



EVALUACIÓN DE LA DURACIÓN DEL BARBECHO COMO INDICADOR DE SUSTENTABILIDAD EN LA AGRICULTURA PAMPEANA

Marconato, U.^{1,2,*}, G. Posse¹

¹ Instituto de Clima y Agua, INTA, Buenos Aires, Argentina;

² Cátedra de Ecología, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina;

* Nicolas Repetto y de los Reseros S/N, (1686) Hurlingham, Prov. De Buenos Aires,
marconato.ulises@inta.gob.ar

RESUMEN

La agricultura sustentable propone utilizar los bienes y servicios ecosistémicos sin comprometer el capital natural. Este objetivo parece plantearse dentro de un compromiso entre aumentar la productividad actual y proteger el capital natural. Utilizar más eficientemente los recursos junto con mejores prácticas de manejo podría permitir eludir este compromiso. El objetivo de este trabajo fue evaluar la duración del período sin cultivo en la campaña agrícola como indicador de eficiencia y sustentabilidad, estudiando su relación con el balance de carbono y agua, el rendimiento y el retorno económico, para un lote bajo agricultura extensiva en siembra directa de la región pampeana entre 2013 y 2020. En las campañas agrícolas durante las cuales el suelo estuvo sin cultivo más de 138 días, el lote mostró pérdidas de carbono, se usó en promedio poco más de la mitad del agua disponible y tanto la producción de alimento como el margen bruto del productor fueron menores y más variables que en campañas agrícolas en las que el suelo estuvo menos de 138 días sin cultivo. Este estudio sugiere que si un lote agrícola es mantenido cubierto por vegetación viva más de la mitad del año, sus resultados económicos y ambientales mencionados anteriormente “persistirán” en el tiempo debido, por lo menos en parte, a que los recursos son usados más eficientemente. El número de días sin cultivo puede ser un indicador robusto y de fácil adopción, que mostró sensibilidad frente a cambios en variables biofísicas y económicas del lote en estudio.

Palabras clave: doble cultivo, balance de carbono, eficiencia en el uso del agua

INTRODUCCIÓN

La agricultura sustentable propone utilizar los bienes y servicios ecosistémicos para producir y satisfacer la demanda social sin comprometer capital natural, integrando procesos ecológicos, manteniendo los ingresos de los productores y sustituyendo insumos externos y costosos por capital humano (Pretty, 2008; Deytieux et al., 2016). Este objetivo parece plantearse dentro de un compromiso entre aumentar la productividad actual y proteger el capital natural. Usar los recursos más eficientemente en conjunto con mejores prácticas de manejo podría permitir eludir este compromiso (Keating et al., 2010).

Un indicador de sustentabilidad debe permitir resumir procesos, eventos o tendencias y comunicarlos de manera sencilla. En el caso de indicadores relacionados a la actividad agropecuaria y sus consecuencias ambientales, productores, científicos y otros actores sociales relacionados al sector parecen sostener una mirada escéptica entre ellos respecto de los indicadores que cada grupo utiliza (Freebairn & King, 2003).

Si una práctica de manejo mejora la producción agrícola y no genera daños ambientales, es probable que tenga beneficios relacionados con la sustentabilidad (Pretty, 2008). El barbecho es una práctica muy difundida



que consiste en mantener el suelo sin vegetación viva durante el invierno con el objetivo de acumular agua para el cultivo de verano. Sin embargo, su eficiencia está cuestionada debido a sus consecuencias negativas relacionadas con la erosión y el balance de carbono del suelo (Novelli et al., 2017; Posse et al., 2018). Complejizar las rotaciones incluyendo cultivos en invierno puede ayudar a compensar estas consecuencias sin comprometer sensiblemente el contenido hídrico para el cultivo siguiente (Piñeiro et al., 2014; Pinto et al., 2017).

La agricultura de granos en la región pampeana es una de las más productivas de la Argentina (Viglizzo et al., 2011) pero presenta varios rasgos de mezquindad (Jobbagy et al., 2021). Su estrategia de minimización de costos y estabilización de una rentabilidad media está basada en el uso de herbicidas, cultivos resistentes y extracción de nutrientes del suelo (Jobbagy et al., 2021). En los últimos 60 años, los suelos cultivados de la región perdieron carbono (Berhongaray et al., 2013) disminuyó la eficiencia en el uso del agua y aumentó el uso de pesticidas (Viglizzo et al., 2011).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la duración del período sin cultivo como indicador de eficiencia y sustentabilidad, estudiando su relación con el balance de carbono y agua, el rendimiento y el retorno económico, para un lote agrícola de la región pampeana entre 2013 y 2020. La hipótesis fue que la duración estimada como número de días en el año sin cultivo es un indicador robusto de estos parámetros y de fácil adopción, ya que es una característica que los productores conocen bien de su explotación agropecuaria.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo con una base de datos de un lote agrícola de la localidad de Carlos Casares, Prov. de Buenos Aires, Argentina, dentro de la Pampa Interior plana. El clima de la región es templado sub-húmedo, con una precipitación media anual de 1022 mm. El sitio de estudio tiene una rotación continua de 3 años que incluye soja, doble cultivo de trigo-soja y maíz, representativo de la región (de Abelleyra & Verón, 2020). La base de datos (Marconato et al., 2022) South American ecosystems (and croplands in particular incluye información sobre intercambio neto de carbono, evapotranspiración (ET), rendimiento de cosechas, insumos, lluvias, identidad y duración de cultivos. El margen bruto (U\$S/ha) se estimó a partir de las ediciones de la revista Márgenes Agropecuarios (2013-2020) correspondiente al mes de la cosecha e incluye costos directos (labores, insumos y aplicaciones), gastos de cosecha y comercialización.

El balance de carbono ecosistémico completo en tnC/ha se evaluó a través del Intercambio Neto de Carbono, obtenido de una torre micrometeorológica, incorporando las salidas de carbono por cosecha (Net Biome Productivity o **NBP**). Por convención, los valores negativos de NBP indican que el sistema gana carbono y los valores positivos indican que lo está perdiendo hacia la atmósfera. El uso del agua (%) se estimó como la diferencia entre la precipitación (P) obtenida de pluviómetros instalados en el lote y la evapotranspiración (ET) estimada desde una torre micrometeorológica, asumiendo que no hay escorrentía. La eficiencia en el uso del agua (EUA) se estimó como la relación entre el rendimiento (Kg/ha) y la ET (mm/ha) durante cada campaña agrícola. Todos los parámetros antes mencionados se estimaron para cada campaña agrícola de junio a mayo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El número de días sin cultivo presenta una relación positiva con el intercambio neto de carbono estimado a través del NBP, mostrando valores más positivos (mayor pérdida de C) durante las campañas agrícolas en las cuales el suelo estuvo sin cultivo por más tiempo (Fig.1a). La función ajustada ($NBP \text{ (tnC/ha)} = 0,006525 * (\text{días}) - 0,8967$; $r^2:0,37$) sugiere que el sistema podría empezar a perder carbono a partir del día 138 sin cultivo (línea vertical, Fig. 1a). El sistema perdió en promedio 0,49 tnC/ha en las campañas agrícolas en las que se cosechó un solo cultivo (maíz o soja), con una pérdida mínima de 0,05 tnC/ha en 2014/2015 (Maíz) y una pérdida máxima de 0,82 tnC/ha en 2018/2019 (Soja) (Fig. 1b). Las campañas agrícolas en las que hubo doble cultivo, y por lo tanto menos de 138 días sin cultivo, muestran en promedio una ganancia de carbono de 0,66 tnC/ha pero con mayor variabilidad, con un secuestro de carbono máximo de 2,8 tnC/ha en 2016/2017 y una pérdida de 1 tnC/ha en 2013/2014 (punto rojo en Fig. 1a). Durante la campaña 2013/2014



(punto rojo en Fig. 1a), más precisamente en diciembre 2013 y enero 2014, se registraron precipitaciones equivalentes a la mitad del promedio histórico para esos meses (137 mm vs 258 mm) y la temperatura fue 2°C más alta que el promedio (~25,5 °C vs ~23,4 °C). Esto generó que se registren las pérdidas de carbono más grandes de toda la serie 2013-2020.

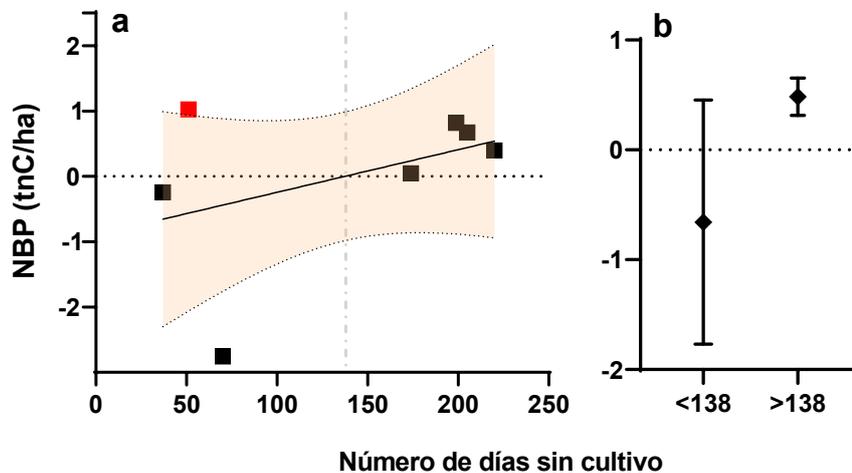


Figura 1. Relación entre el número de días al año sin cultivo y el intercambio neto de carbono (NBP en tnC/ha). Valores negativos indican ganancias de carbono y valores positivos indican pérdidas de carbono del sistema. (a) Cada punto corresponde a una campaña agrícola de doce meses (de junio a mayo). La función ajustada $(NBP(tnC/ha) = 0,006525*(días) - 0,8967; r^2=0,37)$ empieza a tomar valores positivos (pérdida de C) desde $X=138$, señalado con la línea punteada vertical gris. El punto rojo corresponde a la campaña agrícola 2013/2014. El sombreado rosa alrededor de la recta es el intervalo de confianza del 95% de la regresión. (b) Intercambio neto de carbono (NBP en tnC/ha) para campañas agrícolas agrupadas según si tuvieron más o menos de 138 días sin cultivo. Los símbolos muestran la media \pm error estándar.

Estos datos sugieren que un lote agrícola en la región de estudio podría perder carbono durante las campañas agrícolas durante las cuales el suelo esté sin cultivo más de 138 días. Asimismo, en las campañas agrícolas con doble cultivo el balance de carbono podría ser positivo, mantenerse neutral o mostrar pérdidas en condiciones climáticas muy desfavorables. Existe consenso en el fuerte impacto negativo del barbecho sobre el balance de carbono de los agroecosistemas, llegando incluso a perder más de la mitad del carbono ganado durante la temporada de crecimiento (Posse et al., 2018). Las rotaciones que incluyen cultivos de invierno, cobertura o de servicios ayudan a compensar estas pérdidas de carbono (Pinto et al., 2017) yet its role in the regional C budget is not fully understood. There is concern that climate change, particularly altered precipitation patterns, may induce a shift in how crops exchange CO₂ with the atmosphere. This study examined the seasonal and interannual variation in net ecosystem exchange (NEE).

El agua se usó de manera más exhaustiva durante las campañas agrícolas en las que el suelo estuvo menos días sin cultivo. En las campañas con más de 138 días sin cultivo, se usó en promedio el 62% del agua disponible, mientras que en las campañas con menos de 138 días sin cultivo se usó un 73% en promedio, un 11% más (Fig. 2a). En cuanto a la eficiencia de su uso respecto al rendimiento (EUA, fig. 2b), las campañas agrícolas se agruparon según el tipo de cultivo cosechado. Las campañas con doble cultivo muestran una EUA similar a los años en los que se cosechó maíz, entre 300 kg/mm y 400 kg/mm. Asimismo, las pruebas t para diferenciar entre medias no mostraron diferencias significativas entre grupos (>138 y <138 días sin cultivo), debido probablemente al alto consumo de agua del cultivo de maíz.

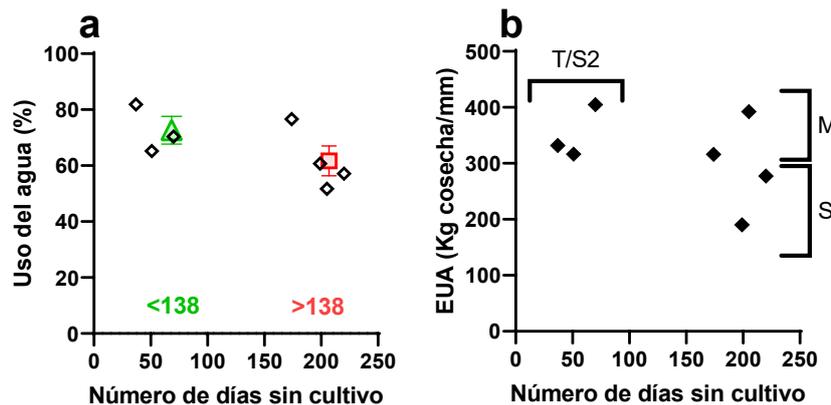


Figura 2. Relación entre el número de días sin cultivo y variables relacionadas al uso del agua. Cada punto corresponde a una campaña agrícola de doce meses (de junio a mayo). (a) Uso del agua (%): Porcentaje del agua precipitada que fue evapotranspirada durante el año calendario. En color se muestra la media ± error estándar de los valores agrupados según si tuvieron más o menos de 138 días sin cultivo: menos de 138 días 73 ± 4,9% (verde); más de 138 días: 62 ± 5,3% (rojo). (b) EUA: Eficiencia en el uso del agua estimada como la relación entre lo cosechado (Kg/ha) y la ET (mm/ha) durante ese año calendario. En corchetes se muestra como se agrupan los años según los cultivos que en él fueron cosechados (T/S2: Trigo y Soja de segunda; M: Maíz y S: Soja).

El agua disponible en campañas con doble cultivo se utilizó un 11% más exhaustivamente y la eficiencia de su uso fue similar a las campañas con maíz, pero superior a las campañas con soja. En términos generales, los cultivos de maíz muestran valores mayores de EUA que los cultivos de leguminosas y de trigo (Gilmanov et al., 2014). El cultivo de maíz puede fijar hasta un 74% más de carbono usando sólo un 20% más de agua que la soja, debido a que alcanza un área foliar mayor más temprano en la temporada de crecimiento y a sus características fisiológicas como especie C_4 (Suyker & Verma, 2010). Atmospheric warming due to anthropogenic greenhouse gases is enhancing demands for water inputs in agriculture. Accurate information on crop-ecosystem water use efficiencies [EWUE, amount of CO₂ removed from the soil-crop-air system per unit of water used in evapotranspiration (ET). Además, el uso más exhaustivo del agua cuando se siembra un doble cultivo puede reducir el riesgo de inundaciones en la primavera (Mercau et al., 2016).

El rendimiento (Kg/ha) fue mayor en las campañas durante las cuales el suelo estuvo menos días sin cultivo (Fig. 3a, r^2 : 0,63; $p < 0,05$). Los ingresos del productor estimados a través del margen bruto (U\$S/ha) fueron mayores en promedio en campañas agrícolas con menos de 138 días sin cultivo (Fig. 3b y 3c; 556 ± 216 U\$S/ha vs 324 ± 421 U\$S/ha, media ± IC95). Las campañas agrícolas con más de 138 días sin cultivo tuvieron un margen bruto menor en promedio y mucho más variable entre campañas, con una ganancia máxima de 533 U\$S/ha en 2018/2019 y una pérdida de 44 U\$S/ha en 2014/2015. Estos resultados sugieren que la variabilidad del margen bruto es mucho mayor en campañas con un cultivo simple, mientras que en planteos con doble cultivo parece ser un parámetro más estable. En la Figura 3b (triángulos grises, MBcDC) se muestra además el margen bruto que se hubiera obtenido si en las campañas con cultivo simple se hubiera incluido un cultivo de invierno como el trigo, asumiendo que esto no hubiera afectado el rendimiento del cultivo de verano (Restovich et al., 2012; Pinto et al., 2017). En todas las campañas, excepto en la campaña 2014/2015, esto hubiera significado un aumento promedio del ingreso del productor de entre el 11% y el 43%.



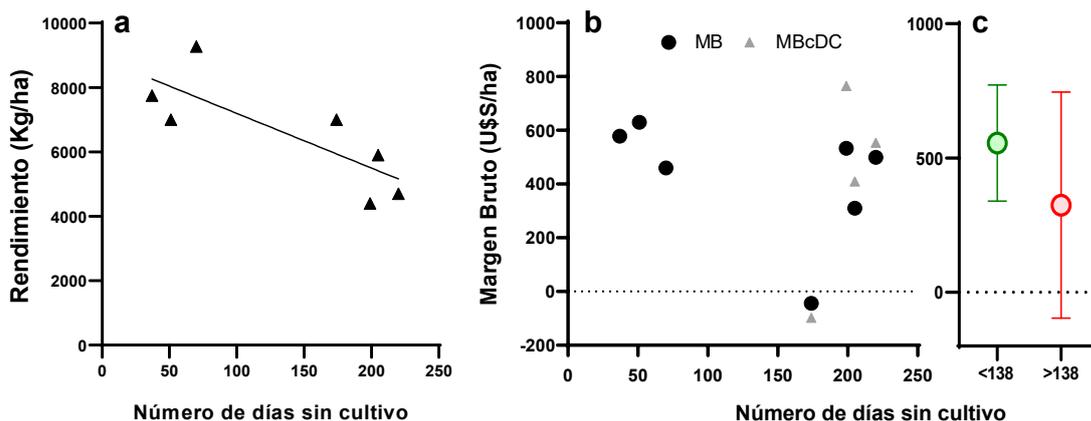


Figura 3. Relación entre número de días sin cultivo y la producción de alimento y el margen bruto por hectárea. Cada punto representa una campaña agrícola de doce meses de junio a mayo. (a) Rendimiento cosechado (kg/ha) por campaña agrícola = $-16,97 \cdot \text{días} + 8892$ (b) Círculos negros: Margen bruto (U\$/ha) estimado. Triángulos grises: (MBcDC) Margen bruto (U\$/ha) estimado si en esa campaña se hubiera hecho un doble cultivo con trigo. (c) Media \pm IC95 de los valores agrupados de margen bruto (U\$/ha) estimado (círculos negros) según si tuvieron más o menos de 138 días sin cultivo: menos de 138 días 556 ± 216 U\$/ha (verde); más de 138 días: 324 ± 421 U\$/ha (rojo).

El número de días sin cultivo de un lote mostró ser un indicador sensible al rendimiento y a la rentabilidad del productor. El rendimiento (Kg/ha) fue mayor cuanto menor fue el número de días sin cultivo debido principalmente a que durante esos períodos se sembraron y cosecharon dos cultivos. El margen bruto (U\$/ha) se mantuvo más estable y en promedio fue más alto durante las campañas con doble cultivo, mientras que en cultivos simples fue mucho más variable. Andrade et al. (2022) encontraron resultados similares comparando planteos con doble cultivo y monocultivo de soja en la región de estudio: márgenes brutos entre 11 y 13% mayores, menor variabilidad y rendimientos entre 41 y 51% mayores. Poca variabilidad en los ingresos del productor son rasgos de una agricultura más sustentable (Pretty, 2008; Deytieux et al., 2016). Esto es algo destacable ya que una de las dificultades para la adopción de esta práctica por parte de productores es el temor que genera el riesgo asociado a las grandes inversiones que permiten alcanzar el máximo retorno económico (Keating et al, 2010).

CONCLUSIONES

El número de días que un lote agrícola permanece sin cultivo es un indicador robusto, de fácil adopción para los productores a escala de lote, que mostró sensibilidad frente a cambios en variables biofísicas y económicas del lote en estudio. Este estudio sugiere que si un lote agrícola es mantenido cubierto por vegetación viva más de la mitad del año, sus resultados económicos y ambientales mencionados anteriormente “persistirán” en el tiempo debido, por lo menos en parte, a que los recursos son usados más eficientemente. Sin embargo, este trabajo no incluyó las emisiones relacionadas con la energía utilizada en los laboreos ni las aplicaciones de fertilizantes y pesticidas, que podrían achicar la brecha entre ambas situaciones ni la generación de empleo. Por otro lado, teniendo en cuenta que los sistemas agrícolas están manejados por personas con una gran variedad de perspectivas, cobra importancia la inclusión de aspectos “blandos” de los sistemas en indicadores, relacionados al comportamiento de los individuos y la comunidad (Freebairn & King, 2003).

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, J. F., Ermacor, M., & Satorre, E. H. (2022). Assessing benefits of land use intensification on extensive grain cropping systems of the Pampas. *European Journal of Agronomy*, 135, 126484. <https://doi.org/10.1016/J.EJA.2022.126484>
- Berhongaray, G., Alvarez, R., De Paepe, J., Caride, C., & Cantet, R. (2013). Land use effects on soil carbon in the Argentine pampas. *Geoderma*, 192(1), 97–110. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.07.016>
- de Abelleira, D., & Verón, S. (2020). Crop rotations in the Rolling Pampas: Characterization, spatial pattern and its potential controls. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 18, 100320. <https://doi.org/10.1016/J.RSASE.2020.100320>



- Deytieux, V., Munier-Jolain, N., & Caneill, J. (2016). Assessing the sustainability of cropping systems in single-and multi-site studies. A review of methods. *European journal of agronomy*, 72, 107-126.
- Freebairn, D. M., & King, C. A. (2003). Reflections on collectively working toward sustainability: indicators for indicators!. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 43(3), 223-238.
- Gilmanov, T. G., Baker, J. M., Bernacchi, ... Wylie, B. K. (2014). Productivity and carbon dioxide exchange of leguminous crops: Estimates from flux tower measurements. *Agronomy Journal*, 106(2), 545–559. <https://doi.org/10.2134/agronj2013.0270>
- Jobbágy, E. G., Aguiar, S., Piñeiro, G., & Garibaldi, L. A. (2021). Impronta ambiental de la agricultura de granos en Argentina: revisando desafíos propios y ajenos. *Revista Ciencia Hoy*. Volumen 29 número 173.
- Keating, B. A., Carberry, P. S., Bindraban, P. S., Asseng, S., Meinke, H., & Dixon, J. (2010). Eco-efficient agriculture: Concepts, challenges, and opportunities. *Crop science*, 50, S-109.
- Marconato, U., Fernández, R. J., & Posse, G. (2022). Cropland Net Ecosystem Exchange Estimation for the Inland Pampas (Argentina) Using EVI, Land Cover Maps, and Eddy Covariance Fluxes. In *Frontiers in Soil Science* (Vol. 2). <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsoil.2022.903544>
- [Margenes Agropecuarios \(2013-2020\)](https://www.margenes.com/). Disponible en: <https://www.margenes.com/>
- Mercau, J. L., Nosoetto, M. D., Bert, F., Giménez, R., & Jobbágy, E. G. (2016). Shallow groundwater dynamics in the Pampas: Climate, landscape and crop choice effects. *Agricultural Water Management*. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.09.013>
- Novelli, L. E., Caviglia, O. P., & Piñeiro, G. (2017). Increased cropping intensity improves crop residue inputs to the soil and aggregate-associated soil organic carbon stocks. *Soil and Tillage Research*, 165, 128–136. <https://doi.org/10.1016/J.STILL.2016.08.008>
- Pinto, P., Fernández Long, M. E., & Piñeiro, G. (2017). Including cover crops during fallow periods for increasing ecosystem services: Is it possible in croplands of Southern South America? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 248(August), 48–57. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.07.028>
- Piñeiro, G., Pinto, P., Arana, S., Sawchik, J., Díaz, J. I., Gutiérrez, F., & Zarza, R. (2014). Cultivos de Servicio: integrando la ecología con la producción agrícola. *XXVI Reunión Argentina de Ecología*. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Chubut, Argentina, 02-05.
- Posse, G., Lewczuk, N., Di Bella, C., Richter, K., Oricchio, P., & Hilbert, J. (2018). Impact of land use during winter on the balance of greenhouse gases. *Soil Use and Management*, 34(4), 525–532.
- Pretty, J. (2008). Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 447-465.
- Restovich SB, Andriulo AE, Portela SI. Introduction of cover crops in a maize-soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics. *F Crop Res* (2012) 128:62–70. doi:10.1016/J.FCR.2011.12.012
- Suyker, A. E., & Verma, S. B. (2010). Coupling of carbon dioxide and water vapor exchanges of irrigated and rainfed maize-soybean cropping systems and water productivity. *Agricultural and Forest Meteorology*. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.01.020>
- Viglizzo, E. F., Frank, F. C., Carreño, L. V., Jobbágy, E. G., Pereyra, H., Clatt, J., ... & Ricard, M. F. (2011). Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina. *Global Change Biology*, 17(2), 959-973.





MODELOS DIGITALES DE ELEVACIONES PARA LA CARACTERIZACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Micheloud, E.N.^{1*}, J. Bocco², R.P. Marano^{1,2}

¹ ICiAgro Litoral, UNL, CONICET, FCA. Kreder 2805, Esperanza, Santa Fe;

² Facultad de Ciencias Agrarias (UNL). Kreder 2805, Esperanza, Santa Fe.

*eli_micheloud@hotmail.com.

RESUMEN

Los Modelos Digitales de Elevaciones (MDE) son muy utilizados para representar la superficie del suelo y extraer características del relieve que permitan la modelación hidrológica. Los mapas de pendientes, líneas de flujo, mapas de acumulación y dirección de escurrimiento, son elementos que hacen posible la delimitación y caracterización de una cuenca hidrográfica. No obstante, la resolución de los MDE y el método con el cual se interpolan los datos influyen directamente en la calidad de los resultados. El objetivo de este trabajo fue validar un MDE del Instituto Geográfico Nacional (IGN) con puntos de elevación obtenidos a campo con una Estación Total, para ser aplicado en la delimitación y caracterización morfométrica de una microcuenca. La metodología consistió en utilizar el software QGis para extraer datos de elevación en formato vectorial de puntos desde un MDE aerofotogramétrico con resolución espacial de 5 m que distribuye el IGN, del cual se filtraron y eliminaron sectores correspondientes a vegetación arbórea y edificaciones. En el entorno del software RStudio se empleó el método geoestadístico de interpolación Kriging Universal para predecir los valores de altura a partir de los datos extraídos del MDE del IGN, ajustando el semivariograma experimental con el modelo teórico Gaussiano y generando un nuevo MDE de 5 m de resolución espacial. Se realizó una validación cruzada de este MDE utilizando como puntos de control los datos registrados a campo cada 40 m con una Estación Total. También se aplicó el método Kriging Universal a estos puntos observados, destinando un 80 % de los datos para la predicción y el 20 % restante para su validación. Se usaron herramientas de QGis en ambos MDE para obtener mapas de dirección de escurrimiento, redes de drenaje, delimitar una microcuenca y hacer una comparación de los parámetros morfométricos derivados. Para comprobar la exactitud de los MDE al hacer la validación cruzada, se calculó la raíz del error cuadrático medio (RMSE) siendo de 0,1455 para el MDE producto de los datos observados, y de 0,0977 para la predicción a partir de puntos del MDE del IGN. La microcuenca delimitada con el MDE de los datos observados presentó una superficie de 78 ha, pendiente media de 0,99 % con una vía de escurrimiento de 1343 m de longitud. Mientras que, la misma microcuenca delimitada a partir de la interpolación de los datos del IGN tiene una superficie de 77 ha, pendiente media de 1,16 % y una vía de escurrimiento de 1417 m. Al observar la similitud de las características morfométricas de la microcuenca delimitada con datos de las distintas fuentes (MDE del IGN y relevamiento con Estación Total) y, considerando los pequeños valores de RMSE encontrados al hacer validación cruzada, se concluye que es factible utilizar el MDE de 5 m de resolución espacial del IGN con un proceso previo de filtrado, ahorrando tiempo y dinero, para realizar una adecuada caracterización morfométrica de la microcuenca en estudio. Además, se considera que los productos obtenidos pueden ser aplicados en modelos de simulación de procesos hidrológicos.

Palabras clave: modelación, topografía, geoestadística.

