacterias, arqueas, protistas, hongos, virus.



En base a Bender *et al.*, 2016.

**Figura 6** - El microbioma del suelo y su relación con las funciones ecosistémicas.