

Artículo original

Evaluación y cartografía de la erosión eólica en la Argentina como base para la planificación de un uso sustentable

Evaluation and mapping of wind erosion in Argentina as a basis for planning sustainable use

Roberto R. Casas¹, Rubén E. Godagnone¹ y Juan C. de la Fuente²

1. Escuela Superior de Ingeniería, Informática y Ciencias Agroalimentarias, Universidad de Morón, Argentina.

2. Instituto de Suelos del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina.

Manuscrito recibido: 7 de abril de 2022; aceptado para publicación: 7 de julio de 2022

Autor de Contacto: Ing. Agr. Roberto R. Casas. Escuela Superior de Ingeniería, Informática y Ciencias Agroalimentarias, Universidad de Morón, Machado 914, (1708) Morón, Prov. de Bs. As. República Argentina.

E-mail: robertoraulcasas@gmail.com

Resumen

Los sistemas productivos de la República Argentina han registrado en los últimos años un cambio hacia una agricultura más intensiva, con mayores rendimientos unitarios y un desplazamiento de la frontera agrícola hacia zonas más frágiles, tradicionalmente mixtas o ganaderas, ocupadas por montes nativos. Estos cambios operados, incrementaron los procesos de erosión eólica y degradación general de los suelos. La erosión eólica, constituye uno de los procesos de degradación de suelos más importantes y difundidos en las regiones áridas y semiáridas del país. El presente artículo analiza el proceso de la erosión eólica sobre los suelos de las diferentes regiones del territorio nacional, realizando una evaluación de la superficie erosionada en cada provincia y su cartografía a escala 1:5.000.000. Se consideró referencia a la información aportada por el Mapa de Suelos de Argentina a escala 1:2.500.000 (Godagnone et al; 2002) y su versión digital constituida por el Sistema de Información Geográfico de Suelos Argentinos (SIGSA), a escala 1:2.500.000 y su Base de Datos de Atributos de Suelos (BDAS) asociada (Godagnone y de la Fuente; 2018). La cartografía digital disponible fue proyectada sobre imágenes satelitales y sobre las imágenes de las plataformas web Google Maps y Bings Maps, empleando la proyección geográfica WGS 84 (sistema geodésico de coordenadas geográficas usado mundialmente) para poder superponerla. El SIGSA permitió manipular la importante cantidad de datos de la BDAS vinculados al tema de investigación del presente artículo. El conocimiento de la intensidad del proceso erosivo y del área afectada resulta de vital importancia para la planificación, ordenamiento territorial e implementación de programas de conservación y uso sustentable de los suelos, por parte de los organismos nacionales, provinciales y municipales.

Palabras clave: erosión eólica, degradación de suelos, evaluación de erosión eólica.

Abstract

In recent years, the productive systems of the Argentine Republic have registered a change towards a more intensive agriculture, with higher unit yields and a displacement of the agricultural frontier towards more fragile areas, traditionally mixed or livestock, occupied by native forests. These changes operated, increased the processes of wind erosion and general degradation of the soil. Wind erosion is one of the most important and widespread soil degradation processes in the arid and semi-arid regions of the country. This article analyzes the process of wind erosion on the soils of the different regions of the national territory, carrying out an evaluation of the eroded surface in each province and its mapping at a scale of 1:5,000,000. Reference was considered to the information provided by the Soil Map of Argentina at a scale of 1:2,500,000 (Godagnone et al; 2002) and its digital version constituted by the Argentine Soil Geographic Information System (SIGSA), at a scale of 1: 2,500,000 and its associated Soil Attributes Database (BDAS) (Godagnone and de la Fuente; 2018). The available digital cartography was projected on satellite images and on the images of the Google Maps and Bings Maps web platforms, using the WGS 84 geographic projection (geodetic system of geographic coordinates used worldwide) to be able to overlay it. SIGSA made it possible to manipulate the significant amount of BDAS data linked to the research topic of this article. Knowledge of the intensity of the erosion process and the affected area is of vital importance for the planning, territorial ordering and implementation of programs for the conservation and sustainable use of soils, by national, provincial and municipal agencies.

Key words: wind erosion, soil degradation, wind erosion evaluation.

DOI: <http://doi.org/10.34073/285>

INTRODUCCIÓN

La primera referencia relativa al problema de la erosión en el país se encuentra en el libro de Carlos Darwin publicado en Londres en 1845 (Darwin, 1845). Refiriéndose especialmente a las provincias de Buenos Aires y Santa Fe, Darwin observa que el país había tomado el aspecto de una polvorienta carretera y la sequía había sido tan prolongada que el suelo se había pulverizado y volaba en tal cantidad que se habían perdido todos los puntos de referencias, no pudiéndose hallar los límites de las propiedades particulares. Según el naturalista, estas sequías serían periódicas y se repetirían cada 15 años (Prego, 1988; Instituto de Suelos y Agroecología, 1948).

Florentino Ameghino en 1884 decía en una conferencia “no es que en la Provincia de Buenos Aires no caiga agua suficiente para fertilizar sus campos, sino que ésta se reparte de un modo muy irregular, habiendo meses extraordinariamente secos y otros en que cae un volumen de agua enorme. Cuando la seca se prolonga, los campos antes inundados se

encuentran desnudos, sin una mata de hierba, cubiertos por un manto de polvo finísimo” (Ameghino, 1884).

Hacia finales de la década del 30´ y principios de los 40´ del siglo pasado, y debido principalmente a un largo período de sequía climática, la erosión de los suelos en el centro-oeste semiárido de la Región Pampeana de la República Argentina, se proyectaba como un fenómeno que afectaba a los productores agrarios por las consecuencias económicas y sociales que acarrearía. Como consecuencia, el Ministerio de Agricultura de la Nación, principalmente por intermedio de la División de Suelos, en los años 1939-1942 dio las recomendaciones que permitieran prevenir la erosión o luchar para contrarrestarla (División de Conservación y Mejoramiento de Suelos, 1945). En 1944, el recién creado Instituto de Suelos y Agroecología, abordó como primer y más importante asunto de su plan de labor, la realización de un reconocimiento y estudio integral de la erosión en la región pampeana. Dicho estudio, llevado a cabo en los años 1944 y 1945 determinó que la zona de la región pampeana afec-

tada por la erosión eólica cubría por esos años unas 17 millones de hectáreas, o sea el 6,1 % de la superficie total del país, distribuida entre la parte sur de la Provincia de Córdoba, oeste y sur de la Provincia de Buenos Aires, noreste del territorio de Río Negro, centro y este de la entonces Gobernación de la Pampa, y este y sudeste de la Provincia de San Luis (Instituto de Suelos y Agrotecnia, 1948).

La última estimación efectuada a nivel nacional en el año 2015 determinó un total de 100 millones de hectáreas afectadas por procesos de erosión hídrica y eólica (Casas, 2015). Un análisis de los factores causales de los procesos erosivos de origen antrópico permite comprobar que los más importantes a nivel nacional son la simplificación de la rotación de cultivos y el monocultivo, el desmonte y expansión de la frontera agrícola, y el sobrepastoreo. Otros factores de importancia en la degradación de los suelos e incremento de los procesos eólicos en algunas regiones, lo constituyen la sobre-explotación del bosque, los incendios de bosques y pastizales, la actividad petrolera y la minería. Una mención especial merece el manejo deficiente del riego en oasis, que ya sea por excesos en las láminas de agua aplicadas o por sistemas de drenaje deficientes, está provocando la salinización y sodificación de poco más de 400 mil hectáreas, lo cual representa un 23 % del área regada a nivel nacional (Prieto et al, 2015).

Los sistemas productivos de la República Argentina en los últimos años registraron un cambio hacia una agricultura más intensiva, con mayores rendimientos por unidad de superficie. Los planteos productivos se concentraron en pocos cultivos de alta productividad y alta homogeneidad genética, que a la par de maximizar la producción y la rentabilidad, simplificaron el manejo (Viglizzo y Frank, 2015). En forma simultánea la frontera agrícola se desplazó hacia zonas más frágiles, tradicionalmente mixtas o ganaderas, en muchos casos ocupadas por montes nativos (Casas, 2017). Estos cambios operados, produjeron importantes procesos de erosión eólica y degradación general de los suelos (Volante et al, 2012). En este contexto, un factor relevante a tener en cuenta de acuerdo a los modelos climáticos de alta resolución en la región, es que los eventos extremos como lluvias torrenciales y sequías aumentarán en intensidad y en algunos casos en el número de ocurrencias. Fenómenos cuasi periódicos como El Niño y su contrapartida La Niña, que pro-

vocan inundaciones o sequías en Argentina y países vecinos, se estima que aumentarán en intensidad (Nuñez y Rolla, 2015).

La erosión eólica, constituye uno de los procesos de degradación de suelos más importantes y difundidos en las regiones áridas y semiáridas del país y en las últimas décadas su magnitud y extensión se incrementó considerablemente debido a la acción antrópica (Buschiazzo y Aimar, 2003). Se trata de un proceso degradatorio irreversible que afecta propiedades del suelo tales como la textura, estructura y capacidad para acumular materia orgánica. Una gran proporción de los suelos más productivos de la Argentina se formaron sobre sedimentos loésicos, material altamente susceptible a ser retransportado por el viento, confiriéndoles una alta erosionabilidad (de Oro et al, 2017). El desarrollo de un modelo para estimar la erosión eólica para la región central de Argentina y su complementación con un SIG, permitió cuantificar la superficie de Argentina cubierta con suelos de diferente susceptibilidad a sufrir erosión eólica, indicando que más de un 50% de la superficie del país tiene suelos con riesgos potenciales de sufrir erosión eólica (Colazo et al, 2008).

La expansión de la agricultura hacia ecosistemas de mayor fragilidad está produciendo la degradación de los recursos naturales de la nación, con fuerte impacto negativo sobre el ambiente. Es necesario contar con información de base necesaria para la implementación de modelos sustentables de uso y manejo del suelo. El objetivo del presente trabajo consiste en analizar las principales causas del proceso de erosión eólica que afecta a los suelos de las diferentes regiones del territorio nacional, realizando una evaluación de la superficie erosionada en cada provincia y su cartografía a escala 1:5.000.000. El conocimiento de la intensidad del proceso y distribución espacial del área afectada resulta de vital importancia para la planificación, ordenamiento territorial e implementación de programas de conservación y uso sustentable de los suelos, por parte de los organismos nacionales, provinciales y municipales.

MATERIAL Y MÉTODOS

Con la finalidad de actualizar la superficie afectada e intensidad del proceso de erosión de suelos a nivel nacional, se consideró como información referencial a la aportada por el

Mapa de Suelos de Argentina a escala 1:2.500.000 (Godagnone et al; 2002) y su versión digital ampliada constituida por el Sistema de Información Geográfico de Suelos Argentinos (SIGSA), a escala 1:2.500.000 (Godagnone y de la Fuente, 2018) realizado en el Sistema de Información Geográfico (SIG) ArcView 3.1 de Environmental Systems Research Institute (ESRI), que cuenta con: 1) como soporte visual un mosaico digital de imágenes satelitales LANDSAT TM en proyección Conforme Gauss, Referencia POSGAR 94, con una resolución espacial de 30 metros, en formato GEO-TIFF elaborado por el entonces Instituto Geográfico Militar (IGM); 2) una capa (shape) o cartografía digital de suelos a escala 1:2.500.000 que cuenta con la delimitación espacial de 615 polígonos, correspondientes a 386 Unidades Cartográficas de Suelos (UCS) que cuentan con un identificador único que permite asociarlo a una base de datos; y 3) una Base Datos de Atributos de Suelos (BDAS) asociada mediante los identificadores únicos a la cartografía, y donde cada UCS cuenta con información correspondiente a: regiones naturales y climáticas, forma mayor de la tierra, hipsometría, litología general, pendiente regional, suelos, uso dominante del suelo y vegetación. Además, cada UCS esta compuestas por entre uno y cuatro suelos indicándose de manera decreciente en qué proporción cada uno de ellos participa en la unidad. Cada componente edáfico cuenta con información de: 1. paisaje: geología (conocimiento del material parental de los suelos), geomorfología, hipsometría, pendientes (longitud y grado), uso del suelo, clima y vegetación; 2. información de laboratorio (datos químicos) y de campo (datos físicos): posición en el terreno, profundidad radicular, clase de drenaje, tipo de estructura, pedregosidad, abundancia de gravas, porcentajes de arena, de limo y de arcilla, clase textural y familia textural, nombre y profundidad de cada horizonte; 3. clasificación taxonómica según el sistema Soil Taxonomy (Natural Resources Conservation Service, USDA, 1999). La posibilidad de integrar en los SIG's información diversa proveniente de diferentes fuentes permite elaborar y manipular la importante cantidad de información edáfica contenida en la BDAS del SIGSA vinculada al tema de investigación (Buzai y Baxendale, 2011). La cartografía digital de Unidades Cartográficas de Suelos (UCS) fue llevada a la proyección geográfica WGS 84 a los efectos de superponerla sobre otras imágenes que permite

visualizar el SIG libre y de código abierto QGIS versión 3.16 Hannover de Open Source Geospatial Foundation (OSGeo), por ejemplo, de Google Maps y Bing Maps a los efectos de realizar interpretaciones visuales en imágenes de mejor resolución espacial (Chuvieco, 2006). También se desplegó en Google Earth para interpretaciones multitemporales a través del historial de imágenes de este programa de acceso on-line.

Debido a que, la mayor participación porcentual del primer componente en la UCS respecto de los restantes lo vuelve determinante en la definición de la afectación y grado, se realizaron consultas mediante el SIG a la información almacenada en la BDAS sobre algunas de sus características: clasificación taxonómica, tipo de estructura, clase textural, que permitieron identificar espacialmente a las UCS que las poseían. Así, se generaron capas temáticas con las unidades caracterizadas que fueron superpuestas en QGIS a imágenes satelitales de mayor resolución espacial realizándose una interpretación visual de las mismas a fin de observar asociaciones entre las UCS con rasgos y patrones de las imágenes asociables al proceso erosivo estudiado: regueros, cárcavas, zonas de acumulación y deflación, remoción superficial y suelos desnudos de vegetación y presencia de médanos y dunas. Esta interpretación permitió determinar que UCS estaban afectadas y por cuál de los dos grados definidos: Ligero-Moderado y Severo-Grave.

Luego se realizaron comparaciones con cartografías de erosión eólica a nivel provincial de diferentes escalas, realizada por expertos locales a los efectos de verificar y/o ajustar los resultados propios, atentos a las diferentes escalas de estudio. Se logró así vincular la potencialidad de los SIG con el expertis o pericia de edafólogos que participaron en el levantamiento y elaboración de la información utilizada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos que surgen de la investigación realizada, indican que se registró un importante crecimiento de los procesos eólicos a nivel nacional, afectando un total de 104.482.002 has., de las cuales 80.789.023 has poseen erosión ligera-moderada y 23.692.979 has. severa-grave (**Tabla I**). Ello representa un 37% de la superficie del territorio nacional afectado por erosión eólica en algún grado. En la **Fig. 1**, se muestra un mapa de la Argentina con las superficies afectadas

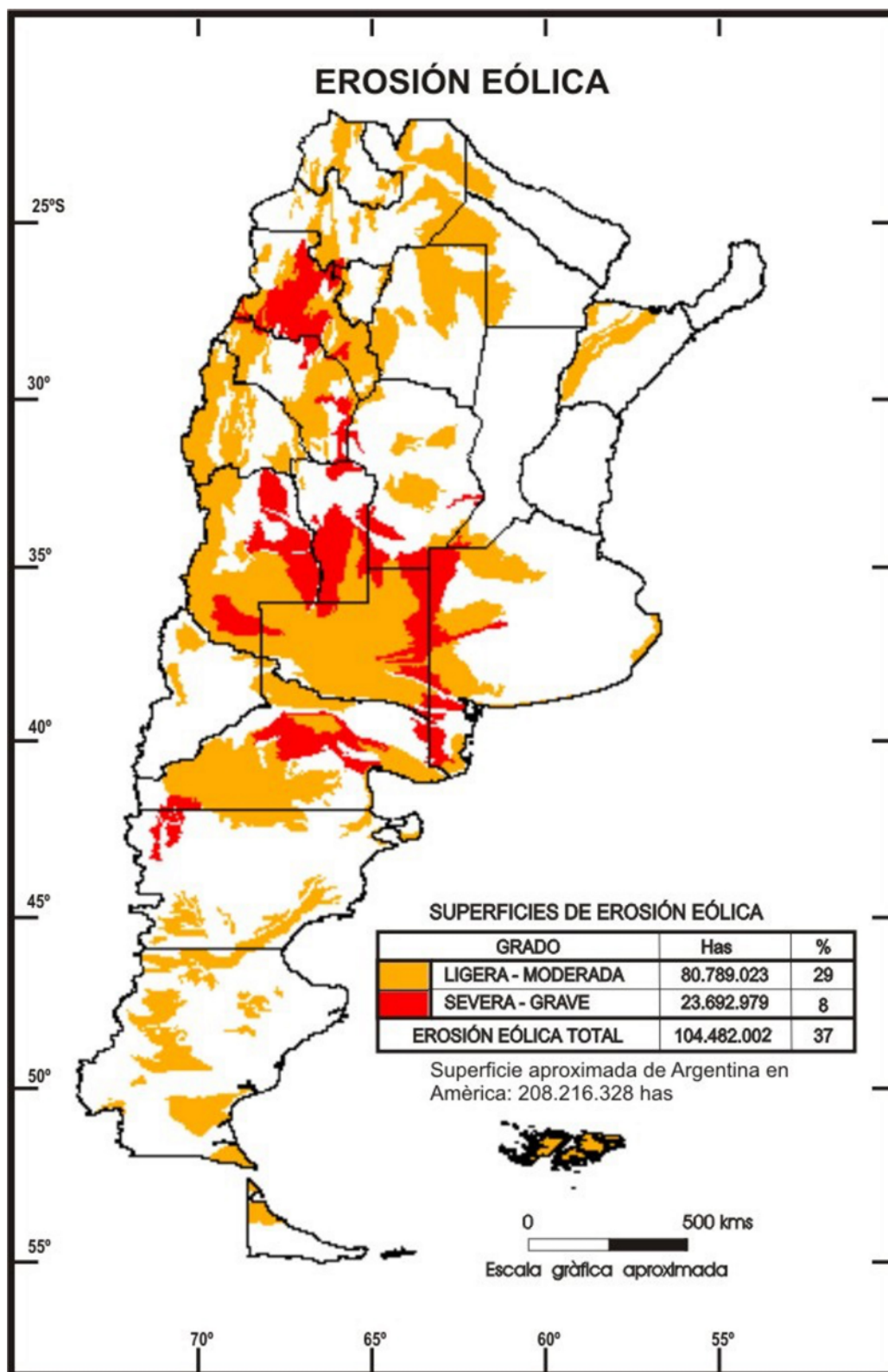


Figura 1 Mapa de superficies afectadas por erosión eólica en la República Argentina, en grados ligera-moderada y severa-grave. Evaluación correspondiente al año 2022.

Tabla I: Superficie afectada por erosión eólica en sus grados ligera-moderada y severa-grave de las provincias de la República Argentina. Evaluación correspondiente al año 2022.

Provincia	Grado Erosión Ligera – Moderada		Grado Erosión Severa – Grave		Área total afectada por erosión eólica	
	ha	%	ha	%	ha	%
Buenos Aires	5.573.452	18	2.996.738	10	8.570.190	28
Córdoba	2.686.314	16	1.505.021	9	4.191.335	25
Catamarca	3.886.953	38	3.828.505	37	7.715.458	75
Chaco	2.823.708	28	-	-	2.823.708	28
Chubut	3.741.997	17	676.396	3	4.418.393	20
Corrientes	2.158.314	24	-	-	2.158.314	24
Entre Ríos	-	-	-	-	-	-
Formosa	685.817	9	-	-	685.817	9
Jujuy	1.798.784	33	-	-	1.798.784	33
La Pampa	11.079.207	77	2.624.195	18	13.703.402	95
La Rioja	4.070.826	44	1.199.950	13	5.270.776	57
Mendoza	7.334.589	49	4.157.939	28	11.492.528	77
Misiones	-	-	-	-	-	-
Neuquén	1.006.819	11	-	-	1.006.819	11
Río Negro	9.817.612	48	3.207.581	16	13.025.193	64
Salta	5.242.022	33	98.214	1	5.340.236	34
San Juan	5.241.359	59	-	-	5.241.359	59
San Luis	1.199.733	16	3.195.661	42	4.395.394	58
Santa Cruz	5.778.310	24	-	-	5.778.310	24
Santa Fe	454.925	3	86.270	1	541.195	4
Santiago del Estero	5.233.346	38	-	-	5.233.346	38
Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur	394.883	12	-	-	394.883	12
Tucumán	580.053	25	116.509	5	696.562	30
Totales	80.789.023	29	23.692.979	8	104.482.002	37

tadas por erosión eólica en grados Ligera-Moderada y Severa-Grave.

El artículo efectúa una sucinta descripción del proceso de erosión eólica, sus principales causas y superficie afectada en cada una de las provincias.

La región Noroeste Argentino (NOA) está integrada para su análisis con la Provincias de Salta, Jujuy, Catamarca, Santiago del Estero y Tucumán. Las superficies afectadas por

erosión hídrica en cada provincia y su cartografía se observan en la **Tabla I** y **Fig. 1**, respectivamente.

En la Provincia de Salta, los cambios en el uso del territorio, comprometen la sustentabilidad, por la intensa agriculturización que ha aumentado los procesos erosivos. El avance de la frontera agropecuaria, acelerado en los últimos años por el cultivo de soja, con poca rotación con maíz o sorgo, incrementó los problemas de degradación, debido a la fra-

gilidad ecológica de las tierras incorporadas a la explotación (Osinaga et al., 2015). De acuerdo a la información que surge de la presente investigación la superficie provincial afectada por erosión eólica es de 5.340.236 has correspondiendo un 33% a los grados ligera-moderada y un 1 % a severa-grave. En la Provincia de Jujuy, las regiones Puna y Quebrada son las únicas donde existen manifestaciones de erosión hídrica y eólica en diferentes grados de afectación (Torres et al., 2015). El sobrepastoreo del Pastizal de Altura, la sobreexplotación de especies forestales de valor económico, asociados a la erosión grave, se localiza en las cuencas superiores de los ríos Negro, Ledesma, San Lorenzo, de los Berros, Zora y de Las Piedras. Las principales acciones antrópicas que aceleran los procesos erosivos, son el mal manejo de la cubierta vegetal sea ésta por sobreexplotación o sobrepastoreo en suelos con pastura natural, y las labranzas inadecuadas en áreas destinadas a la producción agrícola. La superficie provincial afectada por procesos eólicos es de 1.798.784 has. en grado ligero-moderado.

En la Provincia de Catamarca, en su mayor parte se trata de una erosión natural dada por el clima dominante árido y ventoso. La erosión eólica se manifiesta como médanos vivos que se forman por acción del viento que cubren extensas superficies que incluyen áreas de cultivo, ganaderas y de poblaciones, causando severos daños (Guichón et al., 2015). Los sectores más afectados por la erosión eólica son aquellas donde predomina la aridez, como las regiones del Monte, Prepuna, y Puna (región Oeste y Puna). La superficie afectada es de 7.715.458 has., con un 38% en grado ligero-moderado y un 37%, severo-grave.

En la Provincia de Santiago del Estero, los procesos intensos de desmonte con eliminación del bosque xerófilo semiárido y el crecimiento desmesurado de la actividad agrícola durante el período 1971-2001, período más lluvioso del siglo pasado, determinaron un incremento de los procesos eólicos e hídricos (Acuña et al., 2004). Se produjo un cambio en el uso de la tierra y disminución de la cobertura con vegetación natural con avance de la agricultura sobre suelos desmontados y ganaderos-mixtos (Angueira et al., 2007; Volante et al. 2012). Este cambio se reflejó principalmente en el crecimiento del área cultivada donde prevalecieron cultivos como soja, maíz, algodón y trigo con incremento de los procesos eólicos. Posee 5.233.346 has. afectadas por erosión eólica,

que representa un 38 % de la provincia, en grado ligera-moderada.

En la Provincia de Tucumán, en la llanura Chacopampeana hay aproximadamente 250.000 hectáreas dedicadas a la agricultura de granos, un 80% de las cuales se ubica en áreas subhúmedas secas y semiáridas. La fuerte expansión de la frontera agrícola se basó fundamentalmente en el monocultivo de la soja y del poroto, y aceleró los procesos erosivos y de degradación física, química y biológica de los suelos de la región (Zuccardi et al., 1988; Dantur et al. 1989). La superficie afectada por erosión eólica es de 696.562 has correspondiendo un 25% a ligera-moderada y un 5% a severa-grave.

La región Noreste Argentino (NEA) se integra con las provincias de Corrientes, Chaco y Formosa. Las superficies afectadas por erosión eólica y su extensión en el territorio se observan en la **Tabla I** y **Fig. 1**, respectivamente.

En la Provincia de Corrientes coexisten la erosión hídrica y la eólica. A pesar de que Corrientes se define como una llanura bajo clima predominante subtropical húmedo, existen ambientes que contienen suelos susceptibles a la erosión hídrica principalmente y eólica en menor medida. Si se contempla un probable escenario de expansión agrícola, los procesos eólicos pueden incrementarse en suelos con riesgos moderados a altos, si no se prevén prácticas sustentables de manejo de suelos (Ligier et al., 2015). La erosión eólica en la provincia cubre una superficie de 2.158.314 has. que representa un 24% de su superficie, en grado ligera-moderada.

Los procesos erosivos en la provincia de Formosa tienen su origen más importante en la explotación forestal, el desmonte y el sobrepastoreo (Baridón, 2015). Las zonas con distintos grados de erosión eólica, ubicadas principalmente en el oeste provincial, constituyen un área con alto riesgo de desertificación (Casas y Puentes, 2009). Los procesos eólicos en grado ligero-moderado abarcan 685.817 has., lo cual representa un 9% de la superficie provincial.

En la Provincia del Chaco, la expansión de la agricultura hacia el oeste, provocó un cambio en la cobertura del suelo con eliminación de masas boscosas que atenuaban el efecto de las precipitaciones y los vientos sobre suelos muy vulnerables, de texturas limosas a franco arenosas, moderado contenido de materia orgánica y baja estabilidad estructural.

La erosión eólica, se encuentra en una etapa de fuerte desarrollo sobre todo en el Chaco Semiárido y en el Chaco Subhúmedo. En estas áreas es donde se produjo la mayor expansión de la agricultura a expensas de la desaparición paulatina del bosque chaqueño (Zurita, 2015). La erosión eólica afecta 2.823.708 has., en grado ligera-moderada, representando un 28% de la superficie provincial.

El sector de la región Pampeana afectado por procesos eólicos está referido a las provincias de Buenos Aires, Córdoba y la Pampa, ya que la provincia de Entre Ríos no presenta erosión eólica de sus suelos y en la Provincia de Santa Fe la incidencia de este proceso es muy escasa en magnitud y extensión. Las cifras de la superficie erosionada y zonas afectadas en cada provincia se observan en la **Tabla I y Fig. 1**. En la Provincia de Buenos Aires, durante las tres últimas décadas, se registró una mayor intensidad de uso agrícola del suelo, y mayor concentración ganadera. La falta de rotaciones, la tercerización del uso del suelo y la desmedida demanda de rastrojos por parte de la ganadería concentrada, contribuyen a la presencia de un nuevo escenario en donde los procesos de degradación del suelo van evidenciando una dinámica diferente. Se están desarrollando en general, procesos de compactación y desestructuración que contribuyen a disminuir la infiltración, la percolación y la retención de agua en el suelo. En áreas del oeste y sudoeste, en donde la ocurrencia de períodos con déficits hídricos es probable y frecuente, se incrementa la susceptibilidad a la erosión eólica (Sfeir, 2015). La provincia posee 8.570.190 has afectadas por erosión eólica, 18 % en grado ligero-moderado y 10 % en grado severo-grave.

En la Provincia de Córdoba, el proceso de erosión eólica es típico del oeste y sudoeste de la provincia, principalmente en los Departamentos General Roca, Río Cuarto, Juárez Celman y Tercero Arriba. El fenómeno de la migración de la producción de maní hacia los Departamentos Río Cuarto, Juárez Celman y General Roca incrementó la susceptibilidad de los suelos y la frecuencia de ocurrencia del fenómeno de “voladuras”, en especial en la etapa invernal luego del arrancado del maní y particularmente en años secos (Cisneros et al, 2015). La superficie afectada es de 4.191.335 has, correspondiendo un 16% al grado ligera-moderada y un 9% a severa-grave de la provincia.

En la Provincia de La Pampa, el proceso de erosión eólica

está ampliamente extendido en la mayor parte de su territorio. La parte central es ocupada por el ecosistema natural del Caldenal que posee una relativa alta cobertura con especies arbóreas, arbustivas y herbáceas y que se destina a la ganadería extensiva. Es aquí donde existe más presión de la agricultura para forzar desmontes y transformar sistemas silvopastoriles extensivos en agrícolas para cultivos de cosecha. En esta zona los procesos de erosión hídrica coexisten con los de erosión eólica (Quiroga et al, 1999). Las áreas altamente susceptibles a erosión eólica están ubicadas al este de la provincia, comprendiendo principalmente los departamentos de Chapaleufú, Maracó, Quemú Quemú y Realicó, donde la superficie ocupada por suelos altamente susceptibles supera el 50%, llegando a más del 90%. Justamente ésta es la región mejor dotada para la producción de cultivos de cosecha desde el punto de vista climático, pero existe un período crítico para la ocurrencia de erosión entre los meses de agosto y octubre (Buschiazzo et al, 2015). Los procesos eólicos están muy extendidos, abarcando 13.703.402 has, correspondiendo un 77% al grado ligera-moderada y un 18% a severa-grave.

La región de Cuyo abarca las Provincias de La Rioja, Mendoza, San Juan y San Luis. Las superficies afectadas con erosión eólica y las zonas afectadas se observan en la **Tabla I y Figura 1**, respectivamente.

En la Provincia de La Rioja, todo el territorio presenta una gran fragilidad ambiental y la erosión eólica genera degradación en grado ligero. Las regiones plano-cóncavas están expuestas a evaporación y concentración de sales en superficie, cuando el nivel freático está cerca de la superficie y la pérdida de cobertura genera ascenso capilar y salinización superficial (Sfeir y Canelo, 2015). Así, las áreas con escasa cobertura vegetal se tornan más susceptibles a erosión eólica. La Rioja tiene afectada 5.270.776 has por procesos eólicos, correspondiendo un 44% a erosión ligera-moderada y un 13% a severa-grave.

En la Provincia de Mendoza la actividad ganadera constituye un factor importante de presión sobre las áreas no irrigadas, generando sobrepastoreo en la mayoría de los casos, dado que se supera la capacidad de carga de los campos. El ganado mayor se concentra en las llanuras del centro-este y sur y en algunos valles cordilleranos privilegiados. En el resto del territorio no irrigado se desarrolla sólo ganadería exten-

siva de caprinos. En la montaña, la destrucción de vegas y mallines por sobrepastoreo, asentamientos humanos y la realización de acciones vinculadas a la actividad petrolera, constituye una importante pérdida de recursos de suelo y agua. Otro factor que afecta a los ecosistemas de montaña, piedemontes y llanuras, son los incendios, los cuales dejan grandes superficies de suelo desnudo, con largos períodos de recuperación de su biodiversidad (Abraham et al., 2015). Posee una superficie afectada de 11.492.528 has, correspondiendo un 49% a erosión ligera-moderada y un 28% a severa-grave.

En la Provincia de San Juan, en los oasis principales las actividades son agrícolas, ganaderas, industriales cementeras y caleras. Las actividades agrícolas se dedican principalmente a la producción de variedades de vides para vinos finos de exportación y uvas de mesa, habiéndose incrementado la superficie cultivada con olivos para aceites y aceitunas de exportación. En algunos valles como el Gran Bajo Oriental, al este de las sierras de Valle Fértil-La Huerta, los suelos sufren deterioros por el pisoteo de los animales y su alimentación exclusiva de pastos, acentuando la erosión de suelos. La erosión eólica predomina en el tercio este del territorio provincial, particularmente en la llanura de los ríos Zanjón-Bermejo-Desaguadero, regiones intermontanas hiper-áridas (Suvires, 2015). La erosión eólica afecta 5.241.359 has., en grado ligera-moderada, lo que representa un 59% de la superficie provincial.

En la Provincia de San Luis, entre las principales causas de la degradación y erosión del suelo se puede mencionar: el cambio en el uso de la tierra, el manejo inadecuado del suelo y una escasa adaptación de los sistemas productivos a la alta variabilidad ambiental. El reemplazo de sistemas ganaderos por sistemas agrícola – mixtos aumentó el porcentaje de suelo desnudo, incrementando los riesgos de erosión eólica (Demaria y Aguado Suárez, 2013). También existe un desplazamiento y concentración de la ganadería en zonas más marginales, en general hacia el oeste de la provincia, que produce incrementos en los niveles de suelo desnudo debido al sobrepastoreo de los pastizales naturales. Recientemente, y previo a la reglamentación de su cultivo, fuertes eventos de erosión eólica fueron producidos por la introducción del maní en la provincia (Colazo et al., 2015). El mayor riesgo a la erosión eólica está asociado a los suelos de la

planicie arenosa del sur de la provincia (Barbosa et al., 2013). La superficie afectada por erosión eólica es de 4.395.394 has., un 16 % en grado ligera-moderada y un 42 %, severa-grave.

La región Patagónica está compuesta por las Provincias de Río Negro, Chubut, Santa Cruz y Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur. La Provincia de Neuquén, no está afectada por procesos eólicos. Las superficies erosionadas en cada provincia y su extensión, se observan en la **Tabla 1** y **Fig. 1**, respectivamente.

En la Provincia de Río Negro los procesos de erosión eólica se ven favorecidos por los vientos intensos que son una característica distintiva del clima patagónico. Las formas más notables de manifestación de este tipo de procesos son las lenguas de erosión, que se extienden en el sentido de los vientos dominantes visibles en imágenes satelitales. Se destacan las lenguas en formas de barrido que nacen en las escarpas de erosión en el sector norte de la Meseta de Somuncurá y los campos de médanos originados en la costa norte del golfo San Matías señaladas por Rostagno et al. (2004). El sobrepastoreo de los pastizales puede verse como un disturbio difuso y generalizado que llevó, entre otras consecuencias, a la reducción de la cobertura vegetal y por lo tanto a una mayor exposición del suelo a los agentes climáticos. Otros disturbios de origen antrópico, contribuyeron también a la pérdida de cobertura vegetal, principalmente la extracción de leña y la quema de campos. El impacto de la actividad petrolera es de tipo localizada pero de características severas, ya que implica la remoción total de la vegetación e incluso del suelo en las áreas de pozos, picadas de prospección y en la red de caminos y ductos (Bran et al., 2015). La Región Extra Andina de Río Negro (exceptuando también los grandes valles) está sometida a un proceso crónico de desertificación (Ayesa et al., 1995; del Valle et al., 1998). Posee afectadas con erosión eólica 13.025.193 has, correspondiendo un 48% a ligera-moderada y un 16 % a severa-grave.

En la Provincia de Chubut, la desertificación es causada por el sobrepastoreo y la sequía, siendo las principales causas de degradación. Sin embargo hay otras actividades humanas que producen degradación de los suelos: incendios, desmonte de arbustos para leña, actividades petroleras y viales. En la zona cordillerana se observan como causales de la de-

gradación, los incendios forestales y la falta de compatibilización en los distintos usos de la tierra (Salomone et al., 2015). La erosión eólica se ubica mayoritariamente en el sudoeste provincial, en los departamentos Río Senguer y Sarmiento. También se aprecian formaciones de dunas en la Península Valdés en el departamento Biedma. La actividad petrolera se concentra en el sudeste de la provincia, en los departamentos Escalante y Sarmiento. Esta provincia tiene una superficie afectada de 4.418.393 has, correspondiendo un 17% a ligera-moderada y un 3% a severa-grave.

En la Provincia de Santa Cruz, los intensos vientos son un factor de degradación muy importante especialmente en suelos de textura gruesa, ya que las arenas y los limos son fácilmente transportables. Los suelos de Santa Cruz tienen poca protección contra los efectos del arrastre eólico ya que la cobertura vegetal es apenas superior al 40% en las regiones de la Meseta Central, el Golfo San Jorge y Sierras y Mesetas Occidentales, que ocupan cerca de la mitad de la superficie (Ferrante et al., 2014; Oliva et al., 2015). En las mesetas y terrazas de escasa pendiente y de drenaje poco desarrollado, que acumulan agua en lagunas temporarias, se forman cubetas de deflación. Al secarse éstas durante el verano los sedimentos se movilizan por acción del viento, acumulándose en lenguas de diverso tamaño. La erosión eólica predomina en las cabeceras de los grandes lagos, en la Estepas Magallánicas hacia el sur de la región, y en el extremo NO en la zona de Sierras y Mesetas Occidentales. Los procesos eólicos cubren 5.778.310 has en grado ligera-moderada, afectando al 24% de la superficie de la provincia. En la Provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur, en la estepa magallánica de la Isla Grande, el efecto del pastoreo sobre los suelos y la vegetación resulta evidente luego de más de un siglo de uso generando erosión eólica especialmente en el sector norte. La actividad hidrocarbúrfica, genera focos erosivos y sitios fuertemente compactados, generados a partir de antiguas líneas sísmo-gráficas, caminos, canteras, tendidos de gasoductos/oleoductos y locaciones (Bianciotto et al., 2015).

En Islas Malvinas, la erosión y degradación de los suelos es amplia y activa, pero desigual en su distribución especialmente en aquellos desarrollados sobre materiales arenosos. Parte de la erosión del suelo es natural, mientras que otra se debe a las prácticas de manejo para la producción gana-

dera debido al aumento creciente de la carga animal (Goddagnone y de la Fuente, 2015). La superficie afectada en toda esta provincia es de 394.883 has, en grado ligera-moderada, representando un 12% de su superficie.

CONCLUSIONES

La erosión eólica a nivel nacional, afecta un total de 104.482.002 has lo cual representa un 37% de la superficie del territorio nacional. La extensión de este proceso degradatorio adquiere particular relevancia al considerar que los suelos más productivos del país se formaron sobre materiales loessicos de alta susceptibilidad a la erosión.

La situación consignada determina la necesidad de implementar sistemas de uso y manejo del suelo sustentables. Esta afirmación asume una particular importancia tomando en cuenta la variabilidad climática, con posibles incrementos de eventos extremos tales como lluvias torrenciales y sequías, que podrán aumentar en intensidad y en frecuencia de ocurrencia.

Contar con un mapa de pequeña escala sobre extensión e intensidad del proceso de erosión eólica, es relevante para priorizar áreas afectadas, planificar el ordenamiento del uso del suelo y establecer programas de conservación del recurso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abraham E. M., C. Rubio, M. C. Rubio, D. Soria y M. Salomón. 2015. Provincia de Mendoza. En: El deterioro del suelo y del ambiente. Tomo II; Parte 7. Erosión y degradación de suelos. Editorial FECIC. Buenos Aires. Argentina. p. 175-186.
- Acuña L., J. Minetti J. y C. Angueira. 2004. La expansión agrícola y clima asociado. X Reunión argentina y IV Latinoamericana de Agrometeorología. Mar del Plata. Argentina. En soporte CD.
- Ameghino F. 1884. Las secas y las inundaciones en la Provincia de Buenos Aires. Obras de retención y no de desague. Ministerio de Asuntos Agrarios de la Provincia de Buenos Aires (5ª reimpresión, 1984). Argentina. 63 p.
- Angueira C., Prieto D., López J. y G. Barraza. 2007. SigSE V2.0. Sistemas de Información Geográfica de Santiago del Estero. INTA EEA Santiago del Estero. Edición INTA. ISBN 987-521-170-2.

- Ayesa J., D. Bran., C. López, A. Cingolani, G. Eiden , S. Clayton y D.Sbriller. 1995.- Evaluación y cartografía del estado actual de la desertificación en la transecta Río Negro; en INTA-GTZ (ed.), Lucha contra la desertificación en Patagonia a través de un Sistema de Monitoreo Ecológico (LUDEPA-SME). Evaluación del estado actual de la desertificación en áreas representativas de la Patagonia. Informe Final de la Fase I. Capítulo IV.4: p 153-178.
- Barbosa, O.A., N. Belgrano Rawson , C. Larrusse, F. A. Solari y J.C. Colazo. 2013. Utilización de SIG para cartografiar R y K de la EUPS para la provincia de San Luis. En: Actas del XLII Congreso Brasileiro de Engenharia Agrícola (en CD). Baridón J. E. 2015. Provincia de Formosa. En: El deterioro del suelo y del ambiente. Tomo II; Parte 7. Erosión y degradación de suelos. Editorial FECIC. Buenos Aires. Argentina. p. 121-130.
- Bianciotto O. A., E. C. E. Livraghi, A. Y. Blessio y E. J. Frers. 2015. Provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur. En: El deterioro del suelo y del ambiente. Tomo II; Parte 7. Erosión y degradación de suelos. 1, Isla Grande de Tierra del Fuego. Editorial FECIC. Buenos Aires. Argentina. p. 303-320.
- Bran D. E., C. R. López, J. A. Ayesa, J. J. Gaitán, F. Umaña y S. Quiroga. 2015. Provincia de Río Negro. En: El deterioro del suelo y del ambiente. Tomo II; Parte 7. Erosión y degradación de suelos. Editorial FECIC. Buenos Aires. Argentina. p. 213-224.
- Buschiazzo D. E. y S. B. Aymar. 2003. Erosión eólica: procesos y predicción. En: A.D. Golberg y A. G. Kin. Eds. Viento, Suelo y Planta. Ed. INTA. Buenos Aires Argentina. 130 p
- Buschiazzo D.E., Roberto Z.E., Colazo J.C. y J.E. Panebianco. 2015. Provincia de La Pampa. En: El deterioro del suelo y del ambiente. Tomo II; Parte 7. Erosión y degradación de suelos. Editorial FECIC. Buenos Aires. Argentina. p. 141-153.
- Buzai, G. y Baxendale, C. (2011). "Análisis Socio espacial con Sistemas de Información Geográfica: Perspectiva Científica, Temáticas de Base Raster". Editorial Lugar, Argentina.
- Casas R.R y M.I. Puentes. 2009. Expansión de la frontera agrícola en la región chaqueña: impacto sobre la salud de los suelos. En El Chaco sin bosques: la Pampa o el desierto del futuro. Ed.: Jorge H. Morello y Andrea F. Rodriguez. GE-PAMA – UNESCO. Orientación Gráfica Editora. p. 247-270.
- Casas R.R. 2015. La erosión del suelo en la Argentina. En: El deterioro del suelo y del ambiente. Tomo II; Parte 7. Erosión y degradación de suelos. Editorial FECIC. Buenos Aires. Argentina. p. 433-452.
- Casas R.R. 2017. La degradación del suelo en la Argentina. En: Manejo y conservación de suelos. Con especial énfasis en situaciones argentinas. Editora: Mabel E. Vazquez. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires. Buenos Aires. Argentina. 386 p.
- Chuvieco, E.; 2006. Teledetección Ambiental: la observación de la Tierra desde el Espacio. Ariel., 586 p.
- Cisneros J. M., A. J. Degioanni, J. G. Gonzalez, C. G. Cholaky, J. J. Cantero, A. Cantero Gutierrez, y J. L. Tassile. 2015. Provincia de Córdoba. En: El deterioro del suelo y del ambiente. Tomo II; Parte 7. Erosión y degradación de suelos. Editorial FECIC. Buenos Aires. Argentina. p. 87-100.
- Colazo J.C., Panebianco J.E., Del Valle H.F., Godagnone R.E., y D.E. Buschiazzo. 2008. Erosión eólica potencial de suelos de Argentina. Efecto de registros climáticos de distintos periodos. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, Provincia de San Luis, Argentina. 7 p.
- Colazo J. C., O. Barbosa, J. M. C. de Dios Herrero y C. Sáenz. 2015. Provincia de San Luis. En: El deterioro del suelo y del ambiente. Tomo II; Parte 7. Erosión y degradación de suelos. Editorial FECIC. Buenos Aires. Argentina. p. 247-254.
- de Oro L.A., AVECILLA F., ITURRI L.A., PANEBIANCO J.E., MENDEZ M.J., AIMAR S.B. y D.E. BUSCHIAZZO. 2017. Erosión Eólica y su control. En: Manejo y Conservación de Suelos: con especial énfasis en situaciones Argentinas. Ed. Vazquez M.E. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo – Facultad de ciencias Agrarias y Forestales de la UNLP – INTA. p. 67-93.
- Dantur, N., C. Hernández, M. Casanova, V. Bustos y L. Guzmán. 1989. evolución de las propiedades de los suelos en la región de la Llanura Chacopampeana de Tucumán, bajo diferentes alternativas de producción. Rev. Ind. Agrícola de Tucumán, 66 (1) 32-60.
- Darwin C. 1845. Journal of research into the natural history and geology of the countries visited during the voyage of H.M.S. Beagle round the world, under the Command of Capt. Fitz Roy, R.A. Second Edition. London: John Murray, Albermarle Street. 507 p.
- Del Valle H., N. Elissalde, D. Gagliardini y J. Milovich 1998:

Status of desertification in the Patagonian region: Assessment and mapping from satellite imagery, *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 12(2):1-27.

- Demaría, M.R. y Aguado Suárez, I. (2013): “Dinámica espacio-temporal del porcentaje de suelo desnudo en pastizales semiáridos de Argentina”, *GeoFocus (Artículos)*, n° 13-2, p.133-157.
- División de Conservación y Mejoramiento de Suelos. 1945. El cultivo bajo cubierta. Tirada interna 4. Instituto de Suelos y Agrotecnia. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Buenos Aires. Argentina. 11 p.
- Ferrante, D., G. Oliva, y R. Fernández. 2014. Soil water dynamics, root systems, and plant responses in a semiarid grassland of Southern Patagonia. *Journal of Arid Environments* 104:52-58.
- Godagnone, R.E., Bertola H. y M. Ancarola. 2002. Mapa de Suelos de la República Argentina. INTA-IGM. Instituto de Suelos, CIRN, INTA. Buenos Aires. Argentina.
- Godagnone, R.E & J. C. de la Fuente. 2018. Recursos de Argentina en un SIG. Geomorfología, Suelos Vegetación y Uso, escala de reconocimiento 1:2.500.000. INTA. Buenos Aires. Argentina.
- Godagnone R. E. y J. C. de la Fuente. 2015. Provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur. En: El deterioro del suelo y del ambiente. Tomo II; Parte 7. Erosión y degradación de suelos; 2, Antartida; 3, Islas Malvinas. Editorial FECIC. Buenos Aires. Argentina. p. 321-334.
- Guichón B., Pernasetti O.B., Watkins P.H. y A. Quiroga. 2015. Provincia de Catamarca. . En: El deterioro del suelo y del ambiente. Tomo II; Parte 7. Erosión y degradación de suelos. Editorial FECIC. Buenos Aires. Argentina. p. 49-64.
- Instituto de Suelos y Agrotecnia. 1948. La erosión eólica en la Región Pampeana y plan para la conservación de los suelos. Publicación Miscelanea 303; Ministerio de Agricultura y Ganadería. Buenos Aires. Argentina. 235 p.
- Ligier H. D., A. R. Pucca y D. B. Kurtz.. 2015. Provincia de Corrientes. En: El deterioro del suelo y del ambiente. Tomo II; Parte 7. Erosión y degradación de suelos. Editorial FECIC. Buenos Aires. Argentina. p. 101-110.
- Natural Resources Conservation Service, USDA. 1999. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys, 2nd edition. Agricultural Handbook 436, Washington DC, USA, 869 p.
- Nuñez M.N. y A.L. Rolla. 2015. Cambio Climático esperado en la Argentina . En: El deterioro del suelo y del ambiente. Editorial FECIC. Tomo I. Parte 2, Agricultura y Ambiente. Editorial FECIC. Buenos Aires. Argentina. p. 125-138.
- Oliva G.E., Paredes P.N. y V.A. Torres. 2015. Provincia de Santa Cruz. . En: El deterioro del suelo y del ambiente. Tomo II; Parte 7. Erosión y degradación de suelos. Editorial FECIC. Buenos Aires. Argentina. p. 255-273.
- Osinaga R. G., F. R. Rivelli, N. A. Osinaga y J. L. Arzeno. 2015. Provincia de Salta. En: El deterioro del suelo y del ambiente. Tomo II; Parte 7. Erosión y degradación de suelos. Editorial FECIC. Buenos Aires. Argentina. p. 225-234.
- Prego A.J. 1988. Antecedentes sobre erosión, degradación ambiental y conservación del suelo. En: El deterioro del ambiente en la Argentina. Centro para la Promoción de la Conservación del Suelo y del Agua (PROSA) – Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura (FECIC). Buenos Aires. Argentina. 497 p.
- Prieto Garra D., R. Sanchez y R. S. Martinez. 2015. Las áreas de riego y la degradación de los suelos. En: El deterioro del suelo y del ambiente. Editorial FECIC. Tomo I, Parte 3, El agua en la producción agropecuaria. Editorial FECIC. Buenos Aires. Argentina. p. 319-350.
- Quiroga A., Buschiazzo D. y N. Peinemann. 1999. Soil compaction is related to management practices in the semiarid argentine pampas. *Rev. Soil and Tillage Research*. 52: 21-28.
- Rostagno, C. M., H. F. del Valle y D. Buschiazzo 2004: Erosión eólica. En M. A. González y N. J. Bejerman (eds.), pp. 112-137, Peligrosidad Geológica en Argentina, Metodología de análisis y mapeo. Publicación especial Nro. 4, Asociación Argentina de Geología aplicada a la Ingeniería. ISBN 987-21766-0-4.
- Salomone J., M. E. Llanos, N. Elissalde y S. J. Behr. 2015. Provincia del Chubut. En: El deterioro del suelo y del ambiente. Tomo II; Parte 7. Erosión y degradación de suelos. Editorial FECIC. Buenos Aires. Argentina. p. 77-86.
- Sfeir A. 2015. Provincia de Buenos Aires. En: El deterioro del suelo y del ambiente. Tomo II; Parte 7. Erosión y degradación de suelos. Editorial FECIC. Buenos Aires. Argentina. p. 31-63.
- Sfeir A. J., H. N. Canelo. 2015. Provincia de La Rioja. En: El deterioro del suelo y del ambiente. Tomo II; Parte 7. Erosión

y degradación de suelos. Editorial FECIC. Buenos Aires. Argentina. p. 155-174.

- Suvires G. M. 2015. Provincia de San Juan. En: El deterioro del suelo y del ambiente. Tomo II; Parte 7. Erosión y degradación de suelos. Editorial FECIC. Buenos Aires. Argentina. p. 235-246.

- Torres C. G., G. S. Fernandez y L. Diez Yarade. 2015. Provincia de Jujuy. En: El deterioro del suelo y del ambiente. Tomo II; Parte 7. Erosión y degradación de suelos. Editorial FECIC. Buenos Aires. Argentina. p. 131-140.

- Viglizzo E.F. y F.C. Frank. 2015. Dinámica territorial de la producción agropecuaria en Argentina: Impacto ecológico-ambiental. En: El Deterioro del Ambiente en la Argentina. Editorial FECIC. Buenos Aires. Argentina. p. 139-166.

- Volante J.N., Mosciaro M.J., Alcaraz Segura D., Vale L.M., Viglizzo E.F., y J.M. Paruelo. 2012. Ecosystem functional changes associated with land clearing in NW Argentina. *Agric. Ecosyst. Environ.* 154:12-22.

- Zuccardi, R. B., J. R. García, C. Molina, M. Cáceres, C. Bleckwedel, D. Giménez y G. A. Sanzano. 1988. La expansión de la frontera agropecuaria y los impactos sobre el ecosistema de la provincia de Tucumán. En *El Deterioro del Ambiente en la Argentina*. Editorial FECIC. Buenos Aires. Argentina. p. 225- 232.

- Zurita J. J. 2015. Provincia del Chaco. En: El deterioro del suelo y del ambiente. Tomo II; Parte 7. Erosión y degradación de suelos. Editorial FECIC. Buenos Aires. Argentina. p. 65-76.