

IMPACTO DEL MANEJO DEL CULTIVO DE SOJA SOBRE LA MICROBIOTA DEL SUELO Y LA INCIDENCIA DEL SÍNDROME DE MUERTE SÚBITA.

D.L. Serri^{1*}, J.M. Meriles², F. Salvaggiotti³, S. Bacigaluppo³, M.E. Lago³, A. Malmantile³, M. Scandiani⁴, A. Luque⁴, S. Vargas Gil¹.

¹Instituto de Patología Vegetal (IPAVE)-CIAP-INTA, CONICET-UFyMA (Unidad de Fitopatología y Modelización Agrícola). ²Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (IMBIV)-CONICET-UNC. ³INTA EEA Oliveros. ⁴Centro de Referencia de Micología (CEREMIC)-UNR. *Av. 11 de Septiembre 4755 (CP 5020), Córdoba. Tel: 0351 - 497 3636/4343. serri.dannae@inta.gob.ar.

Introducción

En las últimas décadas, el proceso de agriculturización se ha destacado por el incremento del área sembrada, corrimiento de la frontera agropecuaria, dominio del cultivo de soja (S) y tecnologías de insumos (plaguicidas y fertilizantes) y la no contemplación de externalidades ambientales y sociales (Viglizzo et al. 2006). Como consecuencia, los sistemas productivos actuales de la región pampeana, se caracterizan por una deficiente planificación de rotaciones con predominio de cultivos de verano, S y maíz (M), principalmente S en monocultivo (Botta et al. 2013), con largos períodos de barbecho otoño-invernal (Salado-Navarro et al. 2009). La simplificación del sistema, explicada por una alta frecuencia del cultivo de S, ocasiona un limitado aporte de residuos de baja relación carbono(C):nitrógeno (Huggins et al. 2007), originando un serio deterioro de las propiedades biológicas, químicas y físicas de los suelos de la región (Martínez et al. 2013). Uno de los aspectos más importantes es la disminución del C orgánico (CO) del suelo (Novelli et al. 2011), ya que promueve la erosión, la pérdida de agua y reduce la biodiversidad, causando esta última, preocupación sobre las consecuencias en la funcionalidad y servicios ecosistémicos de los suelos (Sala et al. 2000). Este escenario, ha generado condiciones favorables para la multiplicación y supervivencia de los patógenos, siendo en los últimos 20 años, microorganismos del suelo causantes de enfermedades de raíz y tallo en S como, *Macrophomina phaseolina*, *Rhizoctonia spp.*, diversas especies de *Fusarium* (*F. oxysporum*, *F. tucumaniae*), entre otros, una amenaza consistente y de creciente preocupación para el futuro de la siembra directa (Carmona et al. 2015). Una de las enfermedades presentes en los principales países productores de S es el síndrome de la muerte súbita (SMS) (Wrather et al. 2001), causado por al menos cuatro especies de hongos relacionados al Clado 2 de *Fusarium solani species complex* (*F. virguliforme*, *F. tucumaniae*, *F. brasiliense* y *F. crassistipitatum*). Para contrarrestar estos efectos, una estrategia de manejo promisorio es la intensificación sustentable de los sistemas agrícolas, mediante la rotación de cultivos y el uso de cultivos de cobertura invernal (CC) (Caviglia et al. 2010). Esta diversificación del estrato superficial crea condiciones que favorecen el incremento de la diversidad de las comunidades microbianas de suelo, que determinan la capacidad de recuperación del sistema edáfico, aportando efectos benéficos a las plantas, al suelo y al ecosistema (Vargas Gil et al. 2009). El presente trabajo tuvo por objetivo identificar aquella/s secuencia/s agrícola/s que contribuya/n a incrementar la diversidad microbiana del suelo, en sintonía con las variables químicas y físicas asociadas, contrarrestando la incidencia del SMS (ISMS) que afecta al cultivo de S.

Palabras claves: diversificación, hongos de suelo, sustentabilidad.

Materiales y Métodos

La investigación se llevó a cabo en la EEA INTA Oliveros, en un ensayo de larga duración bajo un diseño a un factor en bloques completos al azar con tres repeticiones. Las secuencias agrícolas resultaron de la combinación de los cultivos de S (*Glycine max* L. Merr.), M (*Zea mays* L.) y trigo (*Triticum aestivum* L.) (T), incluyendo la alternativa de T como CC, siendo estas: S-S, CC-S y M-T/S. El muestreo de suelo se realizó anualmente durante tres campañas agrícolas (2015, 2016 y 2017), conjuntamente con el período de manifestación del SMS, durante el estado fenológico reproductivo cinco (R5) para S. El SMS de la S se detectó por la presencia de síntomas típicos foliares (clorosis y necrosis) y pudrición de la raíz (Aoki et al.

2005), y fue confirmado posteriormente por aislamiento de los patógenos de las raíces (Scandiani et al. 2012). La ISMS se evaluó mediante 4 estaciones de muestreo (25 plantas cada una) en cada parcela, determinándose como el porcentaje de plantas que expresan síntomas foliares del SMS (Delp et al. 1986).

Análisis microbiológicos, químicos y físicos de suelo:

- Carbono de biomasa microbiana (CBM): se define como el C del suelo perteneciente a la microbiota y se determinó por el método de fumigación-extracción (Vance et al. 1987).
- Hidrólisis del diacetato de fluoresceína (FDA): mide la actividad enzimática global del suelo mediante la fluoresceína derivada de la hidrólisis de FDA por enzimas extracelulares y de membrana, involucradas en la descomposición de muchos tipos de tejidos (Adam et al. 2001).
- Proteínas de suelo relacionadas con Glomalina (PSRG): la glomalina es una glicoproteína producida por los hongos micorrícicos arbusculares. Por sus características aglutinantes, tiene íntima relación con la estabilidad de agregados del suelo, contribuyendo al secuestro de C. La cuantificación se realizó por la técnica de proteína fácilmente extractable (Wright et al. 1996).
- CO del suelo: se determinó por la oxidación del CO con dicromato de potasio en ácido sulfúrico concentrado durante 30 minutos (Walkley et al. 1934), titulando luego el exceso del agente oxidante (Nelson et al. 1982).
- Infiltración básica (IB): se determinó la velocidad de infiltración de agua en suelo saturado con permeámetro de disco (Perroux et al. 1988).
- Resistencia mecánica a la penetración (RMP): se determinó a una profundidad de 15 cm del suelo a través del índice de cono utilizando un penetrómetro digital (Fieldscout SC 300).

Los análisis estadísticos se llevaron a cabo empleando los modelos lineales, generales y mixtos mediante la plataforma R (R Core Team, 2009) en interfase con el programa InfoStat (Di Rienzo et al. 2015). El análisis de datos se realizó bajo un diseño a un factor fijo (secuencias de cultivo) y con los bloques como variable aleatoria. Los resultados fueron expresados como promedio de los tres muestreos, se consideró a la campaña como una repetición. La comparación entre medias de los tratamientos fue determinada mediante el uso de la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Resultados

Los parámetros microbianos generales, que representan las condiciones biológicas globales del suelo como CBM, FDA y PSRG, registraron diferencias estadísticamente significativas entre las secuencias agrícolas. En general, el contenido de CBM se vio afectado principalmente para la secuencia S-S que mostró una reducción del 11% y 23% respecto de CC-S y M-T/S (Fig. 1A). Por su parte, la actividad enzimática, medida a través de la hidrólisis de FDA, registró los valores más altos para M-T/S. Por el contrario, S-S fue la secuencia que registró los menores valores de actividad microbiana, siendo sus diferencias estadísticamente significativas respecto de los demás tratamientos. Así, en promedio para las tres campañas agrícolas, la actividad FDA para M-T/S fue un 33% superior respecto de S-S (Fig. 1B). Los resultados obtenidos para las PSRG presentaron diferencias significativas e inferiores para S-S, mientras que la secuencia M-T/S registró el mayor valor, siendo un 20% superior respecto al monocultivo (Fig. 1C).

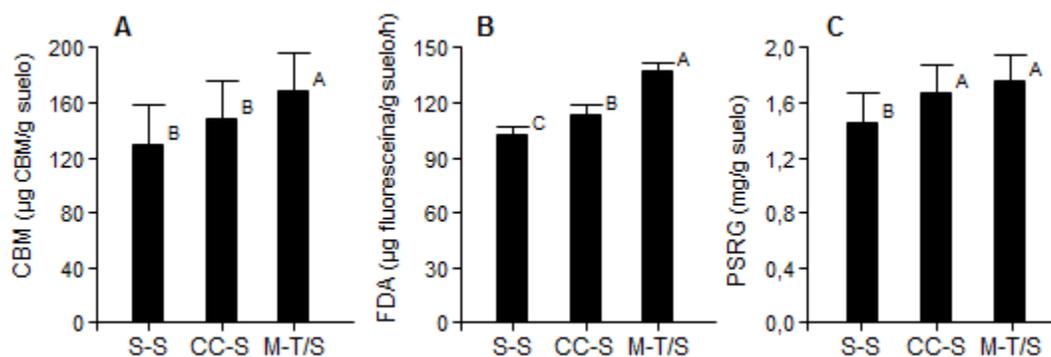


Figura 1: Parámetros microbianos generales del suelo en respuesta a secuencias agrícolas con cultivos de soja, maíz y trigo en un ensayo de larga duración.

Letras distintas indican diferencias significativas para $p \leq 0,05$. Las barras de error indican desviación estándar.

El contenido de CO registró diferencias significativas entre las secuencias de cultivos evaluadas. La secuencia con rotación de cultivos seguida de la secuencia con inclusión del CC mostraron niveles de CO superiores al monocultivo (Fig. 2A). La disminución del nivel de CO en S-S fue del 9,5% y 16,5% respecto de CC-S y M-T/S. En cuanto a los parámetros físicos edáficos, IB y RMP, se cuantificaron por única vez durante la campaña 2016, dado que no suelen presentar gran variabilidad en el tiempo. Los resultados registraron una diferencia estadísticamente significativa para IB, correspondiendo el menor valor a la secuencia S-S, sin diferencias entre los demás tratamientos (Fig. 2B). Dicha secuencia, registró una capacidad de infiltración 3 veces inferior a la secuencia M-T/S. Por su parte, RMP registró el mayor valor para S-S cuya diferencia fue significativa respecto de M-T/S (Fig. 2C). En este caso, S-S registró una resistencia 1,6 veces superior respecto de M-T/S, que fue la secuencia con menor RMP.

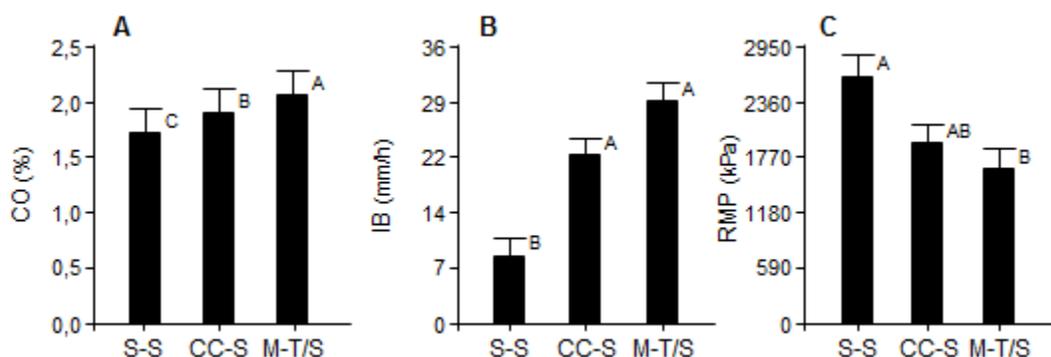


Figura 2: Carbono orgánico (CO) y parámetros físicos (IB y RMP) del suelo en respuesta a secuencias agrícolas con cultivos de soja, maíz y trigo en un ensayo de larga duración.

Letras distintas indican diferencias significativas para $p \leq 0,05$. Las barras de error indican desviación estándar.

En relación al SMS, ésta enfermedad se manifestó en las campañas 2015 y 2017, siendo posible aislar e identificar a las especies *F. virguliforme* y *F. tucumaniae* de las plantas recolectadas con síntomas de la enfermedad. La cuantificación de su incidencia se destacó para CC-S, como la secuencia con mayor porcentaje de plantas afectadas. La ISMS en CC-S fue del 44 y 13%, mientras que para S-S fue del 7 y 5%, en 2015 y 2017, respectivamente (Fig. 3). Por su parte, en la secuencia M-T/S, el cultivo de S de segunda fecha de siembra estuvo presente durante la campaña 2016, dónde no registró incidencia para la enfermedad al igual que las demás secuencias agrícolas.

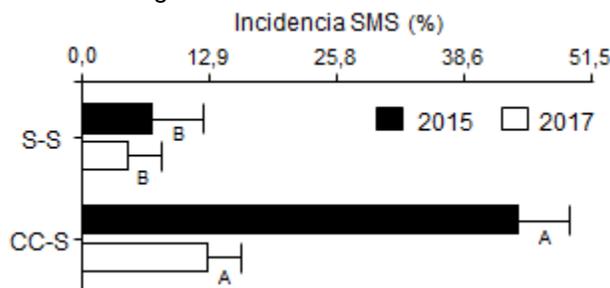


Figura 3: Incidencia del síndrome de la muerte súbita de la soja (ISMS) en respuesta a secuencias agrícolas con cultivos de soja y trigo como CC, en un ensayo de larga duración.

Letras distintas indican diferencias significativas para $p \leq 0,05$. Las barras de error indican desviación estándar.

Conclusiones

El estudio de la microbiota edáfica, conjuntamente con la fertilidad química y la condición física, demostraron una mejora de las condiciones del suelo, generada por la diversificación del sistema principalmente por la rotación de cultivos.

Si bien, no se observó un efecto mejorador de la inclusión del CC sobre la ISMS en S, es posible que el efecto benéfico de la diversificación sobre las variables microbianas contribuya al manejo de esta enfermedad en el largo plazo.

Agradecimientos

Los autores agradecen el financiamiento a INTA por los proyectos de investigación PNSUELO 1134043, CIAC 940140, PNCyO 1127034 y PNPV 1135023; CONICET PIP N° 11220150100061CO; Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba (SECyT-UNC).

Bibliografía

- ADAM G, DUNCAN H. 2001. Development of a sensitive and rapid method for measurement of total microbial activity using fluorescein diacetate (FDA) in a range of soils. *Soil Biology Biochemistry* 33: 943-951.
- AOKI T, O'DONNELL K, SCANDIANI M.M. 2005. Sudden death syndrome of soybean in South America is caused by four species of *Fusarium*: *Fusarium brasiliense* sp. nov., *F. cuneirostrum* sp. nov., *F. tucumaniae*, and *F. virguliforme*. *Mycoscience* 46(3): 162-183.
- BOTTA, G.F., TOLÓN-BECERRA, A., LASTRA-BRAVO, X., TOURN, M., BALBUENA, R., RIVERO, D. 2013. Continuous application of direct sowing: Traffic effect on subsoil compaction and maize (*Zea mays* L.) yields in Argentinean Pampas. *Soil Tillage Research* 134: 111-120.
- CARMONA M.A, GALLY M.E, GRIJALBA P.E, SAUTUA F.J. 2015. Evolución de las enfermedades de la soja en la Argentina: pasado, y presente. Aportes de la FAUBA al manejo integrado. *Agronomía & Ambiente. Rev. Facultad de Agronomía UBA* 35(1): 37-52.
- CAVIGLIA O.P, ANDRADE F.H. 2010. Sustainable intensification of agriculture in the Argentinean Pampas: Capture and use efficiency of environmental resources. *The American Journal of Plant Sciences and Biotechnology* 3(1): 1-8.
- DELP B.R, STOWELL L.J, MAROIS J.J. 1986. Evaluation of field sampling techniques for estimation of disease incidence. *Phytopathology*. 76(12):1299-1305.
- DI RIENZO J.A, CASANOVES F, BALZARINI M.G, GONZALEZ L, TABLADA M, ROBLEDO C.W. InfoStat versión 2015. Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- HUGGINS D.R, ALLMARAS R.R, CLAPP C.E, LAMB, J.A, RANDALL G.W. 2007. Corn-soybean sequence and tillage effects on soil carbon dynamics and storage. *Soil Science Society of America Journal* 71:145-154.
- MARTÍNEZ P.J, BARBIERI P.A, SAINZ ROZAS H.R, ECHEVERRÍA H.E. 2013. Inclusion of cover crops in cropping sequences with soybean predominance in the southeast of the humid Argentine pampa. *Open Agriculture Journal* 7(1): 3-10.
- NELSON D, SOMMERS L. 1982. In: Page et al. (eds.). *Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*. Segoe Rd., Madison, WI, USA. Pp. 539-577.
- NOVELLI L.E, CAVIGLIA O.P, MELCHIORI R.J.M. 2011. Impact of soybean cropping frequency on soil carbon storage in Mollisols and Vertisols. *Geoderma* 167-168: 254-260.
- PERROUX K, WHITE I. 1988. Designs for disc permeameters. *Soil Science Society of America Journal* 52: 1205-1215.
- R CORE TEAM. 2009. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Disponible en: <http://www.R-project.org>.
- SALA O.E, CHAPIN F.S, ARMESTO J.J, BERLOW E, BLOOMFIELD J, DIRZO R, LEEMANS R. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*. 287(5459): 1770-1774.
- SALADO-NAVARRO L.R, SINCLAIR T.R. 2009. Crop rotations in Argentina: Analysis of water balance and yield using crop models. *Agricultural Systems* 102: 11-16.
- SCANDIANI M.M, CARMONA M.A, LUQUE A.G, MATOS K.d.S, LENZI L, FORMENTO Á.N, MARTINEZ C.V, FERRI M.R, LO PICCOLO M, TARTABINI M, ALVAREZ D, SAUTUA F. 2012. Aislamiento, identificación y daños asociados al síndrome de la muerte súbita en el cultivo de soja en Argentina. *Tropical Plant Pathology* 37: 358-362.
- VANCE E.D, BROOKES P.C, JENKINSON D.S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology Biochemistry* 19: 703-707.
- VARGAS GIL S, BECKER A, ODDINO C, ZUZA M, MARINELLI A, MARCH G. 2009. Field trial assessment of biological, chemical, and physical responses of soil to tillage intensity, fertilization, and grazing. *Environmental Management* 44(2): 378-386.
- VIGLIZZO E, FRANK F, BERNARDOS J, BUSCHIAZZO D, CABO S. 2006. A rapid method for assessing the environmental performance of commercial farms in the Pampas of Argentina. *Environmental Monitoring and Assessment* 117: 109-134.
- WALKLEY A, BLACK I.A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-37.
- WRATHER J.A, ANDERSON T.R, ARSYAD D.M, GAI J, PLOPER L.D, PORTA PUGLIA A, RAM H, YORINORI J.T. 2001. Soybean disease loss estimates for the top ten soybean production countries in 1998. *Plant Pathology* 23:115-121.
- WRIGHT S.F, UPADHYAYA A. 1996. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Science* 161: 575-586.