

## EVALUACIÓN DE SISTEMAS PRODUCCIÓN AGRÍCOLAS Y SU EFECTO EN LA ACUMULACIÓN MATERIA ORGÁNICA EN LA REGIÓN ORIENTAL DEL PARAGUAY<sup>1</sup>

VILLALBA-MARTÍNEZ, CJ<sup>1</sup>

### RESUMEN

El manejo del suelo influye en la productividad de los sistemas de cultivo y su sostenibilidad. Los suelos de la región oriental de Paraguay, con clima tropical y subtropical, presentan extrema fragilidad por su textura arenosa y bajo contenido en materia orgánica (MOS), por lo que son susceptibles al cambio de uso y al manejo intensivo, lo que obliga a mantener una constante valoración de su calidad química y física. El objetivo fue evaluar la concentración de carbono orgánico de suelos subtropicales (Ultisol, Alfisol y Oxisol) de la región oriental, sometidos a diferentes sistemas de uso, para proporcionar recomendaciones que contribuyan a la producción sostenible. El trabajo se realizó en tres zonas representativas de la región oriental del país, se seleccionaron cuatro sistemas de manejo: a) agricultura intensiva (sistemas de conservación de suelo basados en siembra directa), b) pasturas para aprovechamiento ganadero, c) sistemas silvopastoriles, con eucaliptos (*Eucalyptus* spp.) como especie arbórea introducida, y d) bosques con especies nativas. En cada uno de estos sistemas se evaluaron las propiedades físicas y químicas del suelo en la capa de 0 a 40cm, conforme a un diseño experimental de bloques al azar con factores anidados. En estos sistemas agrícolas se observaron pérdidas de 20 a 40 % de la reserva del carbono orgánico del suelo (COS). Los sistemas con siembra directa que incluían avena como rotación en invierno, acumularon mayor concentración de COS; en cambio, aquellos con lupino o nabo.

**Palabras Clave:** Siembra Directa, Nitrógeno, Deforestación

### ABSTRACT

Soil management influences the productivity of cropping systems and their sustainability. The soils of the eastern region of Paraguay, with a tropical and subtropical climate, present extreme fragility due to their sandy texture and low content of organic matter (SOM), which is why they are susceptible to change of use and intensive management, which forces to maintain a constant assessment of its chemical and physical quality. The objective was to evaluate the organic carbon concentration of subtropical soils (Ultisol, Alfisol and Oxisol) of the eastern region, subjected to different use systems, to provide recommendations that contribute to sustainable production. The work was carried out in three representative areas of the eastern region of the country, four management systems were selected: a) intensive agriculture (soil conservation systems based on direct sowing), b) pastures for livestock use, c) silvopastoral systems, with eucalyptus (*Eucalyptus* spp.) as an introduced tree species, and d) forests with native species. In each of these systems, the physical and chemical properties of the soil in the 0 to 40 cm layer were evaluated, according to an experimental design of random blocks with nested factors. In these agricultural systems, losses of 20 to 40% of the soil organic carbon (SOC) reserve were observed. The systems with direct sowing that included oats as rotation in winter, accumulated a higher concentration of COS; instead, those with lupine or turnip

**Key Words:** Direct Sowing, Nitrogen, Deforestation

### INTRODUCCIÓN

La materia orgánica del suelo (MOS) proviene de la descomposición de las raíces, restos de cosechas y organismos del suelo. Su acumulación en el suelo está regulada por la entrada de residuos vegetales y por la actividad de los microorganismos y la intensidad de la descomposición depende principalmente de las condiciones climáticas (Taboada et al. 1998)

En las regiones tropicales o subtropicales la concentración de la materia orgánica del suelo tiende a ser baja, como consecuencia de las abundante precipitación y elevada temperatura, razón por la cual deben emplearse estrategias para aumentar su conservación y acumulación (IPCC, 2000). Entre las alternativas para aumentar la acumulación de MOS esta la siembra directa, la plantación de especies forestales y la integración de éstas con pasturas, estos sistemas de conservación contribuyen a mejorar la calidad del suelo, en particular, su agregación (Silva et al. 2009).

Los escasos estudios existentes en el país (Villalba et al. 2020; Riezebos and Loerts, 1998) indican que los suelos de la región oriental del Paraguay son extremadamente frágiles, debido a su textura arenosa, bajo contenido de materia orgánica del suelo y baja capacidad de intercambio catiónico por lo que se hace necesario la evaluación continua de sus propiedades y la adopción de técnicas de conservación de suelos.

Riezebos and Loerts (1998) realizaron una investigación en Paraguay y Brasil para evaluar la influencia del cambio de uso del suelo en la MOS, y encontraron una menor concentración de MOS en parcelas agrícolas establecidas en terrenos originalmente con bosques, aunque las prácticas de conservación de suelos, como la siembra directa, disminuían la degradación, en cuanto a pérdida de nutrientes y erosión.

Las propiedades de la materia orgánica en los suelos agrícolas contribuyen a mejorar su condición estructural (física de suelos), cohesión y plasticidad, que se relacionan con la capacidad de retención de humedad de los suelos arenosos, y que al mejorar hacen que disminuya la probabilidad que los cultivos experimenten estrés hídrico (Wang et al. 2019).

Las labranzas de conservación (cero, mínima y reducida), junto con la rotación de cultivos se utilizan para contrarrestar los efectos nocivos de la labranza convencional intensiva (Calegari et al. 2013; Calonego et al. 2017). Una menor capacidad productiva de los suelos se asocia con suelos de textura arenosa ubicados en regiones con alta precipitación, expuesto a la erosión, a la pérdida de la estructura, y de MOS y nutrientes. Esta situación se observa principalmente en las zonas donde la labranza convencional emplea arado de discos o vertedera que elimina la cubierta vegetal y expone los elementos nutrimentales a ser susceptibles pérdida por la erosión (Duran y Rodríguez 2008)

La siembra directa mejora la sustentabilidad económica de la agricultura, al favorecer el reciclaje de nutrientes en el suelo, protegerlo de la erosión, y disminuir su degradación física, química y biológica. Al utilizarse este

sistema conservacionista, aplicado de manera correcta, se ha visto que los rendimientos de los cultivos incrementan, manteniendo la productividad del suelo (Santos et al. 2018).

Estudios realizados en zonas brasileñas con suelos y ambientes similares a la región Oriental Paraguay, muestran que las pasturas implantadas en terrenos agrícolas aumentan el contenido de MOS, disminuyen la acidez del suelo y aumentan la disponibilidad de nutrientes. Esto también ocurre en la rotación soja o maíz con pastura, un sistema que favorece el desarrollo del cultivo y al mismo tiempo contribuye a proteger los suelos (Martins et al. 2020).

Carciochi et al. (2019), evaluaron el efecto de los cultivos de cobertura en invierno sobre la disponibilidad de S para el cultivo de soja, y observaron que la vicia incrementaba la disponibilidad de S en comparación con la avena, pero que este aumento de la concentración de S, posteriormente, no se

reflejaba en incremento de este elemento, en el cultivo de soja.

La información que se presentada muestran que, en los climas tropicales y subtropicales, con suelos muy susceptibles a la degradación, las sustentabilidades de los sistemas agrícolas están estrechamente ligadas al sistema de manejo del suelo y cultivos.

Los importantes cambios de uso de suelo, implementados en Paraguay en los últimos 30 años, en los que se han transformado miles de ha a cultivos intensivos, podrían estar promoviendo la degradación de los suelos, y explicar la disminución en los rendimientos de los cultivos y esta se encuentra muy ligada a la materia orgánica del suelo, por la actividad biológica y en la disponibilidad de algunos nutrientes como el nitrógeno, fósforo y azufre.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en tres zonas experimentales de la región oriental de Paraguay, con similar clima, en la que se encuentran tres diferentes órdenes de suelos (Soil Taxonomy, 2018): (a) Ultisol, en el distrito de Curuguaty, (b) Alfisol, en Coronel Oviedo, y (c) Oxisol, en Juan Manuel Frutos. En la Figura 1 se muestran un esquema de la ubicación de las zonas experimentales.

Las parcelas experimentales se localizaron en zonas homogéneas, representativas de cada región seleccionada.

### a- Ultisol

El bosque está formado por diferentes especies arbóreas (*Peltophorum dubium*, *Handroanthus impetiginosus*, *Cedrela fissilis* Vell., entre otras).

En esta localidad el cultivo principal soja (*Glycine max* (L.) Merr.) y maíz (*Zea mays* (L.)), que se maneja en rotación con diferentes tipos de abonos verdes. La soja se establece en los meses de primavera-verano (setiembre-marzo) y sus residuos se dejan como cobertura con posterioridad a la cosecha. Este cultivo se rota, en otoño-invierno (abril-agosto) con nabo forrajero (*Brassica napus*), lupino (*Lupinus* sp.), avena (*Avena sativa*), que son íntegramente incorporados al suelo antes de establecer el próximo ciclo de soja.

El sistema silvopastoril, se implantó hace 14 años en terrenos previamente cultivados agrícolaemente. La especie forestal en este sistema es *Eucalyptus camadulensis* y el pasto *Brachiria brizantha*, como pasto para ganado vacuno.

### b- Alfisol

En esta zona el bosque (*Vernonia Schreb*, *Lamania Vell.*) presenta una baja intervención antrópica.

Los suelos cultivados en este sitio tienen un historial de 10 años. El cultivo principal es el maíz, que se siembra en los meses de primavera-verano (setiembre-marzo) y se rota con mucuna (*Mucuna pruriens*), para reducir la presencia de malezas. La mucuna se incorpora en su totalidad al suelo como abono verde antes de la siembra del maíz. El maíz es utilizado para la nutrición animal en forma de ensilaje, con un rendimiento de biomasa aérea fresca de aproximadamente 25000 kg ha<sup>-1</sup>

### c- Oxisol

El bosque en este sitio experimental está compuesto principalmente por *Araucariaceae* henkel, y *Araliaceae* juss, que presenta una baja intervención antrópica.

## 1.1. Características de los Sitios de estudio

En este sitio los suelos han sido cultivados por 10 años. El cultivo principal en los meses de primavera verano (setiembre-marzo) es la soja que se rota (marzo-julio) con avena y crotalaria (*Crotalaria juncea* L.). El rendimiento de la soja es de 2000 a 3500 kg ha<sup>-1</sup>. La fertilización consiste en 8, 60 y 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, respectivamente.

El sistema silvopastoril fue instalado en el 2012 con eucalipto como cultivo principal, en asociación con *B. brizantha* como pastura. En este caso no hay ingreso de animales.

## 1.2. Recolección y preparación de las muestras de suelos para análisis químicos y densidad aparente

Los muestreos de suelo se efectuaron durante los meses de marzo, abril y mayo del año 2020. Las fincas seleccionadas fueron representativas del sistema de manejo de suelos de la zona de estudio. La superficie mínima fue de 10 ha, y dentro de ella se seleccionó una zona central relativamente homogénea de 1 ha, en la que se escogieron al azar tres unidades de muestreos. En cada una de las unidades de muestreo se excavaron tres calicatas, para extraer muestras de suelo de las profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 y 20-40 cm. En cada unidad de muestreo se recolectó una muestra de cada profundidad para conformar una muestra compuesta con las submuestras recogidas en cada una de las tres calicatas.

Las muestras fueron almacenadas en bolsas de plástico, etiquetadas y remitidas al laboratorio para su análisis, donde se secaron al aire, tamizaron a 2 mm y homogeneizaron antes de practicarles los análisis químicos correspondientes.

## 1.3. Análisis de Carbono orgánico de suelo

El pH se determinó en CaCl<sub>2</sub> 0.01M, relación suelo: solución 1:2. La MOS oxidable, se midió por el método de combustión húmeda (Walkley y Black) descrito por Jackson (1976).

## 1.4. Tratamiento de datos

Para comparar de manera preliminar las diferentes prácticas, estas se analizaron con base en un diseño de bloques, con factores anidados por cada sitio experimental. Se determinaron los promedios por tratamientos, desviaciones estándar y coeficiente de

variación por tratamiento, en cada orden de suelo y posteriormente los datos de sometieron a un análisis de varianza ANOVA. Las medias de los tratamientos se compararon mediante la prueba de Tukey, y para los grados de dependencia y asociación se realizaron regresiones y correlaciones. Así mismo, se practicaron regresiones lineales y correlaciones, utilizando el programa Statistical Analysis System, versión 9.2 (SAS Institute INC., 2007).

**RESULTADOS**

En la Tabla 2 y 3 se presentan los resultados de las propiedades químicas y físicas de la capa superficial del suelo (0 a 5 cm) en los sitios experimentales sitios en tres regiones del este de Paraguay, con los mismos tres órdenes de suelos en cada una de ellas y similares sistemas agrícolas.

**4.1. Concentraciones y reservas de COS**

El uso forestal del suelo presenta la mayor concentración de COS (tabla 1) en los tres tipos de suelos

**Tabla 1.** Concentración de Carbono Orgánico, capa 0-5 cm. Sistemas de manejo

Ultisol	FoP	1.47a
	SpB <sup>1</sup>	1.05b
	SbT	0.68d
	SbO <sup>1</sup>	0.89c
	SbL	1.08b
	SbC <sup>1</sup>	1.16b
Alfisol	FoA	1a
	SpB <sup>2</sup>	0.5b
	Pb	0.4d
	Cb	0.4d
	Cm	0.53b
Oxisol	FoH	1.30a
	SpB <sup>3</sup>	1b
	SbC <sup>2</sup>	0.87c
	SbCo	0.77c
	SbO <sup>2</sup>	0.81c

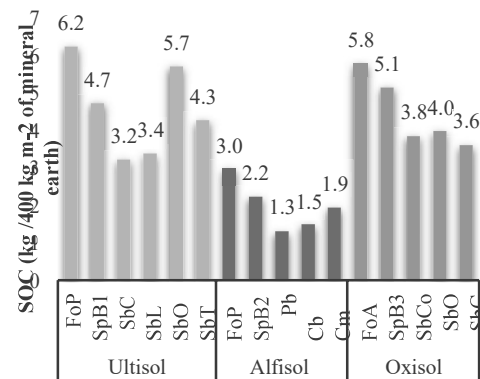
La Figura 2a muestra las reservas de COS en los diferentes usos y sistemas agrícolas. Para que estos valores no estuviesen influenciados por las diferentes

densidades aparentes, en lugar de trabajar con profundidades fijas, los valores se expresan en unidad de tierra fina (Rovira et al., 2015). Esta manera de expresar los resultados permite calcular diferencias en la acumulación de los nutrientes entre los sistemas. Los suelos agrícolas, con manejo más intensivos (SbT, SbL, Cm, SbC1) han perdido el 30 % de las reservas de COS con respecto a la que exhiben los bosques seminaturales. Merece la pena destacar que si la rotación incluye avena (ejemplo, SbO en Ultisol y Oxisol), las pérdidas fueron entre 10-20 % menores.

(Ultisol, Alfisol y Oxisol) estudiados. Esta se ubicó en el rango 1.2 a 2 % profundidad en la capa superficial de los suelos (0 a 5 cm). Sin embargo, la concentración de COS determinada en los perfiles excavados en los sitios experimentales se redujo gradualmente al incrementarse la profundidad. El uso silvopastoril como sistema de manejo del suelo, presentó entre 0.5 y 1.5 % COS, ubicándose en el segundo.

En contraste con esos dos sistemas anteriores, se encontró que los suelos dedicados a la producción de cultivos agrícolas tuvieron concentraciones de COS claramente inferiores y las diferencias entre ellos fueron significativas. Por ejemplo, no hubo diferencias entre la rotación soja + maíz (SbC1) y los manejos con tres diferentes abonos verdes: lupino, avena o nabo en el Ultisol, mucuna en el Alfisol y crotalaria o avena en el Oxisol. En todos los casos el sistema de laboreo era siembra directa, por lo que no había mezcla de la capa superficial del suelo con las capas inferiores.

Las menores pérdidas de COS (< 10 %) ocurrieron en los sistemas silvopastoriles (SpB), en los tres tipos de suelo. La relación C/N fue menor en los suelos del bosque que en los suelos bajo cultivo.



**Figura 1.** Reservas de carbono orgánico del suelo (COS) en base a tierra fina (kg /400 kg m-2 of fine mineral earth)

Ultisol: FoP: Forest (*P. dubiun*), SpB: Sylvopastoril, SbC: Soybean + Corn, SbL: Soybean + Lupinus, SbO: Soybean + Oat, SbT: Soybean + Turnip. Alfisol: FoA: Forest (*Anadenanthera colubrina*), SpB<sup>2</sup>: Sylvopastoril, Pb: Pasture, Cm: Corn+mucuna, Cb: Corn + Fallow. Oxisol: FoA: Forest (*Handroanthus impetiginosus*), SpB: Sylvopastoril, SbC: Soybean + Crotalaria, SbO: Soybean + Oat,

SbC: Soybean + Corn

Los suelos de la región oriental de Paraguay mostraron contener bajas concentraciones de COS y NT, característica de los suelos de clima subtropical (Riezebos y Loerts 1998; Karp et al., 2015), ya que la alta temperatura y humedad favorecen la mineralización de MOS (Balesdent y col., 2000). Otro factor que influye en los bajos contenidos de COS de los suelos estudiados es la textura arenosa, debido a

la alta aireación y a la falta de la protección fisico-química ejercida por arcilla y limo fino (Riezebos y Loerts 1998; Resende et al., 2014).

Durán-Zuazo y Rodríguez-Pleguezuelo (2008) mencionaron que los suelos de textura arenosa ubicados en regiones con alta precipitación se encuentran expuestos a la pérdida de la MOS, nutrientes y estructura por dicha condiciones y elevada temperatura, así como por la erosión. Estas pérdidas son más pronunciadas en zonas donde se emplea la labranza convencional con arado de discos o vertedera, porque tal práctica elimina la cubierta vegetal y expone los elementos nutrimentales a su pérdida por la erosión (Corbeels et al., 2016).

Diferentes investigaciones en suelos similares a los estudiados confirman que parte de la pérdida de MOS se debe a la labranza convencional, ya que ésta favorece la aireación y la actividad biológica, incrementando la descomposición de la materia orgánica (Bayer et al., 2006; Zotarelli et al., 2007; Maia et al., 2007). En nuestro caso, la menor concentración de MOS con respecto a la observada en los bosques no puede ser debida a este efecto, porque los sistemas de manejo no incluyen laboreo, por consiguiente, la pérdida de MOS se atribuiría al bajo aporte de residuos orgánicos y también posiblemente al cambio en las condiciones climáticas del suelo posterior a la deforestación, que favorecen la descomposición de la MOS (más humedad y temperatura, con respecto a los bosques).

## CONCLUSIONES

La deforestación para uso agrícola conlleva la pérdida neta de MOS y de nutrientes. Esto indica que el manejo que se realiza, que en algunos casos es de conservación (rotaciones, abonos verdes, fertilización), no logra mantener los niveles de fertilidad adecuados.

Los sistemas silvopastorales basados en el cultivo de eucalipto mejoran las concentraciones de MOS, pero generan una cierta acidez, posiblemente por la fuerte extracción de Ca.

## BIBLIOGRAFÍA

- Borralho, N., Gaspar, A., Neto, CP, 2018. Qué hay más allá de la fibra de madera para plantaciones industriales de eucalipto. Actas de la Conferencia de Eucalipto 2018, Montpellier, Francia, p. 5.
- Calegari, A., Tiecher, T., Hargrove, W.L., Ralisch, R., Tessier, D., de Tourdonnet, S., Guimarães, M.D.F., dos Santos, D.R., 2013. Long-term effect of different soil management systems and winter crops on soil acidity and vertical distribution of nutrients in a Brazilian Oxisol. *Soil Tillage Res.* 133, 32–39.
- Calonego, J.C., Raphael, J.P.A., Rigon, J.P.G., de Oliveira Neto, L., Rosolem, C.A., 2017. Soil compaction management and soybean yields with cover crops under no-till and occasional chiseling. *Eur. J. Agron.* 85, 31–37.
- Conceição, J. Dieckow, C. Bayer. (2013). Combined role of no-tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization *Soil Tillage Res.*, 129 (2013), pp. 40-47.
- Carpim, LK; RL de Assis; AJ Braz; GP Silva; FR Pires; VC Pereira; GV Gomes & AG da Silva. 2008. Liberação de nutrientes pela palhada de milho em diferentes estádios fenológicos. *Rev Bras Cien do Solo.* 32: 2813-2819.
- Duran Zuazo, C.R. Rodriguez Pleguezuelo Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. *A review Agron. Sustainable Dev.*, 28 (1) (2008), pp. 65-86.
- Gmach, M, R., Dias, B., Silva, C., Nóbrega, J., Lustosa, J., Siquiera, M., (2017). Soil organic matter dynamics and land-use change on Oxisols in the Cerrado, Brazil. *Geoderma Regional* 14 (2018) e00178.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 2000. *Land Use, Land Use Change and Forestry. Special Report.* Cambridge Univ. Press, Cambridge, U.K.
- Silva, R. Galon, L. Galon, F.A. Ferreira, S.P. Tirloni, E.A. Ferreira, A.F. Silva, E.L. Agnes. Sistema de plantio direto na palhada e seu impacto na agricultura brasileira *Revista Ceres*, 56 (2009), pp. 496-506.
- Martins, A.P., Anghinoni, I., Costa, S.E.V.G.D.A., Carlos, F.S., Nichel, G.D.H., Silva, R.A.P., Carvalho, P.C.D.F., 2014. Amelioration of soil acidity and soybean yield after surface lime reapplication to a long-term no-till integrated crop-livestock system under varying grazing intensities. *Soil Tillage Res.* 144, 141–149.
- Mendonça, VZ de; LM de Mello, LM de; M Andreotti; CM Pariz; ÉH Yano & FC Pereira. 2015. Liberação de nutrientes da palhada de forrageiras consorciadas com milho e sucessão com soja. *Rev Bras Cien do Solo.* 39: 183-193.
- Pacheco, LP; JM Barbosa; WM Leandro; PL de Machado; RL Assis; T Cobucci; BE Madari & FA Petter.

- 2011b. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. *Pesqui Agropecu Bras.* 46: 17-25.
- Riezebos, AC and Loerts. Influencia del cambio de uso de la tierra y la práctica de la labranza en la materia orgánica del suelo en el sur de Brasil y el este de Paraguay. *Labranza del* Carvalho, P.C.F., 2008. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura pecuária submetido a intensidades de pastejo em plantio direto. *Rev. Bras. Cienc. Solo.* 32, 1273-1282.
- Taboada, FG Micucci, DJ Cosentino, RS Lavado Comparación de compactación inducida por labranza convencional y cero en dos suelos de la Pampa ondulada de Argentina *Labranza del suelo* Res., 49 (1998), págs. 57-63.
- Villalba, C., Merino, A., Etchevers, J. Diagnóstico de la fertilidad química suelo Res.49 (1998), págs.271-275.
- Santos, V. D., A. S. F. Araújo, L. F. C. Leite, L. A. P. L. Nunes, and W. J. Melo. 2012. Soil microbial biomass and organic matter fractions during transition from conventional to organic farming systems. *Geoderma* 170: 227-231.
- Souza, E.D., Anghinoni, I., Meurer, E.J., de suelos (Rhodic Paleudult) en sistemas agrarios y forestal de la región Oriental de Paraguay. *Investig. Agrar.* 2020; 22(2):92-99.
- Wiesmeier, M. von Lützow, P. Spörlein, U. Geuß, E. Hangen, A. Reischl, B. Schilling, I. Kögel-Knabner. (2015). Land use effects on organic carbon storage in soils of Bavaria: the importance of soil types *Soil Tillage Res.*, 146 (2015), pp. 296-302.
- Wang, H., Guan, D., Zhang, R., Chen, Y., Hu, Y., Xiao, L., 2014. Soil aggregates and organic carbon affected by the land use change from rice paddy to vegetable field. *Ecol. Eng.* 70:206-211.