



## VARIACIÓN CRONOLÓGICA DE LA SOSTENIBILIDAD EDÁFICA EN SISTEMA SOJA-MAÍZ-TRIGO EN SIEMBRA DIRECTA. TUCUMÁN, ARGENTINA.

Guillén, Silvia C.<sup>1</sup>; Corbella, Roberto D.<sup>1</sup>; Vidal, Pedro J.<sup>1</sup>; Grancelli, Stella M.<sup>1</sup>; Canelada Lozzia, María. I.<sup>1</sup>; Juri, Susana.<sup>1</sup>; Arraiza, María P.<sup>2</sup>

1 Facultad de Agronomía y Zootecnia. Av. Kirchner 1900, (4000), S.M. de Tucumán, Argentina.

2 Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. España

[sguillen@faz.unt.edu.ar](mailto:sguillen@faz.unt.edu.ar) – [sguille13@gmail.com](mailto:sguille13@gmail.com)

### RESUMEN

La agricultura sostenible se basa en principios ecológicos, sociales y económicos junto a actividades, tecnologías y políticas que conducen a incrementar o mantener la producción que satisfaga las necesidades humanas. En Tucumán la producción de granos presenta problemáticas que disminuyen la sostenibilidad, siendo la secuencia soja-maíz-trigo en siembra directa el manejo tecnológico más difundido que busca la conservación de recursos. Considerando que la evaluación de la sostenibilidad permite analizar simultáneamente dos o más sistemas y su evolución en el tiempo, el objetivo del trabajo fue realizar un análisis comparativo de la sostenibilidad edáfica en secuencia soja-maíz-trigo bajo sistema de siembra directa en el tiempo en la región agroecológica llanura chacopampeana. Se comparó la variación entre los años 2004 y 2015 empleando los indicadores: Estabilidad Estructural, Densidad Aparente, Carbono Liviano y Orgánico Total, Nitrógeno total y Fósforo disponible. Se calcularon Índices de Sostenibilidad Parciales y Globales. El análisis de la sostenibilidad edáfica del agroecosistema estudiado presenta una tendencia a la conservación del recurso suelo en su estado degradado, sin que se haya detectado una recuperación de características fundamentales que hacen a la calidad de los suelos, luego de 11 años con sistema de siembra directa.

**Palabras clave:** Sostenibilidad edáfica, indicadores, soja-maíz-trigo

### INTRODUCCIÓN

La gestión sostenible de la tierra se resume como el uso de los recursos suelo, agua, flora y fauna para la producción de bienes requeridos por la humanidad, mientras se asegure el potencial productivo de dichos recursos a largo plazo y el mantenimiento de sus funciones ambientales. La agricultura que permite mejorar la productividad y la sostenibilidad de la producción intensiva de cultivos se basa en un enfoque ecosistémico que deberá estar sustentado en la contribución de la naturaleza al crecimiento de los cultivos, tales como la materia orgánica, la regulación de los ciclos de los nutrientes y de los flujos de agua, la gestión integrada de plagas y enfermedades, entre otras (FAO 2011). Para determinar si los agroecosistemas conducidos bajo preceptos y acciones de la agricultura sostenible se mantienen en el tiempo, se emplean indicadores que resumen información mostrando la tendencia del sistema evaluado (Masera *et al.* 1999, Gliessman *et al.* 2007). A nivel mundial y en nuestro país se realizaron trabajos de investigación que incluyen el desarrollo y empleo de Indicadores de Sostenibilidad (IS) e Indicadores de Calidad (IC) de suelo, aplicados a diferentes agroecosistemas y agroindustrias en los que se evaluaron diversos vectores ambientales (Doran 2002, Rivero *et al.* 2002, Evia & Sarandón 2002, Sarandón 2009, Guillén *et al.* 2007, 2010).

Entre estos indicadores, los relacionados con la calidad de los suelos tienen gran importancia para definir propiedades y procesos para la evaluación del funcionamiento de los mismos (Doran y Jones, 1996). El estudio de estos indicadores también puede ser usado para determinar el grado de la sostenibilidad del manejo de los suelos a través de la evaluación de las propiedades físicas, químicas y biológicas. Pero para que estas variables se constituyan en indicadores de sostenibilidad, es decir, en unidades de información que resuman las características del sistema analizado, deben pasar por un proceso de selección (Guillén 2008, Sarandón 2009). Otra forma de evaluación de la sostenibilidad, que no siempre da una certeza sobre la tendencia de la sostenibilidad, es el empleo de listas de verificación en las que se registra la aplicación de prácticas de agricultura sustentable o de Buenas Prácticas Agrícolas (Guillén 2008). En ese sentido una asociación de productores argentinos certifica Prácticas Agrícolas Sustentables por medio de auditorías externas, donde se evalúa la rotación de cultivos y el manejo integrado de plagas, entre otros aspectos (Aapresid 2018). En el análisis de la producción de soja en Argentina, Altieri (2003) expresa que el modelo ha producido una deuda ecológica inmensa que las generaciones futuras deberán pagar, lo que justificaría los esfuerzos para evaluar la tendencia de la sostenibilidad de estos agroecosistemas.



En la provincia de Tucumán, en la región agroecológica pedemonte, se realizaron trabajos para seleccionar IS en el vector suelo, determinándose que las variables asociadas a la fertilidad revelaron una gran sensibilidad a los cambios en el manejo del suelo (Guillén *et al.* 2002, González *et al.* 2003a,b). La región agroecológica llanura chacopampeana, ubicada al Este de la provincia, presentaba hasta mediados del siglo pasado una vegetación importante y biodiversa constituida por el bosque chaqueño. Actualmente es una región caracterizada por la producción de granos como soja, maíz y trigo. Esa radical transformación unida a manejos no conservacionistas condujeron a un importante deterioro del vector suelo, el que fue estudiado por numerosos investigadores (Zuccardi y Fadda 1972, Dantur *et al.* 1989, García *et al.* 1997, Jobbágy *et al.* 2008). El manejo tecnológico siembra directa (SD) fue incorporado como una alternativa hacia la solución de estos problemas; García y colaboradores (2006) determinaron que la SD constituyó un sistema de manejo conservacionista en terrenos recientemente incorporados a la agricultura. Sin embargo, esto no era así en los suelos con muchos años previos de labranza convencional y demostraron que los principales indicadores de calidad de los suelos para esta región fueron la estabilidad estructural (EE) y el contenido de fósforo disponible (P). Dos premisas fundamentales del sistema SD son la inclusión de una gramínea en la rotación y la aplicación de fertilizantes (Corbella *et al.* 2005; García *et al.* 2006). Para esta región agroecológica, Corbella y colaboradores (2008) determinaron que los contenidos de carbono orgánico total (COT) y carbono orgánico liviano (CL) pueden ser considerados excelentes indicadores químicos de calidad en SD secuencia soja/trigo. Desde el año 2004 se trabajó (Guillén *et al.* 2006) con indicadores de sostenibilidad a partir de indicadores de calidad de suelo en agroecosistema soja-trigo generando un Conjunto Mínimo de Indicadores (CMI) tomando como referencia al bosque nativo. Se encontró que la EE disminuyó un 60% y la densidad aparente (DA) aumentó entre un 16 y 30%; de las variables químicas se detectó una disminución de alrededor del 50 % en COT, N total y P disponible. Según el registro de la Bolsa de Cereales (2017), en la provincia de Tucumán, en la campaña 2016/17 se sembró 203.430 ha de soja; de esa superficie cultivada, se estima que más del 90% se produce con sistema de siembra directa (SD) con variantes de rotaciones y cultivos invernales como secuencia soja-maíz-trigo, soja-trigo, entre otros esquemas de manejo. Considerando que es prioritario conservar y/o incrementar los recursos productivos de estos agroecosistemas y su importancia dentro de la matriz económica de la provincia, y la necesidad de contar con información que nos muestre la tendencia de sustentabilidad, el objetivo del trabajo fue realizar un análisis comparativo de la sostenibilidad edáfica en secuencia soja-maíz-trigo bajo sistema de SD en un lapso de 11 años.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se realizó en la subregión chacopampeana subhúmeda seca, en la localidad de Gobernador Piedrabuena, Departamento Burruyacú (26° 44' S y 64° 41' O), al Noreste de la provincia de Tucumán, Argentina. Los suelos de esta región se han desarrollado, en su mayor parte, sobre un material madre de origen loésico (Zuccardi y Fadda 1972). El suelo más difundido es de perfil ABwC. El horizonte A es moderadamente profundo y regularmente provisto de materia orgánica, constituyendo un epipedón mólico que sobreyace sobre un endopedón cambico. Estos suelos se clasifican como Haplustoles típicos, son muy uniformes en sus propiedades, de textura franco limosa a través de todo el perfil y se caracterizan por ser propensos al planchado o encostramiento superficial.

Para la evaluación cronológica de la sostenibilidad edáfica se emplearon los datos obtenidos en el año 2004 (Guillén *et al.* 2006) y se realizó un segundo muestreo en el año 2015. Se trabajó en dos macroparcels que presentan las siguientes características:

- a- Agroecosistema con cultivo de soja. En el año 2004, el lote presentaba 9 años con cultivo ininterrumpido, de los cuales los 5 primeros, desde el desmonte, fueron trabajados con sistema convencional (LC) con arado de cinceles y rastra de disco. Luego se continuó durante cuatro años con siembra directa (SD), sobre rastrojo del cultivo anterior y en los dos últimos años posteriores se incorporó trigo como cultivo invernal. Luego del año 2004, se incorporó al sistema y hasta la actualidad, otra gramínea con el siguiente esquema: cada tres campañas de soja dos de maíz y con humedad en suelo, trigo en invierno. Fertilización con fósforo según análisis de suelo.
- b- Parcela con bosque nativo (BN) secundario, como sistema natural de referencia. Escasos árboles del género *Schinopsis quebracho-colorado* (Schecht.) Barkl. et Meyer (quebracho colorado) y *Prosopis alba* Grisebach. (algarrobo blanco); con presencia de arbustos: principalmente *Acacia caven* (Mol.) Mol. (churqui), *Acacia aroma* Gill. ex Hook. & Arn. (tusca) y *Geoffroea decorticans* (Gill. ex Hook. & Arn.) Burkart (chañar) y un estrato herbáceo con especies de los géneros *Setaria*, *Trichloris* y *Chloris*.

Las muestras de suelo se tomaron durante la primavera de los años 2004 y 2015, abarcando una superficie de 10 ha para cada una de las dos parcelas estudiadas. Las variables relativas a la fertilidad física y química del suelo, el método de muestreo y de análisis se expresan en la Tabla 1.

**Tabla 1:** variables asociadas a la fertilidad física y química del suelo, métodos de análisis y muestreo empleados para evaluar la sostenibilidad del sistema soja-maíz-trigo

Variable	Métodos de análisis y muestreo
Densidad Aparente <b>DA</b> gr/cm <sup>3</sup>	Método del cilindro, profundidades: 0-10 (a: DA superior) y 10-20 cm (b: DA inferior). Muestras no perturbadas. El empleo del indicador DA requiere del uso del valor obtenido en forma inversa, pues valores menores de DA se asocian a una mejor calidad de suelo relacionada a una mayor sostenibilidad del recurso.
Estabilidad Estructural <b>EE</b> %	Leenheer & de Boodt (1958), obteniéndose CDMP (Cambio en diámetro medio ponderado), dado que este método muestra en forma inversa a la EE, se tomó el Índice de Estabilidad Relativo. Profundidad de 0-30 cm. Muestras no perturbadas.
Carbono Liviano <b>CL</b> %	Walkley y Black (1934). Profundidad de 0-2.5 cm. Muestra compuesta con barreno helicoidal.
Carbono orgánico total <b>COT</b> %	Walkley y Black (Nelson y Sommer, 1982). Profundidades de 0-5 cm y 5-20 cm. Muestra compuesta con barreno helicoidal.
Nitrógeno Total <b>Nt</b> %	Kjeldahl (Methods of soil analysis 1982). Profundidades de 0-5 cm y 5-20 cm. Muestra compuesta con barreno helicoidal.
Fósforo disponible <b>P</b> ppm	Bray II (Bray & Kurtz 1945). Profundidades de 0-5 cm y 5-20 cm. Muestra compuesta con barreno helicoidal.

Los datos de muestreo del año 2004 fueron sometidos a tratamiento estadístico mediante el análisis de las distintas variables por comparación de medias. Se utilizó el Test de Student con un nivel de confianza de 95%. En el año 2015 se tomaron muestras compuestas para CL, COT, Nt y P y 5 muestras no perturbadas para las propiedades físicas. Se emplearon los valores de BN del año 2004 como referentes para el análisis comparativo del año 2015.

Con los resultados se generaron gráficos de coordenadas polares con Microsoft Excel® obteniendo el valor de la sostenibilidad mediante índices de sostenibilidad parcial (ISP) e índices de sostenibilidad global (ISG), los cuales se calcularon aplicando una expresión matemática (Martínez Santa-María 2006, Guillén 2008). En los gráficos de coordenadas polares se formaron dos polígonos, uno resultante de los valores del agroecosistema y el otro del bosque nativo, los ISP se calcularon mediante el cociente entre ambas áreas. El valor 1 (uno) del índice representa la máxima sostenibilidad del sistema evaluado con los indicadores seleccionados. Se calcularon los siguientes ISP: Fertilidad Física (ISPF), Fertilidad Química Superior ISPFQ<sub>sup</sub> (Profundidad de 0 a 5 cm) e Inferior ISPFQ<sub>inf</sub> (Profundidad de 5 a 20 cm) y los ISG para los años 2004 y 2015 (ISG<sub>2004</sub> e ISG<sub>2015</sub>).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

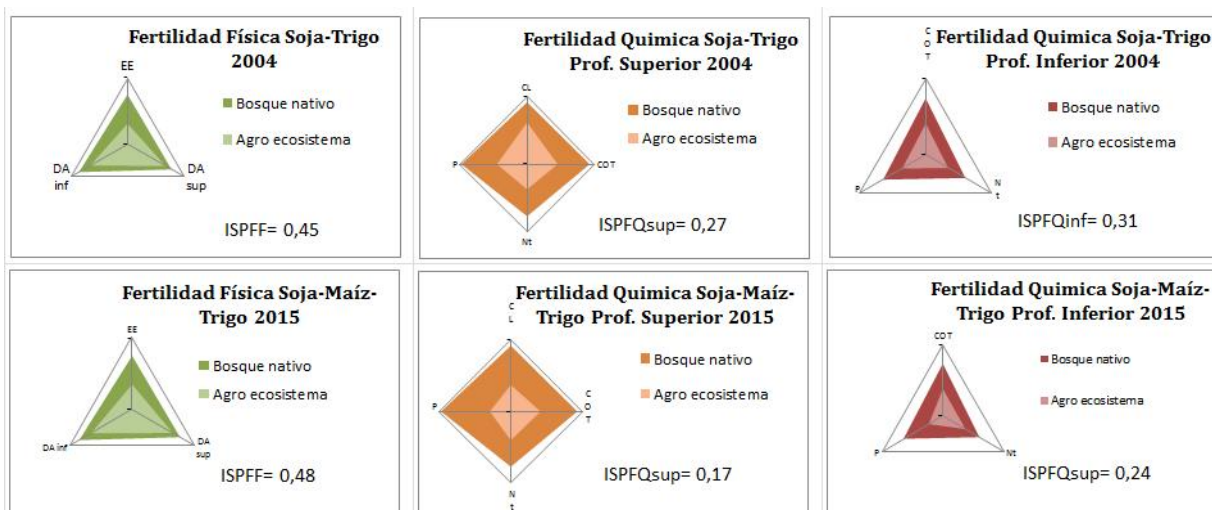
Alcanzar la sostenibilidad es un objetivo muy complejo y ambicioso, que no se reduce a la aplicación de buenas prácticas o a la inclusión de normas relacionadas con el medio ambiente. Consta de un complejo entramado de interacciones de los aspectos sociales, ambientales, económicos y en algunos casos institucionales. Los valores obtenidos correspondientes a las propiedades físicas y químicas en los sistemas estudiados se indican en la Tabla 2.

**Tabla 2:** Valores medios de las propiedades físicas y químicas para BN y sistema soja-trigo año 2004 y soja-maíz-trigo año 2015

SECTOR	Propiedades Físicas		Propiedades Químicas			
	Índice de EE Relativo (%)	DA (g.cm <sup>-3</sup> ) Prof. 0-10 cm	CL (%) Prof. 0-2.5 cm	COT (%) Prof. 0-5 cm	Nt (%) Prof. 0-5 cm	P (ppm) Prof. 0-5 cm
BN*	90	1.08	2.48	2.98	0.27	39.15
S-T 2004*	37	1.25	1.67	1.45	0.13	17.94
S-T-M 2015*	42	1.26	1.00	1.33	0.14	11.80
		Prof. 10-20 cm		Prof. 5-20 cm	Prof. 5-20 cm	Prof. 5-20 cm
BN		0.97		2.37	0.21	25.80
S-T 2004		1.26		1.31	0.12	14.16
S-T-M 2015		1.24		1.23	0.13	9.12

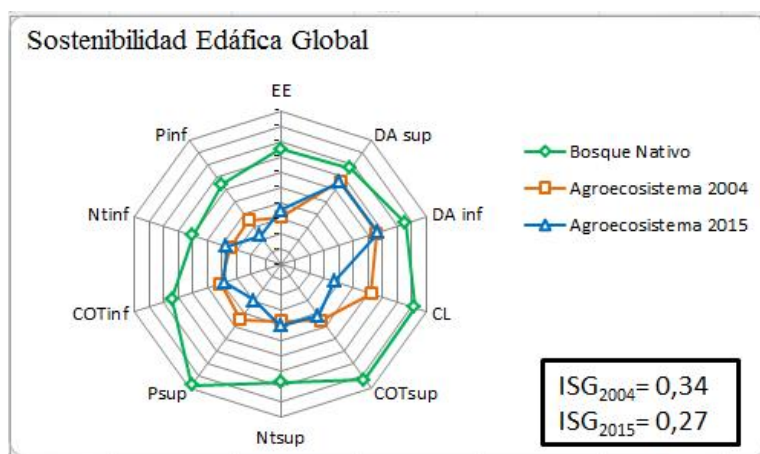
\* Diferencias significativas (p=0,05)

Con los datos obtenidos de propiedades físicas y químicas se realizaron: a) gráficos de coordenadas polares que se representan en la Figura 1, calculándose los valores de los ISP correspondientes y b) gráfico de coordenadas polares correspondiente al análisis de la sostenibilidad global campañas 2004 y 2015 (Figura 2).



**Figura 1:** Representación de los IS de fertilidad física y química de un agroecosistema soja-maíz-trigo en relación a un sistema de referencia (BN) en llanura chacopampeana y los correspondientes ISP en los años 2004 y 2015.

Del análisis de los ISP se observa que el valor de la sostenibilidad medida mediante indicadores de fertilidad física se mantuvo en valores similares mientras que la respuesta de la fertilidad química fue una disminución de los valores de sostenibilidad tanto en el nivel superior como inferior.



**Figura 2:** Representación de los IS de fertilidad física y química de un agroecosistema soja-maíz-trigo con SD en relación a un sistema de referencia BN en llanura chacopampeana y los correspondientes ISG en los años 2004 y 2015.

Coincidiendo con lo establecido por García (2008) en relación a que SD es un sistema de manejo conservacionista en terrenos recientemente incorporados, los valores obtenidos de los indicadores estudiados reflejan una marcada diferencia en el agroecosistema vs el sistema de referencia, con un alejamiento de los valores iniciales.

La selección del CMI y la representación en gráficos de coordenadas polares junto a la herramienta empleada para integrar los datos en índices, permitieron visualizar y valorar la sostenibilidad y su tendencia en concordancia con Rivero (2002), Sarandón (2009) y Masera (1999).

Tras 11 años de SD en el agroecosistema estudiado, en fertilidad física la DA disminuyó y la EE mejoró un 5% atribuible al aporte de rastrojo de las gramíneas maíz y trigo, coincidiendo con Corbella (2005).



En contraposición a los sistemas que valoran la sostenibilidad mediante auditorías externas que evalúan la aplicación de prácticas sustentables (Aapresid 2018), en el presente trabajo se revela que las mismas no son suficientes para mejorar los indicadores de calidad/sostenibilidad de suelo.

## CONCLUSIONES

La utilización del CMI seleccionado para valorar la sostenibilidad edáfica en sistema soja-maíz-trigo en siembra directa es una herramienta de sencilla aplicación que permite realizar un análisis comparativo entre campañas. Tanto en la fertilidad física como la química se detectó un alejamiento de la línea base BN que se mantuvo en el tiempo.

El agroecosistema estudiado en la llanura chacopampeana, luego de 20 años de agricultura, cinco con LC luego de desmonte y 15 con sistema de SD y variantes soja-soja, soja-trigo y soja-maíz-trigo, reveló un marcado bajo índice de sostenibilidad edáfica en relación con el sistema de referencia BN para los indicadores empleados. Considerando que el estado del suelo del BN secundario referente lo podemos asociar a una apropiada oferta ambiental en la estudiada región agroecológica y que el profesional responsable del agroecosistema es un referente zonal en cuanto a las prácticas agrícolas aplicadas, sería necesario rever el manejo holístico de estos sistemas productivos de modo de mejorar su tendencia hacia la sostenibilidad. Buscando no solo conservar los recursos naturales sino intentar recuperar valores tan preciados y fundamentales a la producción agrícola como son la disponibilidad de nutrientes y la salud física del suelo.

El análisis de la sostenibilidad edáfica del agroecosistema estudiado presenta una tendencia a la conservación del recurso suelo en su estado degradado, sin que se haya detectado una recuperación de características fundamentales que hacen a la calidad de los suelos.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a SCAIT - Secretaría de Ciencia, Arte e Innovación Tecnológica por el financiamiento. Al Ing. Agr. Gonzalo Blasco, a la alumna Srta. Macarena Rearte.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aapresid (Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa). 2018. Agricultura sustentable: un sello de calidad que sumará otras 20.000 hectáreas este año. <http://www.aapresid.org.ar/blog/agricultura-sustentable-un-sello-de-calidad-que-sumara-otras-20-000-hectareas-este-ano/>. 01.12.2018
- Altieri, MA. 2003. Una respuesta agroecológica al problema del monocultivo en Argentina. Entrevista. <http://www.agroeco.org/doc/miguel/>. 10.05.2016
- Bolsa de Cereales. 2017. Departamento de estimaciones agrícolas. En: PAS Panorama Agrícola Semanal, [www.bolsadecereales.com/descargar-documento1-0/pass](http://www.bolsadecereales.com/descargar-documento1-0/pass), 01.02.2018.
- Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59: 39 -5
- Corbella, RD. 2005. Tesis de Maestría Dinámica de la descomposición y liberación de nutrientes de rastrojo de soja y maíz, en suelos del subtrópico subhúmedo seco y semiárido del Noroeste Argentino. FAZ-UNT, Argentina.
- Corbella, RD; JR García; GA Sanzano & AM Plasencia. 2008. Interacción de los indicadores de calidad de suelo: el efecto de las diferentes fracciones de carbono orgánico sobre la fertilidad física en suelos tucumanos. XXI Congreso Argentino de Ciencia del Suelo.
- Dantur, CA; C Hernández; M Casanova; V Bustos & L Guzmán. 1989. Evolución de las propiedades de los suelos en la región de la Llanura Chaco Pampeana de Tucumán, bajo diferentes alternativas de Producción. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán* 66(1): 31-60.
- Doran, JW. 2002. Soil health and global sustainability: translating science into practice. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 88: 119-127
- Doran, JW & AJ Jones (Eds.). 1996. *Methods for Assessing Soil Quality.* Soil Science Society of America. Special Publication 49. Madison, Wisconsin, USA. 410 p.
- Evia, G & S Sarandón. 2002. Aplicación del Método Multicriterio para valorar la sustentabilidad de diferentes alternativas productivas en los humedales de la Laguna Merín, Uruguay. Cap. 22 Pp. 431-448 en S Sarandón (Ed.). *Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable.*



- FAO Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2011. Alimentación y Agricultura Sostenibles. Marcos y Enfoques. <http://www.fao.org/sustainability/frameworks-approaches/es/> 11.11.2017
- García, JR; RD Corbella & GA Sanzano. 1997. Cambios Inducidos por la Labranza en la Materia Orgánica y en la Actividad Biológica en Suelos del Este Tucumano. I Reunión Científico -Técnica de Biología del Suelo del NOA y I Encuentro sobre Fijación Biológica del Nitrógeno. C Bellone (Ed.). Primera Edición: 111-114.
- García, JR; RD Corbella; GA Sanzano; AM Plasencia & A Manlla. 2006. Dinámica del Agua e Influencia de las Propiedades del Suelo en la Producción de Granos en Tucumán. XX Congreso Argentino de Ciencia del Suelo – I Reunión de Suelo de la Región Andina. Vol 1 Pp 386.
- Gliessman, SR; FJ Rosado-May; C Guadarrama-Zugasti; JA Jedlicka Cohn; VE Méndez; R Cohen; L Trujillo; C Bacon & R Jaffe. 2007. Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. Ecosistemas 16 (1): 13-23.
- González, MC; S Guillén; J Manzur & PJ Vidal. 2003a. Indicadores de Calidad de Suelo en Cultivo de Caña de Azúcar en el Pedemonte Tucumano, Argentina. Tercera Reunión de producción Vegetal y Primera de producción Animal del NOA, Tucumán.
- González, MC; SC Guillén; RD Corbella & J García. 2003b. La Medición de Parámetros Edafológicos como una Medida de Sostenibilidad. IV Reunión Nacional Científico Técnica de Biología de Suelos – IV Encuentro de Fijación Biológica de Nitrógeno. Termas de Río Hondo, Santiago del Estero, Argentina.
- Guillén, SC; MC González; PJM Vidal; J Manzur & C Díaz. 2002. Carbono Liviano como Indicador en la Principales Actividades Agrícolas del Pedemonte Tucumano. XIX Jornadas Científicas Asociación de Biología de Tucumán. Tucumán 17 al 19 de Octubre.
- Guillén, SC; MC González; PJ Vidal; J Manzur & D Pérez Gómez. 2006. Indicadores de Sustentabilidad Edáfica en un Sistema de cultivo soja/trigo. Tucumán, Argentina. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. I Reunión de Suelos de la Región Andina. Salta-Jujuy.
- Guillén, SC; RD Corbella; MC González; JP Vidal; E Farber & J Manzur. 2007. Caracterización de Indicadores de Sostenibilidad en cultivo de Caña de Azúcar. Tucumán, Argentina. Avances en la Producción Vegetal y Animal del NOA 2005-2007. V Reunión de Producción Vegetal y III de Producción Animal del NOA. San Miguel de Tucumán: 356-361.
- Guillén, SC. 2008. Modelo de Valoración de la sostenibilidad en agrosistemas subtropicales. Tucumán, Argentina. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. España. 322 p.
- Guillén, SC; RD Corbella; MC González; S Grancelli, PJ Vidal; D Pérez Gómez. 2010. Quantification of the process of edaphic degradation in soybean-wheat cultivars in the chaco-pampeana region. Tucumán-Argentina. BIOCELL 34 (2)
- Jobbágy, EG; MD Noretto; CS Santoni & G Balde. 2008. El desafío ecohidrológico de las transiciones entre sistemas leñosos y herbáceos en la llanura Chaco-Pampeana. Ecol. austral v18 n 3
- Rivero ET; CB Iruetia & RO Michelena. 2002. Indicadores cuantitativos de calidad de suelo y salud de un cultivo de soja en siembra directa. INTA EEAA Castelar. Instituto de Suelos: 5p
- Leenheer, L & M de Boodt. 1958. Determination stability by the change in mean weight diameter. Proc. Int. Syn. Soil structure. Ghent.
- Martínez Santa-María, C & J Fernández Juste. 2006. Índices de alteración hidrológica en ecosistemas fluviales. Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas. Centro de publicaciones. Ministerio de Fomento CEDEX 178p.
- Masera, O ; M Astier & S López Ridaura.1999. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El Marco de Evaluación MESMIS. Mundi-Prensa México.
- Sarandón JS & CC Flores. 2009. Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: una propuesta metodológica. Agroecología 4: 19-28.
- Walkley, A. & IA Black. 1934. An examination of method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38.
- Zuccardi, R & G Fadda. 1972. Bosquejo agrológico de la provincia de Tucumán. Pub. Esp. N° 85, Facultad de Agronomía y Zootecnia-UNT



## C4P65. VARIACIÓN CRONOLÓGICA DE LA SOSTENIBILIDAD EDÁFICA EN SISTEMA SOJA-MAÍZ-TRIGO EN SIEMBRA DIRECTA. TUCUMÁN, ARGENTINA.

Guillén, Silvia C.<sup>1</sup>; Corbella, Roberto D.<sup>1</sup>; Vidal, Pedro J.<sup>1</sup>; Grancelli, Stella M.<sup>1</sup>; Canelada Lozzia, María I.<sup>1</sup>; Juri, Susana.<sup>1</sup> y Arraiza, María P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Agronomía y Zootecnia. Av. Kirchner 1900, (4000), S.M. de Tucumán, Argentina.

<sup>2</sup> Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. España

[sguillen@faz.unt.edu.ar](mailto:sguillen@faz.unt.edu.ar) – [sguille13@gmail.com](mailto:sguille13@gmail.com)

### RESUMEN

La agricultura sostenible se basa en principios ecológicos, sociales y económicos junto a actividades, tecnologías y políticas que conducen a incrementar o mantener la producción que satisfaga las necesidades humanas. En Tucumán la producción de granos presenta problemáticas que disminuyen la sostenibilidad, siendo la secuencia soja-maíz-trigo en siembra directa el manejo tecnológico más difundido que busca la conservación de recursos. Considerando que la evaluación de la sostenibilidad permite analizar simultáneamente dos o más sistemas y su evolución en el tiempo, el objetivo del trabajo fue realizar un análisis comparativo de la sostenibilidad edáfica en secuencia soja-maíz-trigo bajo sistema de siembra directa en el tiempo en la región agroecológica llanura chacopampeana. Se comparó la variación entre los años 2004 y 2015 empleando los indicadores: Estabilidad Estructural, Densidad Aparente, Carbono Liviano y Orgánico Total, Nitrógeno total y Fósforo disponible. Se calcularon Índices de Sostenibilidad Parciales y Globales. El análisis de la sostenibilidad edáfica del agroecosistema estudiado presenta una tendencia a la conservación del recurso suelo en su estado degradado, sin que se haya detectado una recuperación de características fundamentales que hacen a la calidad de los suelos, luego de 11 años con sistema de siembra directa.

**Palabras clave:** Sostenibilidad edáfica, indicadores, soja-maíz-trigo

### INTRODUCCIÓN

La gestión sostenible de la tierra se resume como el uso de los recursos suelo, agua, flora y fauna para la producción de bienes requeridos por la humanidad, mientras se asegure el potencial productivo de dichos recursos a largo plazo y el mantenimiento de sus funciones ambientales. La agricultura que permite mejorar la productividad y la sostenibilidad de la producción intensiva de cultivos se basa en un enfoque ecosistémico que deberá estar sustentado en la