

# Costos Ambientales por la degradación de los Suelos en la Gestión Agropecuaria

## Environmental Costs due to Soil degradation in Agricultural Management

Presentación: 13 y 14 de septiembre de 2023

### **Javier Vignolo**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco, Córdoba, Argentina  
javignolo@sanfrancisco.utn.edu.ar

### **Mónica Serra**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco, Córdoba, Argentina  
monicaserra@hotmail.com

### **Micaela Zapata**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco, Córdoba, Argentina  
micazapata96@gmail.com

### **Daniel Ricci**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco, Córdoba, Argentina  
dricci@sanfrancisco.utn.edu.ar

### **Stefanía Capello**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco, Córdoba, Argentina  
steficapello@gmail.com

### **Matías Bracaioli**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco, Córdoba, Argentina  
MatiasBracaioli@hotmail.com

### **Maricel Rovasio**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco, Córdoba, Argentina  
maricelrovasio@yahoo.com

### **Resumen**

El objetivo de este trabajo es analizar el concepto de Costo Ambiental (CA) y su incorporación al modelo de Márgenes Brutos, considerando la pérdida de carbono orgánico del recurso suelo (COS) como criterio de valoración. El Costo Ambiental representa en valores monetarios el impacto del uso de los suelos y su estimación permite evaluar la sostenibilidad económica y ecológica de los distintos sistemas productivos.

**Palabras clave:** Suelos – Costos – Ambientales

### **Abstract**

The objective of this work is to analyze the concept of Environmental Cost and its incorporation into the Gross Margins model, considering the loss of organic carbon from the soil resource as an assessment criterion. The Environmental Cost represents the impact of land use in monetary values and its estimation allows evaluating the economic and ecological sustainability of the different production systems.

**Keywords:** Soils – Costs – Environmental

## Introducción

El uso excesivo o mal uso de los suelos puede llevar a la degradación fisicoquímica, con pérdida de nutrientes esenciales y materia orgánica, fundamentales para el crecimiento de los cultivos, derivando en una disminución de la productividad, lo que genera mayores costos para mantener los rendimientos agropecuarios. Para conocer la influencia de la pérdida de fertilidad sobre la producción, será importante determinar en cada región y en cada tipo de suelo una línea base de nutrientes y contenidos de Carbono Orgánico de Suelo (COS) actuales; numerosos trabajos científicos internacionales manifiestan la importancia de determinarla en las distintas regiones del mundo, en algunos países como en Italia, ya en el año 2014, (Fumanti et al., 2014) manifiestan que “La evaluación de la cantidad de COS contenida actualmente en el suelo representa la base para la implementación de políticas de gestión sostenible del suelo y para el cálculo de su influencia en la mitigación del cambio climático”

La degradación de tierras productivas, por erosión, anegamientos, salinización, compactación u otros procesos, puede tener un fuerte impacto negativo, no sólo en los productores agropecuarios, que dependen directamente de la salud de los suelos como fuente de ingresos vinculada a la rentabilidad de sus empresas, sino que también puede afectar el valor inmobiliario, como capital económico, influyendo sobre los valores de arrendamientos y de compraventa de las propiedades.

La gestión de suelos degradados a menudo requiere de un aumento en el uso de insumos agrícolas para mantener los niveles de producción, representando un costo adicional y reduciendo los márgenes económicos. En muchos casos, la restauración y rehabilitación de suelos degradados puede requerir inversiones significativas que implican la implementación de prácticas de conservación, como técnicas de manejo especiales, cultivos de cobertura, enmiendas, fertilizaciones, labores profundas, canales de desagües, construcción de terrazas, entre otras; estos costos de restauración pueden ser sustanciales y representar una carga financiera muy importante no solo para los productores de manera directa, sino también para toda la cadena de valor, incluyendo los vinculados indirectamente, entre ellos al Estado por menor recaudación impositiva, aumento de egresos en obras de drenaje, riego, caminos o remediación de catástrofes ambientales.

Con la expansión de la agricultura, se ha incrementado también la preocupación por los impactos ambientales de la producción de cultivos. La agricultura genera cambios en los recursos naturales y puede alterar la provisión de los servicios (Cabrini et al., 2013). Los suelos de la Unión Europea tienen que afrontar innumerables desafíos, entre los que se encuentra la disminución de la sustancia orgánica y la pérdida de biodiversidad (Europea, 2022),

En Argentina, el sistema más utilizado para analizar los márgenes agropecuarios es el Modelo de Margen Bruto / Margen Neto, utilizado por las principales entidades que publican informes económicos para el sector, como son la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (CREA), Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (AAPRESID) y Universidades; este modelo simplificado permite realizar presupuestos de manera relativamente sencilla para planificar futuras erogaciones.

En la gestión de empresas agropecuarias, los Márgenes, representan la diferencia que existe entre los ingresos generados por una actividad Ingreso Bruto (IB), que al deducirse los Gastos de Comercialización (GC) se obtiene el Ingreso Neto (IN), si a este se le descuentan los gastos generados para producir dicho ingreso (Gastos Directos), se obtiene el Margen Bruto (MB), al que se le deben descontar los gastos de estructura (GE), (impuestos, arrendamientos, etc.) para obtener finalmente el Margen Neto (MN). Este modelo utilizado para la planificación agropecuaria, además de tener falencias por no considerar la variabilidad de los costos y otros aspectos financieros, tiene omisiones vinculadas a los “costos invisibles”, generados por los aportes ecosistémicos que son ignorados y es el objeto de nuestro trabajo.

En la contabilidad clásica, cuando se registra la tierra, considerándose un activo no sujeto a depreciación y se valúa a su costo original. Esto implica que no se contabiliza ninguna pérdida para reflejar la disminución de su valor a lo largo del tiempo, considerando a la tierra, como un activo que dura infinitos actos productivos. Estas aseveraciones contables fueron cuestionadas en trabajos previos realizados por el Grupo Lares-Loess, como “Análisis de la relación del índice de productividad del suelo y los valores inmobiliarios de la tierra en la zona de San Francisco, Córdoba” (Rovasio et al., 2019) y en “Estudio de la evolución de propiedades fisicoquímicas de suelos con diferentes índices productivos y su relación con el valor de la tierra” (J. Vignolo et al., 2022).

En el pasado no fueron muchas las investigaciones que se ocuparon de este tema, pero en la actualidad algunos trabajos comienzan a reflejar la problemática, revalorizando los servicios ecosistémicos de los suelos del mundo y su importancia fundamental para secuestrar carbono, principal elemento cuestionado como responsable del calentamiento global en sus fases gaseosas, como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>). Por lo tanto, la

pérdida de carbono orgánico del suelo puede tener un valor económico significativo debido a sus impactos en la agricultura, el cambio climático y la sostenibilidad de los ecosistemas; sin embargo, el cálculo preciso de este valor aún es objeto de investigación y puede variar en diferentes contextos.

En este trabajo se indaga y estudia sobre el concepto de Costo Ambiental (CA) para incluirlo en el modelo de Márgenes Brutos / Margen Neto, partiendo de la medición de la pérdida del Carbono Orgánico de los Suelos (COS), medida en toneladas / hectárea / año.

## Desarrollo

Para esta investigación se utilizan diez campos georreferenciados, ubicados al azar entre las provincias de Córdoba y Santa Fe, en un radio de cincuenta kilómetros con centro en la ciudad de San Francisco (Tabla 1), divididos por sus valores de Índices de Productividad (IP) (Rovasio, 2019). En esta oportunidad utilizaremos los datos de Carbono Orgánico obtenidos en el laboratorio, en base a estos buscaremos un valor promedio zonal, representativo, que valore la pérdida de Carbono Orgánico de los suelos (COS) en unidades de Toneladas (Tn) por Hectárea (Ha) por año. por otro lado, buscaremos un valor monetario representativo de esta unidad para conformar uno de los cuatro ítems que conforman el Costo Ambiental.

$$\text{Costo Ambiental (CA)} = \text{BN} + \text{BC} + \text{ER} + \text{CO}$$

BN (Balance de Nutrientes) + BC (Balance de Carbono) + ER (Erosión) + CO (Contaminación)

### A – Diferencia de Carbono Orgánico del Suelo – COS

Tabla 1. Datos de COS de Carta de Suelos y resultados de laboratorio, con los cálculos de balance de carbono orgánico

Campo	IP	Grupo de Aptitud	Carbono Orgánico del Suelo (COS)				
			Carta de Suelos (g de CO/100 g de suelo)	Actual (g de CO/100 g de suelo)	Diferencia de CO en 45 años		
					g de CO/100 g de suelo	toneladas de CO/ha	Disminución en toneladas/ha/año
8	66	2c	1,94	1,84	0,093	2,23	0,05
4	61	2wp(s)	1,67	1,32	0,358	8,59	0,19
5	60	3wp	1,65	1,4	0,253	6,08	0,14
9	52	3/4ws	1,58	1,32	0,259	6,21	0,14
1	47	3/4 ws	1,91	1,23	0,683	16,39	0,36
10	40	6ws	2,01	0,66	1,345	32,27	0,72
3	33	4/5ws	1,6	1,14	0,468	11,23	0,25
6	30	5ws	1,19	0,93	0,258	6,19	0,14
2	24	5/6 ws	0,85	1,17	-0,317	-7,61	-0,17
7	18	6ws	2,63	0,7	1,932	46,36	1,03

En la figura 1 se muestra la evolución del COS en los últimos 45 años en campos productivos.

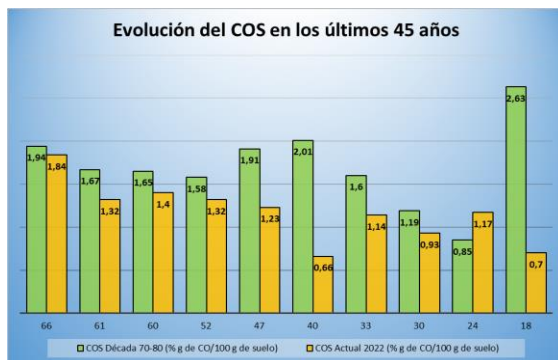


Fig. 1 Evolución del COS en los últimos 45 años en los 10 puntos analizados.

Para este trabajo utilizamos los valores de Carbono orgánico actual (2022) de los análisis del laboratorio LOESS de UTN San Francisco y los tomados de la Carta de Suelo (CS), de la misma serie, (Tabla 2).

Los valores promedios de los 10 (diez) puntos GPS, fueron traducidos en toneladas, obteniendo el volumen de suelo de una hectárea por 20 cm de profundidad multiplicado por la Densidad Aparente (Dap), tomándose para los suelos de la región 1,20 Tn./m<sup>3</sup>, lo que nos da un peso de 2.400 Tn./Ha, generando los siguientes resultados (Tabla 3):

Tabla 2. COS en %

Carbono Orgánico del Suelo (COS) %		
Actual	C.S.	Diferencia
2022	Década 70-80	%
1,17	1,7	0,53

Tabla 3. COS en Tn COS/Ha y Tn COS/Ha/año

Carbono Orgánico del Suelo (COS) Tn./Ha.			
Actual	C.S.	Diferencia	Pérdida de
2022	Década 70-80	Tn (45 años)	COS año
28,17	40,91	12,74	0,28

Según el trabajo (J. A. Vignolo, 2022), realizado en tres ambientes de suelo de nuestra zona, se perdieron en promedio, en el transcurso de 50 años 2,88 Tn de Carbono / ha lo que equivaldría a 0,058 Tn. COS/año, por lo que tendríamos en la zona promediando los 10 valores, un valor superior de pérdida ya que obtuvimos 0,280 Tn, que son aún superiores a los pronosticados por el INTA para los próximos 20 años, valores de 0,085 Tn. de COS/Ha/año perdidos (Taboada, 2022).

Si bien consideramos que 10 puntos son insuficientes para extrapolar los resultados a una zona tan amplia y con tanta variabilidad de suelos, podemos comenzar a trabajar con un valor real medido a campo que se deberá ir corrigiendo en la medida que se acumulen mayor cantidad de análisis georreferenciados de la zona. Para iniciar proponemos promediar nuestras mediciones, con los datos obtenidos por Taboada por un lado y Vignolo por otro, del cual surge un valor de **0,131 Tn/Ha/año** de pérdida anual de COS para la región centro-este de Córdoba y centro-oeste de Santa Fe.

## B – Valor del Carbono Orgánico del Suelo - COS

Para obtener el Costo Ambiental que estamos buscando, analizamos distintas alternativas para transformar el dato medido a campo en toneladas (Tn.) de pérdida de Carbono orgánico, en un valor monetario de mercado, dólares (u\$s) o euros (€), para poderlo incorporar a los análisis económicos. Después de revisar bibliografía sobre este tema, llegamos a la conclusión que la mejor manera sería cotizarlo en base al precio de mercado, basado en los Bonos de Carbono, que hoy cotizan en diferentes Bolsas de Valores. El precio de emitir gases de efecto invernadero a la atmósfera, es un termómetro económico que permite estimar monetariamente los costos de los daños ambientales causados por las actividades humanas como son el transporte, las emisiones industriales y agropecuarias, entre otras.

De acuerdo con un informe del Banco mundial (2021), el precio del carbono promedio rondaba los U\$S 2,00 por tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente emitida. Sin embargo, según la Comisión Stern/Stiglitz, para alcanzar las metas actuales de descarbonización este debería subir a entre U\$S 50 y U\$S 100/Tn. CO<sub>2</sub> equivalente en 2030. Según la Agencia internacional de energía, para cumplir los objetivos del acuerdo de París, el precio del carbono debería: Aumentar a 75 a 200/TnCO<sub>2</sub>eq para 2030 y a 125 a 140/Tn. CO<sub>2</sub>eq para 2040.

(Lopez, 2015) cita: “A pesar de que no existe un precio de mercado para la acumulación de C en suelos agrícolas, es posible asignarle a este beneficio un valor económico en base a la información que brindan los mercados de bonos de C. Los mercados de bonos de C surgen a partir del acuerdo internacional del Protocolo de Kioto, que propone la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Para poder llevar a cabo su objetivo se han implementado diversas medidas de mitigación de emisiones ejecutadas principalmente en países en vías de desarrollo. Estas medidas se ven aplicadas principalmente en forma de proyectos, los cuales, pueden ser financiados por países industrializados para cumplir con los compromisos de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero mediante la transacción de certificados de reducción de emisiones, llamados también bonos de Carbono” (Bascón, 2012).

Una vez que se haya acordado la metodología de medición del COS y se cuente con un amplio conjunto de mediciones, se podría analizar la implementación de políticas productivas y ambientales en una región específica. Además, utilizando datos precisos de un establecimiento de producción agropecuaria, sería posible evaluar el balance y la huella de carbono de la empresa, así como calcular los márgenes agropecuarios considerando los costos ambientales, teniendo en cuenta las tablas 4 y 5.

Tabla 4. Model MN – Clásico

Modelo Margen Bruto / Margen Neto (1)	
IB	Ingreso Bruto
- GC	Gastos de Comercialización
<b>IN</b>	<b>Ingreso Neto</b>
- GD	Gastos Directos
<b>MB</b>	<b>Margen Bruto</b>
- GE	Gastos de Estructura
<b>MN</b>	<b>Margen Neto</b>

Tabla 5. Modelo MN – Costos Ambientales

Modelo Margen Bruto / Margen Neto (2)	
IB	Ingreso Bruto
- GC	Gastos de Comercialización
<b>IN</b>	<b>Ingreso Neto</b>
- GD	Gastos Directos
<b>MB</b>	<b>Margen Bruto</b>
- GE	Gastos de Estructura
<b>MN</b>	<b>Margen Neto</b>
<b>- CA</b>	<b>Costo Ambiental</b>
<b>MN - CA</b>	<b>Margen Neto después de CA</b>

## Conclusiones

El ingreso continuo de muestras de suelos de la región al laboratorio nos permitirá acumular información, valorizando esta propuesta de trabajo. Si bien los datos georreferenciados sobre los que trabajamos son escasos para obtener conclusiones determinantes, se asemejan a los obtenidos en otras investigaciones similares realizadas, indicando que el camino para medir la pérdida de carbono en nuestra zona puede ser ésta.

Como conclusión, podemos decir que el dato medido zonal actual es de 28,2 tn COS/ha., mientras que la pérdida media es de 12,7 Tn. COS/Ha, siendo aproximadamente 0,280 Tn COS/Ha/año, que bajaría a 0,131 Tn COS/ha/año, si tomamos el promedio de tres trabajos regionales. Estos valores históricos nos están advirtiendo que, de mantenerse en los sistemas productivos, las rotaciones y las técnicas de manejo de suelos actuales, los valores de COS continuarán disminuyendo, generando huellas profundas cada vez más difíciles de revertir. Estos impactos al no ser visibles, ni medibles fácilmente, se los denomina Costos Ocultos o Costos Invisibles.

Estas pérdidas de COS se dividirán en: 1- Impacto sobre los rendimientos y 2- Impacto sobre el ambiente.

El primero, impactará directamente sobre el rendimiento, uno de los componentes del ingreso, pudiéndose medir en la metodología tradicional de los Márgenes Brutos.

El segundo se visualiza en el ítem Costo Ambiental propuesto, que surge de la diferencia de COS multiplicada por los valores de Mercado de Carbono, que ya cotizan en Bolsas Internacionales desde hace varios años y en nuestro país comienza a desarrollarse en la actualidad, siendo la provincia de Córdoba la primera en realizar una Subasta en diciembre de 2022. Por otro lado, las principales Bolsas de Valores de Comercio y Cereales provinciales de nuestro país, con el objetivo de interactuar entre oferentes y compradores del mercado, se nuclearon en un programa basado en protocolos internacionales que le permitirán a la empresas, incluso agropecuarias, obtener Sellos de sustentabilidad intercambiables, con el objetivo inicial de reducir la huella de carbono utilizando metodologías de cuantificación, prácticas de medición, mejora y neutralidad, que representará además de un valorable aporte ambiental, un ingreso económico por las reducciones logradas, mientras se realizan los primeros pasos hacia las certificaciones de empresas Carbono Neutral.

El ajuste de estas metodologías más la valorización de los puntos restantes que completan la ecuación Costos Ambientales, abren interesantes puertas y generan nuevos desafíos para futuros trabajos de investigación que podrían ser regionales, nacionales, incluso internacionales, ya que las emisiones de carbono generan los Gases de Efecto Invernadero (GEI), responsables del Cambio Climático, que es una problemática global que nos debería interesar a todos y es indispensable que se aborde desde una mirada integradora, multidisciplinaria bajo un sistema de Innovación abierta.

## Referencias

Bascón, D. (2012). *Estudio de mercado de Bonos de Carbono para el mercado alemán*.

Cabrini, S. M., Calcaterra, C. P., y Lema, D. (2013). Costos Ambientales y Eficiencia Productiva en la Producción Agraria del Partido de Pergamino. *Revibec: revista iberoamericana de economía ecológica*, 20(0), 27-43.

Europea, C. (2022). *Un Suolo Sano*. Suolo e agricoltura nell'UE.

[https://agriculture.ec.europa.eu/sustainability/environmental-sustainability/natural-resources/soil\\_it](https://agriculture.ec.europa.eu/sustainability/environmental-sustainability/natural-resources/soil_it)

- Fumanti, F., Giandon, P., Vinci, I., y Di Leginio, M. (2014). L' Importanza Della Sostanza Organica Nei Suoli : La Situazione in Italia E Il. *Reticula*, 7(December), 69–74.  
[https://www.researchgate.net/publication/282574553\\_L'IMPORTANZA\\_DELLA\\_SOSTANZA\\_ORGANICA\\_NEI\\_SUOLI\\_LA\\_SITUAZIONE\\_IN\\_ITALIA\\_E\\_IL\\_PROGETTO\\_SIAS](https://www.researchgate.net/publication/282574553_L'IMPORTANZA_DELLA_SOSTANZA_ORGANICA_NEI_SUOLI_LA_SITUAZIONE_IN_ITALIA_E_IL_PROGETTO_SIAS)
- Lopez, D. A. (2015). *Determinación del costo asociado a la pérdida de carbono orgánico del suelo en sistemas agropecuarios del partido de Pergamino*. Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.
- Rovasio, M., Ricci, D., Capello, S., Giuliano, V., Serra, M., y Vignolo, J. (2019). *Análisis de la relación del índice de productividad del suelo y los valores inmobiliarios de la tierra en la zona de San Francisco, Córdoba*. <http://hdl.handle.net/20.500.12272/7607>
- Taboada, M. A. (2022). *Carbono: el elemento que determina la sustentabilidad del agro*.  
[https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/INTADig\\_1097d8cb81579ace96ec0a44a00b9624](https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/INTADig_1097d8cb81579ace96ec0a44a00b9624)
- Vignolo, J. A. (2022). *Medición de la evolución del Carbono Orgánico del SUELO en un ambiente específico, destinado a la producción agropecuaria*. UTN Facultad Regional San Francisco.
- Vignolo, J., Serra, M., Zapata, M., Ricci, D., Capello, S., Vignola, M. B., y Rovasio, M. (2022). *Estudio de la evolución de propiedades fisicoquímicas de suelos con diferentes índices productivos y su relación con el valor de la tierra* (Vol. 350).