

Comparación de indicadores de la desertificación en la Región Pampeana y en la frontera de expansión agropecuaria en la República Argentina

Desertification indicators comparison in Pampean Region and agricultural expansion frontier in the Argentine Republic

Gabriela Civeira*

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

Beatriz Rodríguez

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Universidad Nacional de Morón

Revista de la Facultad de Agronomía

Universidad Nacional de La Plata, Argentina

ISSN: 1669-9513

Periodicidad: Continua

vol. 122, 2023

redaccion.revista@agro.unlp.edu.ar

Recepción: 27 junio 2022

Aprobación: 24 septiembre 2022

Publicación: noviembre 2023

URL: <http://portal.amelica>

DOI: <https://doi.org/10.24215/16699513e126>

Autor de correspondencia: civeira.gabriela@inta.gob.ar

Resumen

El proceso de desertificación se está generalizando en la Argentina. En la Región Pampeana y Extra Pampeana, la generalización del monocultivo de soja y el manejo no sustentable han aumentado el proceso de desertificación. Los indicadores biofísicos del suelo permiten evaluar la fragilidad del sistema productivo y la salud edáfica. El objetivo de este trabajo fue: recopilar y sistematizar indicadores biofísicos de la desertificación en el área actual y de avance de la frontera agropecuaria, evaluando su capacidad de monitoreo de la degradación de suelos. El análisis recopiló y sistematizó información primaria y secundaria proveniente de trabajos de investigación, publicaciones y boletines, entre otros. Se evaluaron para la Región Pampeana y Extra Pampeana indicadores biofísicos: carbono orgánico total (COT), contenido de nitrógeno total (N total), fósforo extractable (P Bray) y densidad aparente (DAP). Se recopilaron rendimientos de los cultivos de trigo y soja. El COT influyó positivamente sobre el rendimiento en la Región Pampeana. Los suelos de la Región Extra Pampeana presentaron valores inferiores de N total y P Bray en comparación a la Región Pampeana. La Región Pampeana presentó una relación positiva significativa entre COT y DAP ($p < 0.05$; $R^2 = 0,335$). En la Región Extra Pampeana, la DAP no influyó los rendimientos como en la Región Pampeana. Los rendimientos extra pampeanos podrían estar condicionados por las condiciones climáticas. En ambas regiones, los indicadores describieron el impacto de la actividad agrícola en las propiedades edáficas en las últimas décadas. Los indicadores sensibles al uso agrícola predecirían procesos de degradación, previniendo consecuencias irreversibles en el uso del suelo a futuro.

Palabras Claves: Degradación, indicadores químicos, físicos y biológicos, rendimiento

Abstract

Desertification process is a problem that is becoming widespread in Argentina. In the Pampean and Extra Pampean Regions, the widespread use of soybean monoculture led to extreme soil degradation increasing the desertification process. Soil biophysical indicators allow evaluating the fragility of the productive system and edaphic health. The objective of this work was: to collect and systematize biophysical indicators of desertification in the current area and of the advance of the agricultural frontier, evaluating its capacity to monitor soil degradation. The analysis collected and systematized primary and secondary information from research papers, publications and newsletters, among others. Biophysical indicators were evaluated for the Pampean and Extra Pampean Regions: total organic carbon (COT), total nitrogen content (total N), extractable phosphorus (P Bray) and bulk density (DAP). Wheat and soybean crop yields were collected. COT positively influenced the yield in the Pampean Region. The soils of the Extra Pampean Region presented lower values of total N and P Bray compared to the Pampean Region. The Pampean Region presented a significant positive relationship between COT and DAP ($p < 0.05$; $R^2 = 0.335$). In the Extra Pampean Region, DAP did not influence yields as in the Pampean Region. Extra Pampean yields could be conditioned by climatic conditions. In both regions, indicators described the agricultural activity impact on soil properties in recent decades. Sensitive agricultural indicators may predict degradation processes, preventing irreversible consequences in future land use.

Key Words: Degradation, chemical, biological and physical indicators, crops yield

INTRODUCCIÓN

La desertificación y degradación de las tierras áridas y semiáridas es un problema generalizado a escala global y ha sido señalado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU-UNCCD) como uno de los “aspectos del cambio global más importantes a los que se enfrenta la humanidad, además del cambio climático global y la biodiversidad” (Gaitán et al., 2015). En 1994, la ONU establece la Convención para la Lucha contra la Desertificación (UNCCD) que tiene como uno de sus objetivos principales el comprender cómo hacer frente a la desertificación a nivel internacional. En general, las causas de la desertificación derivan de la presión combinada de un clima árido (y/o semiárido) desfavorable y fluctuante, y de la sobreexplotación de los recursos naturales (ONU, 1994). La Argentina, presenta zonas áridas y semiáridas que abarcan el 75% del territorio nacional. En estas áreas habitan aproximadamente 9 millones de personas, las cuales representan el 30% de la población total del país (Benítez, 2002). Estas áreas, consideradas frágiles, contienen heterogéneas regiones de la Argentina que incluyen a la Puna, la Prepuna, el Chaco, la Patagonia y el Centro-Oeste del país. Además, ha sido documentado que en estas regiones la desertificación provocada por las prácticas agrícolas no sustentables está avanzando rápidamente (a razón de 650.000 ha por año), produciendo pérdidas en la producción agrícola-ganadera que pueden llegar hasta aproximadamente el 50% en algunos sitios (Abraham & Salomón, 2000; Perez et al., 2020). Esta situación, implica no solo la pérdida en la producción de estos agrosistemas sino también de la biodiversidad, de los bosques y del recurso suelo, generando una gran disminución en la calidad de vida de la población rural y urbana (Casas & Albarracín, 2015; Gaitán et al., 2015). Asimismo, ha sido observado que el aumento de las prácticas agrícolas no sustentables en las zonas semiáridas disminuye la entrada de agua al perfil, debido al aumento de la densidad aparente y el sellado de la superficie. Lo anterior, puede afectar negativamente a la disponibilidad y concentración de los nutrientes del suelo debido a los cambios en las condiciones oxido/reducción, que pueden provocar, en casos extremos, la acumulación de sales y sustancias tóxicas debido a la transformación de las condiciones edáficas originales (Fernández Cirelli & Abraham, 2002; Casas & Albarracín, 2015).

La evaluación de la degradación de tierras áridas y semiáridas (o de la desertificación), presenta diferentes métodos de medición. Desde hace algunos años, en la Argentina se está llevando a cabo el método de LADA el cual ha sido denominado como: “Proyecto de Evaluación de la Degradación de la Tierra en Zonas Áridas” (Benítez, 2002; Pulido & Bocco, 2011). Este método tiene como objetivo principal el desarrollo y la aplicación de una metodología para la evaluación y cuantificación de la naturaleza, la extensión, la severidad, el impacto y las causas que generan la degradación de tierras en zonas áridas o semiáridas y las soluciones para corregir esa situación. Entre los indicadores biofísicos propuestos por este método, se pueden enumerar los que se evalúan en el suelo (erosión medida como la pérdida o ganancia de suelo, materia orgánica en relación a la disminución de CO₂, balance de nutrientes en el suelo y salinización en tierras irrigadas), en la vegetación (proporción anual de tala del bosque o deforestación, cambios en el tipo y la cantidad de cobertura vegetal de las tierras, productividad de los cultivos, entre otros) y en el recurso agua (monitoreo del riesgo a la sequía, de niveles freáticos y de los regímenes de flujo de los ríos) (Benítez, 2002; Abraham et al., 2005).

La intensificación productiva registrada en la Región Pampeana y en la Región Extra Pampeana, sin las rotaciones adecuadas, ni los niveles de reposición de nutrientes necesaria, determinó la disminución paulatina de la calidad de los suelos. Debido a esto resulta importante estudiar los parámetros edáficos que sirvan como indicadores de la calidad de los suelos para favorecer su sustentabilidad a largo plazo (Rivero et al., 2013; Giorgis et al., 2016; Perez et al., 2020). En los últimos años, debido a la expansión de la frontera agropecuaria sobre las tierras áridas y semiáridas, se ha observado un aumento en la cantidad de trabajos que han evaluado la desertificación en donde actualmente se realizan diversas producciones agropecuarias (entre otros: Barchuk & Diaz, 2000; Abraham et al., 2007; Viglizzo & Jobbagy, 2010; Gaitán et al., 2015). En general, estos estudios han medido y/o determinado distintos indicadores de desertificación y las problemáticas ambientales y sociales asociadas (Abraham et al., 2007). En este contexto, se puede observar que, si bien existen antecedentes, hasta el momento se ha realizado en menor medida un análisis integrado de los indicadores biofísicos, del estado actual y de la evolución de la desertificación en relación a los efectos del avance de la frontera agropecuaria (Viglizzo & Jobbagy, 2010; Oliva et al., 2019; Mórtoła et al., 2017). Por lo tanto, este trabajo propone: recopilar, sistematizar y comparar los indicadores biofísicos de la desertificación en el área actual y de avance de la frontera agropecuaria.

MATERIALES Y MÉTODOS

La desertificación y los indicadores para su monitoreo en las áreas actuales y de avance de la frontera agropecuaria fueron recopilados y evaluados mediante el criterio de indicadores de la desertificación suministrado por el LADA (Benitez, 2002). Se llevó a cabo la recopilación y sistematización de información primaria y secundaria proveniente de diversas fuentes como bases de datos de organismos gubernamentales, trabajos de investigación, publicaciones y boletines, entre otros, que relevaron indicadores de la degradación de tierras en el área agropecuaria actual (desde aquí en adelante denominada: Región Pampeana) y la denominada como frontera de expansión de la producción agropecuaria en Argentina (desde aquí en adelante denominada: Región Extra Pampeana). Los datos cuantitativos de la información recopilada fueron sometidos a análisis estadísticos mediante el uso del programa Infostat (versión 2010). Los análisis estadísticos realizados fueron: el análisis de la varianza (ANOVA, ANalysis Of Variance) que permitió contrastar si las medias entre las regiones Pampeana y Extra Pampeana son iguales frente a la hipótesis de que por lo menos una de las regiones difiere en cuanto a su valor esperado en relación a los indicadores evaluados. También se realizaron análisis de regresión simple para aproximar la relación de dependencia entre una variable dependiente Y y las variables independientes X_i .

Los indicadores fueron recopilados según provincias incluyendo en el análisis a los más relevantes y que presentaron un volumen de datos capaz de ser sometido al análisis estadístico. Debido a lo planteado anteriormente, los indicadores químicos, biológicos y físicos que cumplían las condiciones para ser evaluados fueron los siguientes: carbono orgánico total (COT por el método Walkley & Black, 1934), Nitrógeno total (N total obtenido por el método Kjeldahl y Kjeldahl modificado Klute, 1996, que incluye a las fracciones N orgánico y N amoniacal, las cuales son las formas mayoritarias de N en el suelo) y fósforo extractable (P Bray por el método Bray & Kurtz, 1945); densidad aparente (DAP método del cilindro Blake & Hartge, 1986). También se evaluaron los rendimientos de los cultivos de trigo y soja en cada provincia en los últimos veinte años (1990-2021). Los indicadores y rendimientos de los cultivos analizados y el número de datos evaluados en cada región se muestran en la Tabla 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

INDICADORES QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS

Carbono Orgánico Total (COT)

En la Figura 1a, puede observarse que los contenidos de COT disminuyeron con la profundidad con respecto a la capa superficial de 0-5 cm (estratificación). En Córdoba y Entre Ríos, los suelos estudiados, se encontraban bajo agricultura continua en siembra directa (SD) y labranza convencional (LC) (Michelena et al., 1996; Bonel et al., 2001). En Buenos Aires y Santa Fe, los trabajos analizados también indicaron que los suelos se encontraban bajo agricultura continua desde, aproximadamente, periodos mayores a las dos décadas (Camardelli et al., 2005; Martínez et al., 2019). Comparando los valores de COT de las provincias que componen la Región Pampeana (Figura 1b), se observa que Entre Ríos supera a las demás provincias (Córdoba, Santa Fe y Buenos Aires) en tres de las cuatro profundidades analizadas. Lo anterior puede deberse a que los suelos de Entre Ríos presentan elevados porcentajes de texturas arcillosas (orden Vertisoles y Argiudoles vérticos según Soil Taxonomy del Soil Survey Staff, 2014 y Carta de suelos de Entre Ríos, 2014) que al formar los complejos húmico-arcillosos aumentan el contenido de COT en el perfil del suelo, como ha sido documentado para suelos cultivados en otras regiones a nivel mundial (Barré et al., 2014). Sin embargo, otros autores observaron mayores valores de COT en el sudeste de la Región Pampeana y los contenidos más bajos hacia el oeste y norte de dicha región. Los niveles de COT fluctuaron entre 10 y 44% entre las provincias de Córdoba, Buenos Aires y Santa Fe (Ferrerías et al., 2007; Martínez et al., 2019).

TABLA 1			
Número total de indicadores químicos, biológicos y físicos recopilados para cada región.			
Indicadores	Región Pampeana	Región ExtraPampeana	Bibliografía utilizada
COT	162	121	Bonel et al., 2001; Camardelli et al., 2005; Chavez et al., 2016; Di Geronimo et al., 2016; Galantini et al., 2016; Kruger et al., 2009; Lorenz, 1995; Lucnina et al., 2016; Martínez et al., 2019; Michelena et al., 1996; Michelena et al., 1989; Michelena et al., 2001; Michelena et al., 2002; Osinaga et al., 2016; Prausse et al., 2000; Rivero et al., 2013; Sainz Rozas et al., 2009; Rivero et al., 2004; Rosales et al., 2003; Sanzano et al., 2005; Sanzano et al., 2008; Schmidt et al., 2015; Venialgo et al., 2004; Venialgo et al., 2001; Villarino et al., 2016
N total	42	41	Benintende et al., 2008; Anriquez et al., 2016; Albanesi et al., 2001; Gomez et al., 2016; Ledesma, 1985; Luchina et al., 2016; Michelena et al., 2001; Michelena et al., 2007; Michelena et al., 2002; Ojeda Pérez et al., 2016; Pilatti, 2008; Rosales et al., 2003; Pérez et al., 2008; 2020; Perez et al., 2016; Pérez et al., 2020; Rivero et al., 2013; Sainz Rozas et al., 2011; Rollan et al., 1999; Sanzano et al., 2005; Sanzano et al., 2008; Schmidt et al., 2015; Venialgo et al., 2001
P Bray.	93	71	Alvarez et al., 2016; Cerliani et al., 2016; Gudeli et al., 2016; Ledesma, 1985; Luchina et al., 2016; Michelena et al., 1989; Michelena et al., 2007; Michelena et al., 2001; Pilatti, 2008; Pérez et al., 2008; Pérez et al., 2020; Rivero et al., 2013; Sainz Rozas et al., 2011; Sanzano et al., 2005; Rosales et al., 2003; Schmidt y Amiotti, 2015; Venialgo et al., 2004; Venialgo et al., 2001.
DAP	83	69	Bonel et al., 2001; Camardelli et al., 2005; Corbella et al., 2011; Ferreras et al., 2005; Giorgis et al., 2016; Ledesma, 1985; Kolar et al., 2002; Luchina et al., 2016; Martínez et al., 2019; Martínez et al., 2020; Michelena et al., 1996; Michelena et al., 1989; Michelena et al., 2002; Michelena et al., 2001; Ojeda Pérez et al., 2016; Perez et al., 2020; Prausse et al., 2000; Rivero et al., 2013; Sainz Rozas et al., 2009; Rivero et al., 2004; Rollan et al., 1999; Rosales et al., 2003; Sanzano et al., 2005; Sanzano et al., 2012; Sanzano et al., 2008; Schmidt et al., 2015; Tesouro et al., 2011; Venialgo et al., 2004; Villarino et al., 2016
Rendimiento			Bolsa de Cereales, 2020, 2021; Bolsa de Cereales de Córdoba, 2021; Bolsa de comercio de Rosario, 2015, 2020; Bolsa de Comercio de Chaco, 2015; Ministerio de agricultura, ganadería y pesca, 2017, 2020.

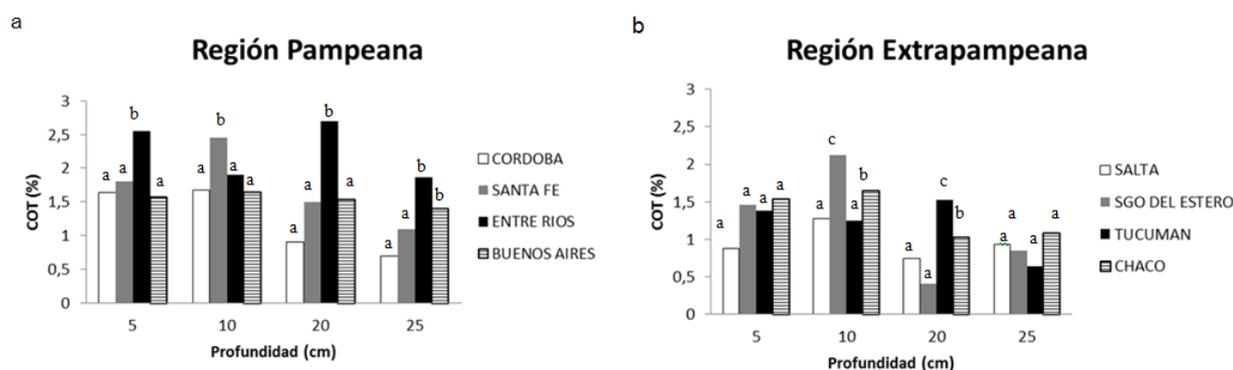


FIGURA 1
Carbono orgánico total (COT) según la profundidad en cada provincia de la Región Pampeana y Extra Pampeana; b) Valores medios de COT de cada provincia. Letras distintas indican diferencias significativas dentro de cada región ($p \leq 0,05$).

En la Región Extra Pampeana, Santiago del Estero presentó el mayor contenido de COT en los primeros 15 cm de suelo, mientras que Tucumán mantiene una mayor concentración a mayor profundidad (Figura 1a). Según estudios realizados en la provincia de Tucumán, donde se compararon los contenidos de COT en agricultura continua (SD y LC), pasturas y en monte natural, se concluyó que existió una reducción del COT entre la SD y las pasturas con respecto a la LC. Al comparar los suelos agrícolas también observaron, como era de esperar, una disminución del 25% del COT en relación con el suelo de monte natural (Sanzano et al., 2005). Asimismo, en suelos de la región del NOA después de seis años de SD se mejoró el contenido de COT al comparar con el laboreo convencional, en concordancia con lo observado para diferentes suelos de varias regiones agrícolas mundiales en donde fue adoptada la labranza cero (entre otros: Chan et al., 2003; Bayer et al., 2006; Baker et al., 2007; Ogle et al., 2019). En este sentido, han sido observados procesos de degradación física, química y biológica de los suelos de la región con una importante disminución de los contenidos de COT y liviano, así como de los valores de estabilidad estructural, conductividad hidráulica e infiltración con respecto a los años de agricultura (Zuccardi et al., 1988; tomado de Sanzano et al., 2005).

La Figura 1b muestra los valores medios de COT de cada provincia: las provincias de Córdoba y Entre Ríos, pertenecientes a la Región Pampeana, han presentado diferencias significativas entre ellas ($p < 0.05$). En cambio, las provincias de la Región Extra Pampeana no manifiestan diferencias significativas en el contenido de COT entre ellas ($p < 0.05$). Ambas regiones, Pampeana y Extra Pampeana (Figura 1a), como era de esperarse, muestran una tendencia similar en cuanto al contenido de COT en función de la profundidad del suelo, presentando la mayor concentración de COT en los primeros centímetros de profundidad. Asimismo, los contenidos de COT fueron siempre más bajos en superficie y en profundidad en los suelos cultivados que en los prístinos en ambas regiones. Lo anterior, pudo ser debido a que en esos centímetros es donde existe una mayor cantidad de residuos y por lo tanto de actividad biológica, independientemente de las condiciones climáticas y de manejo imperantes en ambas regiones (Franzluebbers, 2002; Chan et al., 2003; Bayer et al., 2006; Sainz Rozas et al., 2011; Martínez et al., 2019; Ogle et al., 2019).

Las reducciones de COT en algunos casos fueron considerables, oscilando entre 10 y 44%, tanto en superficie como en profundidad (Rodríguez, 2017). Ha sido observado que, para ambas regiones, los niveles de COT más elevados se encuentran en pastizales naturales y bosques, y cuando estos sistemas son cultivados, se produce una rápida caída del COT (Giorgis et al., 2016). Si bien el nivel de COT depende del clima, del tipo de suelo y del manejo, la intensificación de la actividad agrícola y la falta de rotaciones con pasturas ha producido un deterioro de los niveles de COT y de otras fracciones de carbono de los suelos (Landriscini et al., 2020), lo que, en algunos casos, ha llevado a que presenten sólo el 50% de su nivel original. En general, puede afirmarse que la menor rotación de las actividades agropecuarias provocó, en las regiones Pampeana y Extra Pampeana, el empobrecimiento del perfil del suelo, es decir, la disminución en el contenido de COT superficial y subsuperficial (Sainz Rozas et al., 2011; Mórtoła et al., 2017). Por otro lado, ha sido observado que a pesar de existir una mayor estratificación y en la concentración de C y N del suelo, debido a la adopción de la labranza conservacionista (entre otros: Bayer et al., 2006; Powelson et al., 2014), en el noroeste argentino, la frontera agropecuaria está avanzando sobre áreas aún más marginales, con regímenes hídricos más deficitarios, con temperaturas elevadas y sobre suelos con menores contenidos de materia orgánica, con menor estabilidad estructural y texturas más gruesas. Por lo tanto, los cambios positivos en algunos indicadores pueden no estar reflejando directamente si las mejoras en las condiciones edáficas son debido a otros factores ambientales y/o del manejo agronómico (Franzluebbers, 2002; Sanzano et al., 2005; Mórtoła et al., 2017).

Nitrógeno total y Fósforo extractable

En la Tabla 2 se puede observar que la provincia de Buenos Aires supera por una gran diferencia en su contenido de N total (%) en el suelo a las demás provincias de la Región Pampeana. En la Región Pampeana, el contenido de P Bray en el suelo se encuentra entre 17 y 20 ppm, siendo la provincia de Córdoba la que presenta el menor contenido en sus suelos y la provincia de Buenos Aires la que presenta el mayor contenido de P. En la Región Extra Pampeana, el contenido de P Bray en el suelo se encuentra entre 8 y 33 ppm. Las características intrínsecas de los suelos y la falta de reposición pueden ser el motivo de ésta gran diferencia en el contenido de P Bray entre provincias, como ha sido documentado a nivel nacional y para otras zonas agrícolas en América y Europa, en donde la falta de reposición de fósforo inorgánico y la extracción por la cosecha generaron un balance negativo del mismo en los suelos analizados (entre otros: Venialgo et al., 2004; Viglizzo & Jobbagy, 2010; Rowe et al., 2016; Tiecher et al., 2018). Asimismo, han sido observadas diferencias significativas en los contenidos de P extractable en la provincia de Tucumán, presentando mayores

contenidos los suelos bajo SD que los suelos bajo LC y pasturas (Sanzano, 2005). Se observa que todas las provincias de la Región Extra Pampeana presentaron menores contenidos de N total en relación a la Región Pampeana. Esto puede ser consecuencia de los menores contenidos de COT que tienen estos suelos (Figura 1), los menores aportes de la vegetación existente y también a los menores niveles de rastrojos que aportan los cultivos realizados, como citan otros trabajos (entre otros, Álvarez, 2005; Pilatti & Grenon, 2008; Sainz Rozas et al., 2011; Viglizzo & Jobbagy, 2010).

Ha sido observado que en las áreas áridas y semiáridas los suelos pueden presentar, naturalmente, menores contenidos de N y C, en relación a otras áreas (Viglizzo & Jobbagy, 2010). Por lo tanto, en estos ambientes frágiles, la productividad primaria neta y otros procesos ecológicos pueden estar siendo afectados en mayor medida por el uso agrícola, independientemente del tipo de manejo (LC y SD) (Albanesi et al., 2001; Khan et al., 2007; Pérez et al., 2020). En la región extrapampeana, específicamente en el Chaco Occidental, los suelos fueron utilizados tradicionalmente para el cultivo convencional del algodón, el cual presenta una escasa reposición de nutrientes y de actividad microbiana asociada en el rastrojo. En este sentido, ha sido observado que luego del proceso de desmonte y de habilitación de nuevas tierras en el Chaco Occidental, existió una pérdida del 70 % del N en el primer año del cultivo de algodón (Rivero et al., 2013). En general, ha sido observado que la disminución en la concentración de P y N, en ambas regiones, se debió al mayor uso agrícola de los suelos y a la baja reposición de los nutrientes exportados (la cual en promedio representa tan solo entre el 40-60% del P exportado) (Casas, 2006; Pilatti & Grenon, 2008; Cerliani et al., 2016; Mórtoła et al., 2017).

TABLA 2

Valores medios de Nitrógeno total (N total g kg⁻¹) y fósforo extractable (P Bray. ppm) según provincias. Letras distintas indican diferencias significativas dentro de cada región (p<= 0,05).

Provincias	Indicadores	
	N total	P Bray
Córdoba	0,05b	17,54b
Santa Fe	0,19b	18,71ab
Entre Ríos	0,16b	18,9ab
Buenos Aires	0,28a	20,09a
<i>p</i>	0,04	0,03
Salta	0,11b	16,41b
Tucumán	0,09b	31,46c
Chaco	0,13a	5,44a
Sgo. Del Estero	0,12ab	33,09a
<i>p</i>	0,021	0,04

INDICADORES FÍSICOS

Densidad Aparente (DAP)

El valor de DAP obtenido por el método del cilindro (o anillo) presenta datos muy variables debido a que los valores dependen de muchos factores, que pueden ir desde el tipo de análisis, el tipo de extracción hasta el contenido de materia orgánica, el manejo, la estructura, la textura y la humedad del suelo, entre otros factores (Porta et al., 1999; Ingaramo et al., 2003). Por lo tanto, los valores de DAP obtenidos en esta recopilación en las provincias evaluadas pueden presentar cierto grado de error y encontrarse por debajo del valor promedio esperado. Asimismo, esto último también puede deberse a la conservación de la porosidad, el estado de agregación del suelo, la mayor estabilidad y una compactación no excesiva producto de las labores agrícolas conservacionistas realizadas (Kolar et al., 2000; Camardelli et al., 2005; Ferreras et al., 2005; Martínez et al., 2019; 2020; Li et al., 2020). En ambas regiones analizadas, Pampeana y Extra Pampeana, se observaron incrementos en la DAP desde las capas más superficiales a las más profundas (datos no mostrados) debido al uso agrícola (entre otros, Porta et al., 1999; Li et al., 2020). En la Región Extra Pampeana, en la provincia de Tucumán se observó una mayor DAP en los suelos bajo agricultura continua, sin observar diferencias entre LC y SD y en relación a los suelos bajo monte natural, los cuales pueden evolucionar con el tiempo hacia DAPs menores, debido a la conservación del ecosistema y sus funciones (Kolar et al.,

2004; Ferreras et al., 2005; Mórtoła et al., 2017). La Tabla 3 presenta los valores medios de DAP de cada provincia, puede observarse que sólo la provincia de Salta presentó diferencias significativas con respecto a las demás provincias de la Región Extra Pampeana ($p < 0.05$). La Región Pampeana no presentó diferencias significativas en la DAP entre las provincias analizadas ($p > 0.05$). En este sentido, los datos relevados en ambas regiones presentan suelos con características texturales, entre otras, diferentes debido a la dispersión geográfica. Por lo tanto, para el ordenamiento y análisis de los resultados se optó por agrupar por provincias y regiones para caracterizar en qué sentido y magnitud el uso agropecuario afectó a la DAP y a los otros indicadores evaluados.

TABLA 3
Valores medios de DAP de cada provincia. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Provincia	DAP
CORDOBA	1,36a
BUENOS AIRES	1,34a
SANTA FE	1,25a
ENTRE RIOS	1,15a
<i>p</i>	0,0462
SGO DEL ESTERO	1,19a
CHACO	1,15a
TUCUMAN	1,19a
SALTA	1,44b
<i>p</i>	0,0007

La Figura 2, muestra la relación entre el contenido de COT con la DAP del suelo, para ambas regiones analizadas. La Región Pampeana presenta una relación significativa ($p < 0.05$; $R^2 = 0,335$) entre ambas variables, mientras que la Región Extra Pampeana presenta una relación no significativa ($p > 0.05$; $R^2 = 0,0179$) entre el COT y la DAP. En general, ha sido observado que el contenido de COT está relacionado a las propiedades físicas como la estructura del suelo, el sistema poroso o porosidad y por lo tanto a la DAP que depende de las anteriores (Porta et al., 1999; Chaudari et al., 2013; Duval et al., 2016; Martínez et al., 2020; Pérez et al., 2020). Según lo observado en la figura 2 se puede comentar que el mayor contenido de COT de los suelos pampeanos depende más de su menor DAP. En cambio, en la Región Extra Pampeana, donde la agricultura es más reciente, el contenido de COT de sus suelos puede estar más relacionado a otros factores, como por ejemplo la textura, como ha sido observado por otros autores para otras regiones (Franzluebbbers, 2002; Sainz Rozas et al., 2011; Chaudari et al., 2013; Duval et al., 2016). De esta manera, algunos autores observaron una tendencia al aumento en la DAP cuando ocurrió la disminución del COT en suelos de diferente textura y estados estructurales bajo agricultura continua, en comparación con situaciones no cultivadas, con menores años de agricultura y suelos prístinos (Prausse & Gallardo Lancho, 2000; Mórtoła et al., 2017).

Según algunos estudios, el laboreo continuo del suelo en el este de la provincia de Tucumán degradó la estructura, generó una menor porosidad total y por lo tanto aumentó la DAP. Asimismo, lo anterior, generó la compactación de las capas subsuperficiales, constituyendo un impedimento para el movimiento de agua hacia el interior del suelo. En esta provincia, el continuo uso de maquinaria agrícola para crear las condiciones apropiadas para el desarrollo del cultivo de caña de azúcar ha causado daños irreversibles sobre la estructura de los suelos (Ojeda Pérez et al., 2016; Pérez et al., 2020). En este sentido, ha sido observado en varios trabajos en diferentes regiones del país que existe una mayor estabilidad de los agregados en los sitios no perturbados o con menores niveles de perturbación (SD y pasturas), en comparación con el mismo tipo de suelo alterado por la actividad agrícola no conservacionista (entre otros, Casas & Albarracín, 2015; Mórtoła et al., 2017).

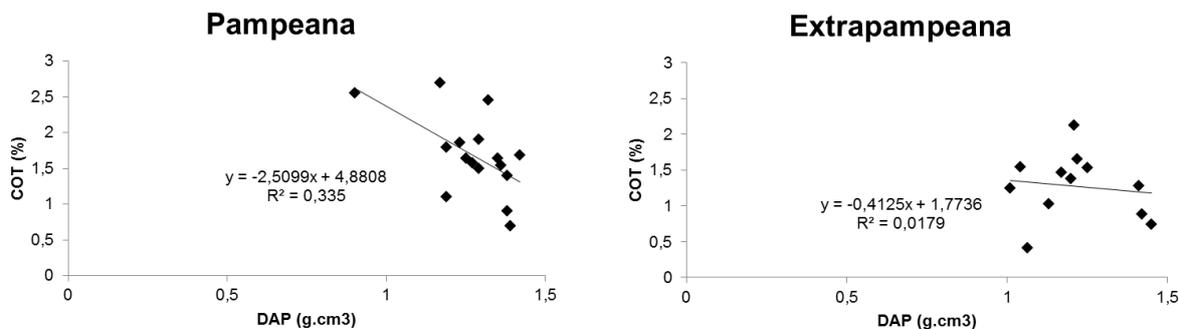


FIGURA 2
Relación entre el COT y la DAP, en las regiones Pampeana y Extra Pampeana.

Rendimiento de cultivos y relación con los indicadores

En la Argentina, en la última década, se ha incrementado de manera significativa la superficie cultivada en las zonas semiáridas y subhúmedas. En este sentido, la superficie sembrada en Santiago del Estero es seis veces mayor a la de veinticinco años atrás. En esta región Extra Pampeana, el cultivo con mayor avance en la superficie destinada a agricultura es la soja, la cual se ha desarrollado a expensas de otros cultivos, del monte nativo y de la ganadería (Albanesi et al., 2001; Pérez et al., 2020). En esta región, los rendimientos por hectárea de los cultivos de trigo y soja han incrementado considerablemente al comparar decenios desde 1990 al 2021 (Figuras 3 y 4). En este contexto, se puede observar que los rendimientos de la Región Extra Pampeana cada vez se asemejan más a los rendimientos de la Región Pampeana. La Figura 3 muestra la relación entre el contenido de COT del suelo con el rendimiento de los cultivos de soja y trigo. Los cultivos de trigo y de soja para la Región Extra Pampeana presentaron una relación significativa para la primera década entre 1996 y 2006 ($p < 0.05$), demostrando la importancia de los contenidos de COT en el suelo en esta región, como ha sido observado en otras áreas agrícolas húmedas y subhúmedas (Oldfield et al., 2018).

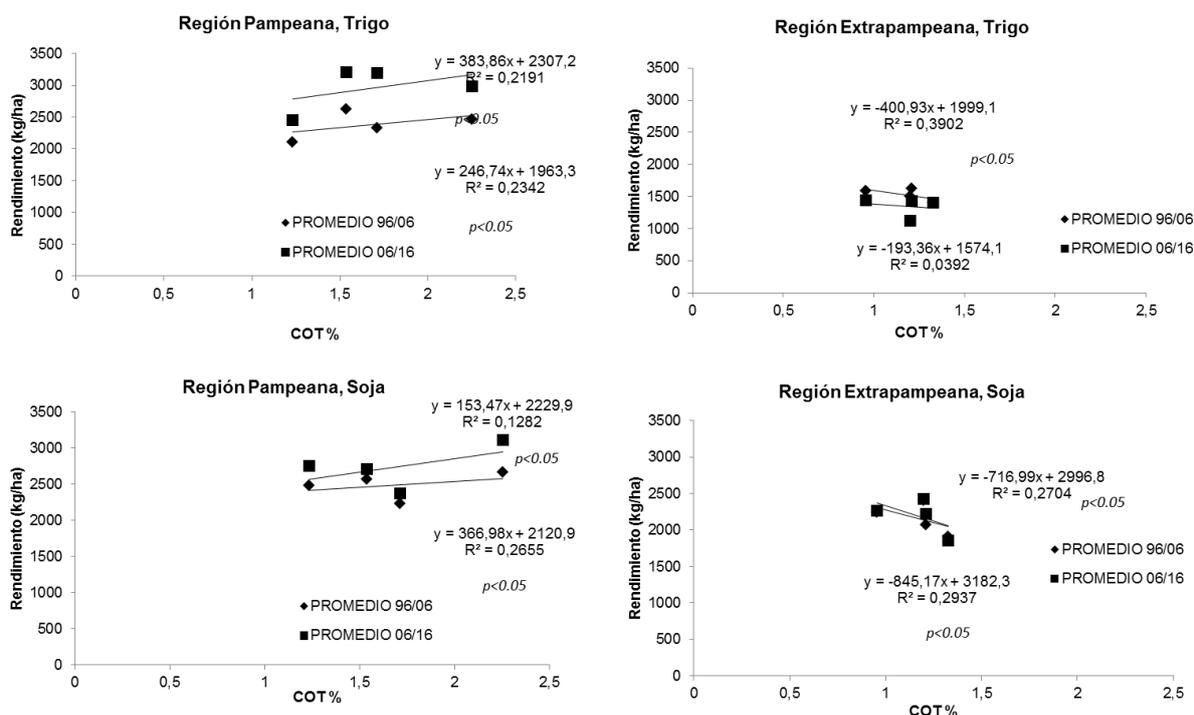


FIGURA 3
Relación de los rendimientos promedios (kg/ha) del cultivo de soja y trigo y el contenido de COT (%) para las regiones y periodos evaluados (1996-2006 y 2006-2021).

La Figura 4, muestra la relación entre el rendimiento de los cultivos de trigo y de soja y la DAP del suelo en diferentes periodos de tiempo. Se puede observar que para la Región Pampeana, en ambos cultivos, a mayor DAP el rendimiento disminuyó. Esto puede haber estado asociado a la pérdida de estructura del suelo que puede provocar impedancias edáficas como la compactación (Li et al., 1999; Porta et al., 1999). Finalmente, estas limitantes pueden afectar a la exploración y el desarrollo de las raíces de los cultivos, lo que dificultaría la absorción de nutrientes y agua por los cultivos y cuya consecuencia podría estar siendo reflejada en un menor rendimiento y una mayor DAP según lo observado en el análisis de los datos de este trabajo (Porta et al., 1999; Dam et al., 2005; Luchina et al., 2016; Pérez et al., 2020). En la Región Extra Pampeana, la DAP del suelo solamente, presenta una influencia positiva en el rendimiento del cultivo de trigo, a diferencia de la Región Pampeana, donde una mayor DAP afectó negativamente a los rendimientos de trigo y soja. En las regiones semiáridas o subhúmedas, como la Región Extra Pampeana, el cultivo de soja podría estar afectado en menor medida por las condiciones del suelo y el manejo, al existir un factor más limitante del rendimiento como la menor precipitación en la época estival. Esto último, ha sido afirmado por algunos autores, quienes observaron que los rendimientos de los cultivos, principalmente en áreas subhúmedas o semiáridas, está mayormente condicionado por las condiciones climáticas y en menor medida por las prácticas agrícolas o de manejo empleadas en los suelos (entre otros: Rosales et al., 2003; Blanco-Canqui & Lal, 2009; Al-Shammary et al., 2018; Pérez et al., 2020).

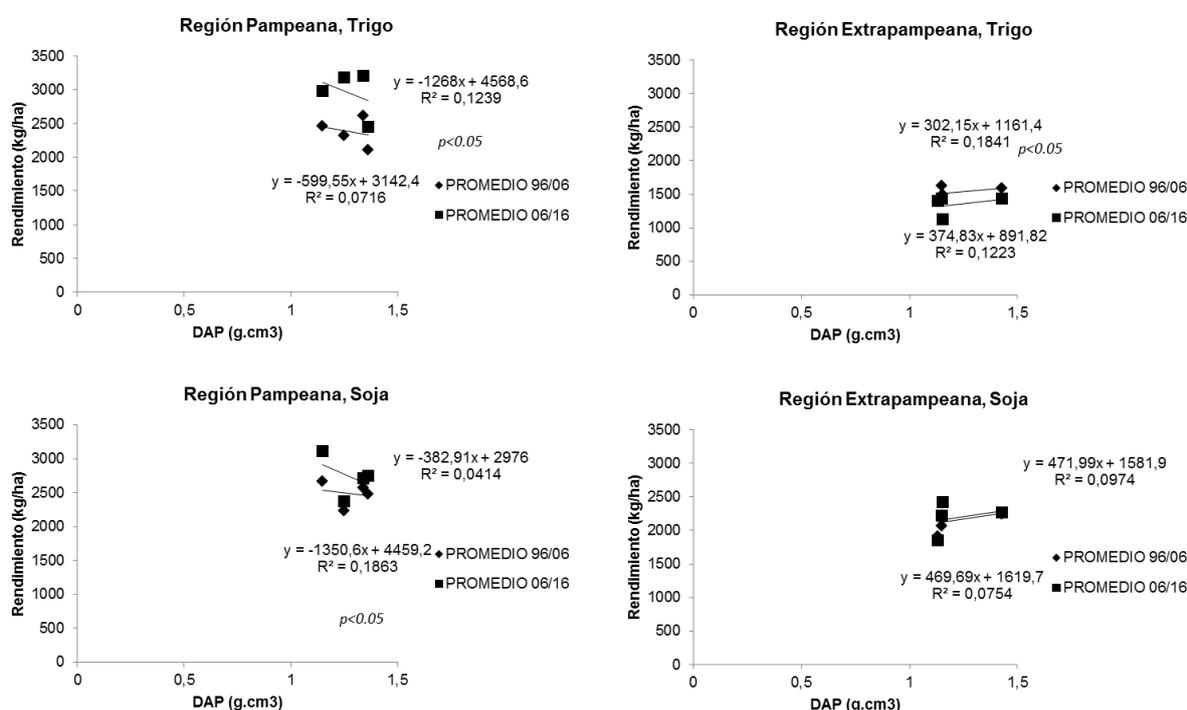


FIGURA 4
 Relación de los rendimientos promedios (kg/ha) del cultivo de soja y trigo y la DAP para las regiones y periodos evaluados (1996-2006 y 2006-2021).

La ampliación de la frontera agropecuaria está incorporando cultivos a regiones semiáridas o subhúmedas marginales, en suelos con menores contenidos de materia orgánica y con menor estabilidad estructural, resultando en rendimientos menores a los esperados en la región (Viglizzo & Jobbagy, 2010). Una de las consecuencias, asociada a la pérdida o menores contenidos de materia orgánica, es la disminución de la estructura, el aumento de la DAP y la formación de costras superficiales (Li et al., 1999; Porta et al., 1999; Dam et al., 2005; Blanco-Canqui & Lal, 2009). Este proceso provoca incrementos en la resistencia mecánica que ofrece el suelo para el crecimiento y desarrollo radicular, reduciendo el espacio físico para las raíces y el agua, afectando finalmente a los

rendimientos de los cultivos (Porta et al., 1999; Blanco-Canqui & Lal, 2009; Casas & Albarracín, 2015). Con el objetivo de mejorar rendimientos y de conseguir mayor producción, en algunas áreas debido a la intervención antrópica negativa, los suelos han sido deteriorados en sus propiedades físico-químicas causando e intensificando el proceso de desertificación (entre otros, Casas & Albarracín, 2015).

CONCLUSIONES

Los cambios hacia una mayor intensificación del uso del suelo, en ambientes de creciente fragilidad ecológica e inestabilidad climática, son la principal causa de la degradación ambiental. Para lograr realizar una producción sustentable a largo plazo se debe evitar el avance de la desertificación y de la degradación de tierras, implementando medidas de prevención y mitigación, realizando un diagnóstico adecuado mediante el uso de indicadores confiables. El uso y análisis de los indicadores químicos, físicos y biológicos de los suelos para evaluar en que estado se encuentra la Región Pampeana y Extra Pampeana de la República Argentina, permitió identificar cambios en algunos de los indicadores edáficos para las distintas regiones agropecuarias analizadas. Los indicadores que presentaron diferencias fueron el COT, especialmente en la Región Pampeana, donde también se afectó directamente a la DAP en las provincias con elevados niveles de agricultura continua como Córdoba y Buenos Aires. En ambas regiones, el aumento del rendimiento de los cultivos de soja y trigo, desde 1990 hasta la actualidad, fue logrado debido al uso de las nuevas tecnologías por parte de los técnicos y productores. Por lo evaluado, se puede concluir que es relevante analizar la información disponible de los indicadores (o parámetros) edáficos para finalmente conocer la sustentabilidad de los agrosistemas que han estado desarrollándose bajo prácticas conservacionistas las cuales se utilizan hoy de forma similar en las distintas regiones productoras de cultivos de la Argentina.

BIBLIOGRAFIA

- Abraham, E.M.** (2008). Tierras secas, desertificación y recursos hídricos. *Ecosistemas*, 17(1), 1-4.
- Abraham, E. y Salomón, M.** (2000). Experiencias en el combate de la desertificación en Mendoza, Argentina. Asociación de Inspecciones de Cauces 1º Zona del Río Mendoza. <https://www.asicprimerazona.com.ar/>
- Abraham, E., Montaña, E. y Torres, L.** (2005). Desertificación e indicadores: posibilidades de medición integrada de fenómenos complejos. *Scripta Nova*, 214(10).
- Abraham, E., Montaña, E. y Torres, L.** (2006). *Procedimiento y marco metodológico para la obtención de indicadores de desertificación en forma participativa*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Abraham, E., Fusari, E., Soria, N. y Salomon, M.** (2007). Utilización del Índice de Pobreza Hídrica como herramienta del Ordenamiento Territorial en zonas áridas. Mendoza (Argentina). *Revista de estudios regionales y mercado de trabajo*, 3, 191-203.
- Albanesi, A., Anriquez, A. y Sanchez, P.** (2001). Effects of the conventional agriculture in some N forms in a toposequence of the Chaco Region, Argentina. *Agriscientia*, 18, 3-11.
- Al-Shammary, A.A.G., Kouzani, A.Z., Kaynak, A., Khoo, S.Y., Norton, M. y Gates, W.** (2018). Soil bulk density estimation methods: A review. *Pedosphere*, 28, 581-596.
- Alvarez, C. y Barraco, M.** (2005). Indicadores de calidad del suelo. *Boletín del Centro Regional Buenos Aires Norte, Estación Experimental Agropecuaria General Villegas*, INTA, 4.
- Alvarez, R.** (2005). A review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon storage. *Soil Use and Management*, 21(1), 38-52.
- Alvarez, R., Steinbach, H., Caffaro, M.M., Molina, C., Berghongaray, G., De Paepe, J., Caride, C., Mendoza, M.R. y Cantet, R.** (2016). *Cambios en los flujos y stocks de fósforos de los suelos pampeanos asociados al uso*. XXV Congreso argentino de la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- Anriquez, A.L., Dominguez, N.E., Albanesi, A.S., Barrionuevo, M.C., Silberman, J., Suarez, R. y Dominguez Nuñez, J.** (2016). *Nitrógeno del suelo y actividad ureasa en sistemas silvopastoriles de Santiago del Estero*. XXV Congreso argentino de la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- Asociación de la cadena de la soja Argentina.** (2016). <http://www.acsoja.org.ar>

- Baker, J.M., Tochsner, T.E., Venterea, R.T. y Griffis, T.J.** (2007). Tillage and soil carbon sequestration. What do we really know? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118, 1-5.
- Barchuk, A.H. y Díaz, M.P.** (2000). Vigor de crecimiento y supervivencia de plantaciones de *Apidosperma quebracho-blanco*, en el Chaco árido. *Revista de ciencias forestales*, 8, 17-21.
- Barraco, M., Lardone, A., Girón, P., Miranda, W. y Díaz-Zorita, M.** (2016). *Secuencias agrícolas y su efecto en la productividad de soja y propiedades edáficas*. XXV Congreso argentino de la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- Barré, P., Fernández, O., Virto, I., Velde, B. y Chenu, C.** (2014). Impact of phyllosilicate mineralogy on organic carbon stabilization in soils: incomplete knowledge and exciting prospects. *Geoderma*, 235, 382-395.
- Bayer, C., Martin Neto, L., Mielniczuk, J., Pavinato, A. y Dieckow, J.** (2006). Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. *Soil and Tillage Research*, 86, 237-245.
- Benintende, M., De Battista, J., Benintende, S.M., Saluzzio, M., Muller, C. y Sterren, M.** (2008). Estimación del aporte de nitrógeno del suelo para la fertilización racional de cultivos. *Revista Ciencia, Docencia y Tecnología*, 37, 141-174.
- Blanco-Canqui, H. y Lal, R.** (2009). Crop residue removal impacts on soil productivity and environmental quality. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 28(3), 139-163.
- Blake, G.R. y Hartge, K.H.** (1986). Bulk Density. En A Klute (Ed.), *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods* (pp. 363-375). Wiley.
- Bolsa de Cereales.** (2020). *La producción triguera alcanzaría las 840.000 tn en Entre Ríos*. <http://www.bolsacer.org.ar/Fuentes/noticia.php?id=1153>.
- Bolsa de Cereales.** (2021). *Elevan la estimación de la producción nacional de trigo a 15 millones de toneladas*. <http://www.bolsadecereales.com/detalle-de-elevan-la-estimacion-de-la-produccion-nacional-de-trigo-a-15-millones-de-toneladas-12773>.
- Bolsa de Cereales de Córdoba.** (2021). *Informe estimaciones nacionales*. <http://www.bccba.com.ar/>.
- Bolsa de Comercio de Chaco.** (2015). *Informe de mercados agropecuarios*. <https://www.bcch.org.ar/>
- Bolsa de Comercio de Rosario.** (2015). *Informe boletín semanal*. <https://www.bcr.com.ar/>
- Bolsa de Comercio de Rosario.** (2020). *Estimaciones nacionales de producción*. <https://www.bcr.com.ar>
- Bonel, B., Michelena, R., Rivero, E. y Rorig, M.** (2001). *Efecto de la textura sobre la distribución del carbono orgánico del suelo bajo siembra directa*. XV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo.
- Bray, R.H. y Kurtz, L.T.** (1945). Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Science*, 59, 39-45.
- Camardelli, M., Caruso, C.H., Perez de Bianchi, S., Perez, D. y Miranda, S.** (2005). Evaluación de cambios tempranos en la calidad de los suelos relacionados con el carbono en tierras ganaderas del Chaco Semiárido Salteño. *Revista Científica Agropecuaria*, 9(2), 173-179.
- Canteros, M.G., Venialgo, C.A. y Gutierrez, N.C.** (2003). *La materia orgánica y sus fracciones en distintas series de suelo del sudoeste chaqueño*. Universidad Nacional del Nordeste.
- Carta de suelos de Entre Ríos.** (2014). <http://www.geointa.inta.gob.ar/2014/04/22/cartas-de-suelos-de-entre-rios/>.
- Casali, L.J., Herrera, M. y Rubio, G.** (2016). *Conservación de agua en Haplustoles del Chaco Semiárido: efecto sobre la productividad del maíz*. XXV Congreso argentino de la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- Casas, R.** (2006). Preservar la calidad y salud de los suelos: Una oportunidad para la Argentina. *Anales de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria*, 60.
- Casas, R. y Albarracín, G.** (2015). *El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina*. Fundación para la Ciencia y la Cultura FeCiC.
- Cerliani, C., Esposito, G., Cholaky, C., Balboa, G., Moreno, I. y Naville, R.** (2016). *Evolución del fósforo en un suelo Hapludol típico bajo distintos usos, labranzas y fertilización*. XXV Congreso argentino de la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- Chan, K.Y., Heenan, D.P. y So, H.B.** (2003). Sequestration of carbon and changes in soil quality under conservation tillage on light-textured soils in Australia: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 43, 325-334.
- Chaudhari, P.R., Ahire, D.V., Chkravarty, M. y Maity, S.** (2013). Soil bulk density as related to soil texture, organic matter content and available total nutrients of Coimbatore soil. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(2), 1-8.
- Chavez, A., Cabrera, P., Armata, C., Osinaga, R., Rivelli, F. y Perez, L.** (2016). *Variación de carbono orgánico del suelo bajo diferentes manejos en lotes del ambiente Semiárido Calchaquí*.

- XXV Congreso argentino de la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- Corbella, R.D., Nasca, J.A., Banegas, N.R., García, J.R., Plasencia, A.M., Solaligue, P. y Franck, C.** (2011). *Análisis y efecto de algunas propiedades edáficas en la producción de pasturas en la Llanura Deprimida Salina Tucumana*. VIIª Reunión de Producción Vegetal y Vª de Producción Animal del NOA, Tucumán, Argentina.
- Courel, G., Corbella, R., Carreras Baldrés, J., Fandos, C., Plasencia, A., Scandaliaris, P., García, J.R. y Soria, F.** (2016). *Uso de sensores remotos como herramientas para detección de limitantes edáficas y monitoreo de cultivos*. XXV Congreso argentino de la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- Cronista comercial** (2016). *Por buena cosecha bonaerense, elevan la producción de soja*. <http://www.cronista.com>
- Dam, R.F., Mehdi, B.B., Burgess, M.S.E., Madramootoo, C.A., Mehuys, G.R. y Callum, I.R.** (2005). Soil bulk density and crop yield under eleven consecutive years of corn with different tillage and residue practices in a sandy loam soil in central Canada. *Soil and Tillage Research*, 84, 41-53.
- Di Jerónimo, P.F., Videla, C., Laclau, P. y Fernanadez, M.E.** (2016). *Cambios en propiedades químicas y bioquímicas del suelo asociados al reemplazo de pastizales por forestaciones y agricultura*. XXV Congreso argentino de la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- Duval, M.E., Galantini, J.A., Martínez, J.M. e Iglesias, J.O.** (2016). Comparación de índices de calidad de suelos agrícolas y naturales basados en el carbono orgánico. *Ciencia del suelo*, 34(2), 197-209.
- Ferreras, L., Magra, G., Besson, P., Kovalevski, E. y Garcia, F.** (2005). Indicadores de calidad física en los suelos de la Región Pampeana Norte de Argentina bajo siembra directa. *Ciencia del suelo*, 25(2), 159-172.
- Fernandez Cirelli, A. y Abraham, E. (Eds.)** (2002). *El agua en Iberoamérica, de la escasez a la desertificación*. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED)-Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua (CETA), Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Buenos Aires.
- Ferrary Laguzzi, F., Osinaga, R., Arzeno, J.L., Becker, A.R. y Rodríguez, T.** (2014). Fraccionamiento y mineralización de la materia orgánica en distintos sistemas de labranza en un Inceptisol de Salta. *Ciencia del suelo*, 32(1), 63-72
- Franzluebbers, A.J.** (2002). Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil & Tillage Research*, 66, 95-106.
- Gaitán, J.J., Bran, D. y Azcona, C.** (2015). Tendencia del NDVI en el período 2000-2014 como indicador de la degradación de tierras en Argentina: ventajas y limitaciones. *Agriscientia*, 32 (2), 83-93.
- Galantini, J.A., Landriscini, M.R. y Duval, M.E.** (2016). *Variación de las fracciones orgánicas resistentes en suelos de la Región Pampeana*. XXV Congreso argentino de la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- Giorgis, A., Lobos, M., Barraco, M., Lardone, A., Giron, P., Berton, C., Prieto, S., Alfonso, C., Cruz Colazo, J., Garnero, G., Gomez, M., Capellino, F., Dania, G., Nagore, P., Raspo, S., Scianca, C., Diaz-Zorita, M. y Alvarez, C.** (2016). *Efecto del manejo sobre propiedades físico hídricas en la Región Pampeana y Chaco Pampeana*. XXV Congreso argentino de la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- Gomez, N.A., Azar, E.A. y Savino, P.** (2016). *Evolución de nitratos, rastrojos, parámetros de crecimiento y rendimiento de algodón para dos antecesores diferentes*. XXV Congreso argentino de la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- Gudeli, V.J., Ghio, H., Lorenzo, C., Gudeli, O., Galarza, C., Vallone, P., Conde, M.B., Tamburrini, P., García, F. y Berardo, A.** (2016). *Evolución del fósforo disponible luego de la aplicación de diferentes dosis de fertilizante fosfatado*. XXV Congreso argentino de la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- Ingaramo, O.E., Paz González, A. y Dugo Paton, M.** (2003). *Evaluación de la densidad aparente en diferentes sistemas de laboreos de suelo, en el NO de la Península Ibérica*. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad Nacional del Nordeste Corrientes, Argentina.
- Khan, S.A., Mulvaney, R.L., Ellsworth, T.R. y Boast, C.W.** (2007). The myth of nitrogen fertilization for soil carbon sequestration. *Journal of Environmental Quality*, 36 (6), 1821-1832.
- Klute, A.** (1996). Nitrogen-total. En A. Klute (Ed.) *Methods of Soil Analyses Part 1 - 2nd edition* (pp. 595-624). American Society of Agronomy.

- Krüger, H., Lagrange, S., López, R., Presa, C. y Venanzi, S.** (2009). *Sustentabilidad ambiental de explotaciones agropecuarias del sur de la provincia de Buenos Aires*. Estación Experimental Bordenave. INTA.
- Kolar, M.O., Venialgo, C.A., Gutierrez, N.C., Moro, E.C. y Oleszczuk, J.** (2000). *Influencia de diferentes cultivos sobre la porosidad de un suelo de la serie Independencia*. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad Nacional del Nordeste.
- Kolar, M.O., Venialgo, C.A., Gutierrez, N.C., Moro, E.C., Oleszczuk, J., Drganc, D. y Asselborn, A.** (2004). *Efecto de las labranzas y rotaciones sobre la porosidad de suelos en diferentes sistemas productivos de la Provincia del Chaco*. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad Nacional del Nordeste.
- Landriscini, M., Galantini, J., Forján, H. y García, R.** (2020). Fracciones de carbono y nitrógeno del suelo y productividad del trigo en el sudeste bonaerense, Argentina. *Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias UNR*, 0(35), 10-35.
- Ledesma, L.L.** (1985). Los Suelos del Departamento Fray Justo Santa Maria de Oro, Provincia del Chaco. Carta de Suelo.
- Li, Y., Li, Z., Cui, S. y Zhang, Q.** (2020). Trade-off between soil pH, bulk density and other soil physical properties under global no-tillage agriculture. *Geoderma*, 361, 11-34.
- Lorenz, G.** (1995). *Caracterización ecológica de un suelo Eutric Regosol bajo bosque en el Chaco Semiárido, Argentina*. Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques.
- Luchina, J., Viruel, E., Plasencia, A.M., Sanzano, G.A. y Banegas, N.R.** (2016). *Evolución de variables edáficas en la llanura deprimida salina de Tucumán ante el cambio de uso*. XXV Congreso argentino de la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina
- Martínez, J.P., Crespo, C., Sainz Rosas, H.R., Echeverría, H.E., Studdert, G.A., Martínez, F., Cordone, G. y Barbieri, P.A.** (2019). Soil organic carbon in cropping sequences with predominance of soya bean in the argentinean humid Pampas. *Soil Use and Management*, 36, 173-183.
- Martínez, J.P., Crespo, C., Cuervo, M.T., Sainz Rozas, H.R., Echeverría, H.E., Martínez, F., Cordone, G. y Barbieri, P.A.** (2020). Soybean-dominated crop sequences: effect on physical soil quality indicators. *Ciencia del suelo*, 38(2), 224-235.
- Michelena, R.** (2012). Degradación de tierras en la Argentina; Prevención y control. Academia Nacional de Agronomía. INTA-CIRN; Instituto de Suelos – Castelar.
- Michelena, R., Iruetia, C. y Rorig, M.** (2001). *Evaluación de la siembra directa en dos suelos de la Región Pampeana*. XXV Congreso argentino de la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina
- Michelena, R., Morrás, H. y Iruetia, C.** (1996). *Physical degradation of a silty loam Haplustoll under continuous agriculture in the province of Córdoba, Argentina*. 9th Conference of the International Soil Conservation Organisation (ISCO).
- Michelena, R., Rivero, E. y Iruetia, C.** (2007). *Distribución de la materia orgánica en los suelos de la Región Pampeana bajo siembra directa*. Instituto de Suelos. XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo.
- Michelena, R., Iruetia C., Rivero E. y Rorig, M.** (2002). *Evaluación física de un Haplustol éntico con siembra directa en la provincia de Córdoba*. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- Michelena, R., Iruetia, C., Vavrusja, L., Mon, R. y Pitaluga, F.** (1989). *Degradación de los suelos en el norte de la Región Pampeana*. Publicación técnica N°6. INTA.
- Mórtola, N., Lupi, A., Romaniuk, R., Albarracín, G. y Civeira, G.** (2017). Indicadores de calidad de suelos en argentina recopilación de una década de investigaciones. En M.G. Wilson (Coordinador). *Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina*. Ediciones INTA.
- Ojeda Perez, E., Sosa, F. y Correa, O.** (2016). Consumo hídrico de caña de azúcar en seco y con riego por goteo en Tucuman. XXV Congreso argentino de la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- Ogle, S.M., Alsaker, C., Baldock, J., Bernoux, M., Breidt, F. J., McConkey, B., ... & Vazquez-Amabile, G.G.** (2019). Climate and soil characteristics determine where no-till management can store carbon in soils and mitigate greenhouse gas emissions. *Scientific reports*, 9(1), 11665.
- Oldfield, E.E., Bradford, M.A. y Wood, S.A.** (2018). Global meta-analysis of the relationship between soil organic matter and crop yields. *Soil*, 5(1), 15–32.
- Oliva, G., Bran, D., Gaitán, J.J., Ferrante, D., Massara, V., Martínez, G.G., Adema, E., Enrique, M. E., Domínguez, E. y Paredes, P.** (2019). Monitoring drylands: The MARAS system. *Journal of Arid Environments*, 161, 55-63.

- Osinaga, N., Alvarez, C., Suvari, G. y Taboada, M.** (2016). *¿Cómo influye la agriculturización en los stocks de carbono en el Chaco Subhúmedo?* XXV Congreso argentino de la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina
- Perez, O.** (2005). *La situación ambiental Argentina; La desertificación en Argentina.* Dirección de Conservación del Suelo y Lucha contra la Desertificación, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Ministerio de Salud y Ambiente de la Nación.
- Pérez-Carrera, C.H., Moscuza, A. y Fernández-Cirelli, A.** (2008) Efectos socioeconómicos y ambientales de la expansión agropecuaria. Estudio de caso: Santiago del Estero, Argentina. *Ecosistemas*, 17(1), 1.
- Perez, G., Zanettini, J., Ventimiglia, L., Carta, H. y Diaz-Zorita, M.** (2016). Comparación de curvas de rendimiento en trigo según zonas de manejo y dosis de nitrógeno. XXV Congreso argentino de la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- Pérez, G.L., Sotelo, C.E., Sirio, A.A., Carnicer, S., Mansilla, N.P., López, C., Fernández, A. y Castelán, M.E.** (2020). Análisis comparativo de suelos cultivados y de monte de la provincia del Chaco, Argentina. *Revista agronómica del noroeste argentino*, 40 (2), 92-106.
- Pilatti, M.A. y Grenon, D.A.** (2008). Información química de Argiudoles del centro de Santa Fe, Nitrógeno y Fósforo extractable. *Revista FAVE - Ciencias Agrarias*, 7, 1-2.
- Porta, J., López Acevedo, M. y Roquero, C.** (1999). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente.* 2ª Edición. Mundi-Prensa.
- Powlson, D.S., Stirling, C.M., Jat, M.L., Gerard, B.G., Palm, C.A., Sanchez, P.A. y Cassman, K.G.** (2014). Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation. *Nature climate change*, 4(8), 678-683.
- Prause, J. y Gallardo Lancho, J.F.** (2000). *Influencia de cuatro especies nativas sobre las propiedades físicas de un suelo forestal del Parque Chaqueño Húmedo (Argentina).* Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad Nacional del Nordeste.
- Pulido, J. y Bocco, G.** (2011) *¿Cómo se evalúa la degradación de tierras?* *Revista Interciencia*, 6(2), 96-103.
- Reynolds, J.** (2013). Desertification. *Encyclopedia of Biodiversity*, 2, 479-494.
- Rivero, E. y Michelena, R.** (2004). *Indicadores cuantitativos de calidad del suelo y salud de cultivos de soja en siembra directa.* XVI Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo.
- Rivero, E., Irurtia, C., Michelena, R. y Beltrán, M.** (2013). *Balance de nitrógeno, fósforo y zinc para una rotación trigo-soja.* INTA.
- Rodríguez, B.E.** (2017). *Comparación de indicadores de la desertificación en las áreas actuales y de expansión de la frontera agropecuaria.* Tesis de grado. Universidad Nacional de Buenos Aires.
- Rollan, A.A., Bachmeier O.A. y Sereno R.** (1999). Mineralización de nitrógeno in situ en un cultivo estival: efecto de la humedad edáfica y forma nitrogenada presente. *Agriscientia*, 16, 11-16.
- Rosales, F.A., Bertiklán, V.G. y Lohezic, M.J.** (2003). *Evolución de la plasticidad y los parámetros de Coulomb en suelos del este de Tucumán, Argentina.* Tercera reunión de producción vegetal y primera de producción animal del NOA.
- Rowe, H., Withers, P.J., Baas, P., Chan, N.I., Doody, D., Holiman, J. y Weintraub, M.N.** (2016). Integrating legacy soil phosphorus into sustainable nutrient management strategies for future food, bioenergy and water security. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 104(3), 393-412.
- Sainz Rozas, H.R., Echeverría, H. y Angelini, H.** (2009). Niveles de carbono orgánico y PH en suelos agrícolas de las Regiones Pampeana y Extrapampeana Argentina. *Ciencia del suelo*, 29(1), 29-37.
- Sainz Rozas, H.R., Echeverría, H. y Angelini, H.** (2011). Fósforo extractable en suelos agrícolas de las Regiones Pampeana y Extrapampeana de Argentina. *IPNI, Informaciones Agronómicas* 4: 14-18.
- Sánchez, R.** (2011). *Historia de la evolución de las condiciones ambientales de los partidos bonaerenses Villarino y Patagones.* (Estación Experimental Agropecuaria Hilario Ascasubi). INTA.
- Sanzano, G., Corbella R., García, J. y Fadda, G.** (2005). Degradación física y química de haplustol típico bajo distintos sistemas de manejo de suelo. *Ciencia del suelo*, 23(1), 93-100.
- Sanzano, G.A., Hernández, C., Morandini, M., Sosa, F., Quinteros, H.R., Sotomayor, C. y Romero, J.** (2012). Evaluación de la compactación de suelos en siembra directa en la Llanura Chaco-pampeana de la provincia de Tucumán, Argentina. *Revista Industria y Agricultura de Tucumán*, 89(1), 31-38.
- Sanzano, G.A., Hernández, C., Morandini, M., Sosa, F., Quinteros, H.R., Hasán Jalil, A., Fadda, G. y Devani, M.** (2008). Efecto de la cobertura de rastrojos y las propiedades edáficas superficiales sobre la erosión hídrica en monocultivo de soja. *Revista industrial y agrícola de Tucumán*, 85(1), 23-30.

- Schmidt, E. y Amiotti, N.** (2015). Propiedades edáficas superficiales en sistemas de agricultura de conservación en la Región Pampeana Semiárida Sur. *Ciencia del Suelo*, 33(1), 79-88.
- Soil Survey Staff.** (2014). *Keys to Soil Taxonomy*, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service.
- Tesouro, M.O., Roba, M.A., D'Amico, J.P., Romito, A., Vallejo, J., Fernández de Ullivarri, E. y Donato, L.B.** (2011). *Estado del sistema poroso de un suelo Haplustol luego de un período prolongado de monocultivo con caña de azúcar*. II Congreso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo. Sao Paulo, Brasil.
- Tiecher, T., Gomes, M.V., Ambrosini, V.G., Amorim, M.B. y Bayer, C.** (2018). Assessing linkage between soil phosphorus forms in contrasting tillage systems by path analysis. *Soil and Tillage Research*, 175, 276-280.
- United nations convention to combat desertification.** (2022). <https://www.unccd.int/convention/official-documents>
- Venialgo, C.A., Gutierrez, N.C. y Gutierrez, J.R.** (2004). *Variables edáficas en diferentes sistemas de uso del suelo en el sudoeste chaqueño*. *Conservación y Manejo de suelos*. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad Nacional del Nordeste.
- Venialgo, C., Gutierrez, N.C. y Canteros, M.G.** (2001). *Caracterización de los niveles de nutrientes en suelos del dorsal agrícola chaqueño sometidos a labranza cero*. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad Nacional del Nordeste.
- Viglizzo, E. y Jobbagy, E.** (2010). *Expansión de la frontera agropecuaria en Argentina y su impacto ecológico ambiental*. INTA.
- Villarino, S.H., Studdert, G.A., Avalos, M.A., Cendoya, M.G., Ciuffoli, L. y Piñeiro, G.** (2016). *Agricultura continua en el Chaco Semiárido: su efecto sobre fracciones del carbono orgánico del suelo*. XXV Congreso argentino de la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- Walkley, A. y Black, I.A.** (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29-38.