

Artículo original

Evaluación y cartografía de la erosión hídrica en la Argentina

Evaluation and mapping of water erosion in Argentina

Roberto R. Casas^{1,2}, Rubén E. Godagnone¹ y Juan C. de la Fuente³

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

2. Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura -FECIC-

3. Instituto de Suelos del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria -INTA-

Manuscrito recibido: 12 de septiembre de 2022; aceptado para publicación: 7 de noviembre 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

La intensificación agrícola y la expansión de la agricultura hacia ecosistemas de mayor fragilidad están produciendo un incremento de los procesos de erosión hídrica de los suelos, ocasionando la disminución de su productividad y un impacto negativo sobre el ambiente. El presente artículo analiza el proceso de la erosión hídrica sobre los suelos de las diferentes regiones del territorio nacional, realizando una evaluación de la superficie erosionada según grados de intensidad 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 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. 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 por erosión actual, 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 hídrica del suelo, degradación de suelos, evaluación de erosión hídrica del suelo.

Abstract

The intensification of agriculture and the expansion of production systems towards more fragile ecosystems are increasing the processes of water erosion of soils, causing a decrease in their productivity and a negative impact on the environment. In this article, the process of water erosion on the soils of the different regions of the national territory is analyzed, carrying

out an evaluation of the eroded surface according to degrees of intensity in each province and its cartography at a scale of 1:5,000,000. The information provided by the Soil Map of Argentina at a scale of 1:2,500,000 and its digital version constituted by the Geographic Information System of Argentine Soils (SIGSA), at a scale of 1:2.500.000, and its associated Soil Attributes Database (BDAS), were considered as reference. 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 area affected by current water erosion and the intensity of the process is of fundamental importance for planning, territorial ordering and implementation of programs for the conservation and sustainable use of soils, by national, provincial and municipal agencies.

Key words: *Soil water erosion, soil degradation, soil water erosion evaluation.*

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

INTRODUCCIÓN

Entre los procesos de degradación de las tierras que reducen parcial o totalmente su capacidad de provisión de bienes y servicios ecosistémicos con implicancias físicas, biológicas y sociales, se encuentra la erosión hídrica. Este proceso, es favorecido por condiciones intrínsecas y extrínsecas de los suelos tales como textura y estructura, cobertura vegetal y pendiente regional, entre otros. Debe considerarse que la erosión hídrica es el principal problema que compromete la sustentabilidad de los sistemas productivos al provocar la degradación permanente del suelo.

En función de los diferentes relevamientos y estimaciones realizados en el país, se observa que la erosión hídrica viene incrementándose desde la primera evaluación efectuada en 1956. En ese año, se informaron 18,2 millones de hectáreas afectadas, en lo que representó un relevamiento parcial del territorio (Instituto de Suelos y Agrotécnia, 1957). En la estimación efectuada en el año 2015 esta cifra ascendió a 63,1 millones de hectáreas, afectando un 23% del territorio nacional (Casas, 2015). Un estudio llevado a cabo mediante la utilización del modelo empírico Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) determinó que 72 millones de hectáreas presentan tasas de erosión hídrica que superan los valores tolerables, representando un 25,9% del territorio afectado (Gaitán et al., 2017).

Un análisis de los procesos erosivos de origen antrópico permite comprobar que los factores causales más importantes a nivel nacional son los siguientes: i) simplificación de la rotación de cultivos y monocultivo; ii) cambio de uso del suelo (desmonte y expansión de la frontera agropecuaria); iii) sobrepastoreo (Casas, 2015). En un segundo grupo, pero también de importancia para varias regiones, se consignan los incendios de bosques y pastizales, las labranzas inadecuadas y la actividad petrolera, debido principalmente al efecto negativo sobre la cobertura del suelo. Los incendios cobraron una gran significancia en los últimos años como factor de reducción de la cobertura del suelo y activador de los procesos erosivos (Salomone et al., 2015).

A lo largo de la historia agrícola en los agrosistemas pampeanos, alternaron períodos de incremento de la vulnerabilidad de los suelos y el ambiente, con períodos de ganancia en la calidad de los mismos. Las distintas situaciones tienen que ver con los conceptos de resiliencia y vulnerabilidad de los suelos, los cuales están íntimamente relacionados. El período que abarca desde 1880 hasta 1940 se evalúa como un período de “descarga ecológica” (Viglizzo, 1994) caracterizado por el sobreuso y mal uso de los suelos y el ambiente productivo. En una primera etapa, el elevado contenido de materia orgánica de los suelos vírgenes, y una agricultura que no había llegado a su etapa de expansión, permitieron

mantener los suelos productivos, con procesos degradatorios incipientes o localizados. Durante la década del 40, se logra paulatinamente estabilizar el ciclo de deterioro y erosión de los suelos. La sustitución creciente de cultivos de cosecha por alfalfa, la mayor superficie destinada a la ganadería, el mejor uso de los residuos de cosecha, los planes masivos de forestación, unido a la acción de experimentación y asesoramiento del Instituto de Suelos y Agroecología, permitieron generar este período de “reacción” traducido en un ciclo de recarga ecológica a partir de 1950 (Casas, 2001).

Este período de “recarga ecológica” se caracterizaba por la vigencia de un modelo mixto de explotación de la tierra. En el mismo, la alfalfa y la ganadería restituían la materia orgánica del suelo y devolvían el nitrógeno exportado con los granos, además de restablecer las condiciones físicas del suelo. Entre las décadas de los 50 y 60 se inicia un proceso de recuperación del ambiente productivo a partir de acciones públicas y privadas y la introducción de tecnologías conservacionistas. La creación del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Facultades de Agronomía, Grupos CREA (Consortios Regionales de Experimentación Agrícola) y la legislación conservacionista aplicada por algunos gobiernos provinciales, contribuyeron significativamente a consolidar este ciclo regenerativo de las propiedades edáficas (Viglizzo, 1994).

A partir de 1970 los suelos de la región Pampeana sufrieron una extraordinaria transformación de la actividad agrícola, caracterizada por el gran aumento de la producción, adopción de moderna tecnología, desarrollo de nuevas formas organizativas de la producción y un acelerado proceso de agriculturización que solamente en dicha región desplazó alrededor de 5 millones de hectáreas de uso ganadero a la agricultura. En la década de los 80, ya en pleno proceso de “agriculturización” de la Región Pampeana y ante el avance de los procesos degradatorios, cobra fuerza el concepto de agricultura conservacionista basado en la reducción de las labranzas, empleo del arado cincel (labranza vertical), cobertura superficial con residuos vegetales y rotaciones que incrementan el contenido de materia orgánica de los suelos (Casas, 1998). Comienza a difundirse el concepto de calidad del suelo que implica una visión global sobre la conservación, no solamente de su integridad física, sino de sus funciones.

Los conceptos sustentados desde la década de los 40 para controlar la erosión, basados en el mantenimiento de una cobertura (“mulch”) de rastrojos sobre el suelo y en el aumento de la infiltración, tuvieron en los ingenieros agrónomos Antonio J. Prego y Jorge Molina sus máximos referentes en cuanto a su predicamento y difusión. Estos conceptos y los concernientes a calidad del suelo, se integraron y plasmaron en el sistema de siembra directa, sobre el que el INTA inició investigaciones a través del Instituto de Ingeniería Rural y las Estaciones Experimentales de Pergamino y Marcos Juárez en la década de los 70 (INTA, 1977). El sistema comenzó a tener una fuerte difusión desde principios de los 90 merced al impulso brindado por la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (AAPRESID), que permitió alcanzar actualmente alrededor de 25 millones de hectáreas cultivadas con dicho sistema.

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. En forma simultánea la frontera agrícola se desplazó hacia zonas más frágiles, tradicionalmente mixtas o ganaderas, en muchos casos ocupadas por montes nativos (PROSA - FECIC, 2019).

La expansión de la frontera agrícola es un proceso dinámico condicionado básicamente por coyunturas favorables de precios y por la disponibilidad de tierras de menor precio y tecnologías adecuadas para su utilización. El proceso de expansión agrícola se produce por diversos frentes localizados principalmente en los bordes del Chaco semiárido, donde se observa en los últimos años una fuerte tendencia al monocultivo de soja. Corresponde a la etapa de “agriculturización” registrada entre los años 1975 y 1995 y posteriormente a la de “pampeanización” con la aplicación del modelo pampeano y uso intensivo del paisaje rural. En este contexto aparecen como temáticas muy sensibles, la simplificación del paisaje, pérdida de diversidad biológica, fragmentación de ambientes y de hábitat y la degradación de los suelos (Morello et al., 2006).

La expansión de la agricultura hacia ecosistemas de mayor fragilidad y su intensificación están produciendo un incremento de los procesos de erosión hídrica de los suelos, ocasionando la disminución de su productividad y un impacto negativo sobre el ambiente. Este proceso es acelerado por

el uso y manejo inadecuado de los suelos, produciéndose a una velocidad mayor que la de generación de un nuevo suelo (Cisneros, et al., 2017). Como ejemplos podemos citar la pérdida de productividad en maíz, trigo, girasol y soja (Scotta et al., 1991; Scotta y Garcarena, 1996; Paparotti et al., 1997; Scotta y Gvozdenovich, 2012; Gvozdenovich et al., 2015). En el norte de la Provincia de Buenos Aires se midieron disminuciones promedio de los rendimientos de soja, trigo y maíz de 175, 129 y 561 kg por cada centímetro del horizonte superficial del suelo perdido por erosión, respectivamente (Irrutia y Mon, 2000).

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 hídrica que afectan a los suelos de las diferentes regiones del territorio nacional, realizando una evaluación de la superficie erosionada en cada provincia y la cartografía a escala 1:5.000.000. El conocimiento de la intensidad del proceso y distribución espacial del área afectada por erosión hídrica actual, 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 MÉTODO

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). Este sistema cuenta con: i) 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 GEOTIFF elaborado por el entonces Instituto Geográfico Militar (IGM); ii) 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 Uni-

dades Cartográficas de Suelos (UCS) que cuentan con un identificador único que permite asociarlo a una base de datos; y iii) 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 está compuesta por entre uno y cuatro suelos indicándose de manera decreciente en qué proporción espacial 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 almacenar y manipular la importante cantidad de información edáfica contenida en la BDAS del SIGSA vinculada al tema de investigación (Buzai y Baxendale, 2011) y obtener nueva información.

La cartografía digital de Unidades Cartográficas de Suelos (UCS) fue llevada a la proyección geográfica WGS 84, para superponer sobre imágenes de mayor resolución espacial a los efectos de realizar nuevas interpretaciones visuales (Chuvieco, 2006). Esto fue posible mediante la utilización del SIG libre y de código abierto QGIS versión 3.16 Hannover de Open Source Geospatial Foundation (OSGeo), que permite visualizar online imágenes de Google Maps y Bing Maps, entre otras. También se exportó la cartografía digital a formato kml, que permitió desplegarla sobre diferentes imágenes históricas presentadas en el software Google Earth Pro de acceso online, para visualizar el devenir temporal de los patrones visuales.

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 re-

alizaron consultas mediante el SIG a la información almacenada en la BDAS sobre algunas de sus características: clasificación taxonómica, tipo de estructura y 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: surcos, cárcavas, zonas de acumulación, remoción superficial y suelos desnudos de vegetación. 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 hídrica 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 la pericia de edafólogos que participaron en el levantamiento y elaboración de la información utilizada.

Se efectuó una amplia revisión bibliográfica que incluye desde las primeras estimaciones sobre la extensión de la erosión hídrica en el país hasta las más actuales, así como de los trabajos que describen las principales causas desencadenantes del proceso en las distintas regiones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El artículo efectúa una sucinta descripción del proceso de erosión hídrica, sus principales causas y superficie afectada actualmente en cada una de las provincias. Los datos que surgen de la investigación realizada, indican que se registró un importante crecimiento de los procesos de erosión hídrica a nivel nacional, afectando un total de 88.727.830 has, de las cuales 62.194.524 has poseen erosión ligera-moderada y 26.533.420 has severa-grave (**Tabla I**). Ello representa un 32 % de la superficie del territorio nacional afectado por erosión hídrica en algún grado. En la **Fig. 1**, se muestra un mapa de la Argentina con las superficies afectadas por erosión hídrica en grados ligero-moderado y severo-grave.

La región Noroeste Argentino (NOA) está integrada para su análisis con las 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 **Figura 1**, respectivamente.

En la Provincia de Salta, los cambios en el uso del suelo comprometen la sustentabilidad, por la intensa agriculturización que aumentó el escurrimiento superficial. 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 incorporación a la producción de tierras ecológicamente frágiles (Osinaga et al., 2015). En el sur de la provincia, en los Departamento de Metán y Rosario de la Frontera, la erosión hídrica es el proceso degradatorio más importante, causada por el cultivo de poroto y soja, en suelos con pendientes de hasta el 16%. En estos suelos se registra erosión hídrica grave, con formación de cárcavas, que en ciertos casos llegan a inutilizar la tierra.

La alta cuenca del río Bermejo produce unos 82.000.000 Mg de sedimentos/año, que llegan hasta los puertos de los ríos Paraná y Río de la Plata, ocasionando problemas de colmatación que obligan al dragado frecuente. Proviene principalmente de la Puna y región Altoandina y en particular de la cuenca del río Iruya, con una pérdida de suelo de 10.730 Mg/km²/año.

De acuerdo a la información que surge de la presente investigación la superficie provincial afectada por erosión hídrica es de 2.411.249 has, correspondiendo un 4,9 % de su territorio al grado ligero-moderado y un 10,5 % al grado severo-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, mientras que en las regiones de Valles Templados y Ramal, se hace relevante la erosión hídrica (Torres et al., 2015). El sobrepastoreo del Pastizal de Altura, la sobreexplotación de especies forestales de valor económico, asociados a la erosión hídrica 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 la disminución de la cubierta vegetal sea ésta por sobreexplotación o sobrepastoreo en suelos con

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

Provincia	Clases de Erosión				Erosión total por provincia	
	Ligera-Moderada		Severa-Grave			
	has	%	has	%	has	%
Buenos Aires	5.357.955	17,5	512.526	1,7	5.870.481	19
Catamarca	747.464	7,3	3.894.697	38,1	4.642.161	45
Chaco	2.125.331	21,1	-	-	2.125.331	21
Chubut	3.528.390	15,7	26.929	0,1	3.555.319	16
Chubut	3.528.390	15,7	26.929	0,1	3.555.319	16
Córdoba	962.729	5,8	2.218.018	13,4	3.180.748	19
Corrientes	1.448.167	16,2	2.384.364	26,6	3.832.531	43
Entre Ríos	2.838.290	36,1	1.999.371	25,4	4.837.661	61
Formosa	1.068.573	14,1	1.110.597	14,6	2.179.170	29
Jujuy	-	-	540.799	10,1	540.799	10
La Pampa	7.206.488	50,0	2.798.101	19,4	10.004.589	69
La Rioja	3.013.614	32,7	326.691	3,5	3.340.305	36
Mendoza	8.085.585	54,1	635.968	4,3	8.721.554	58
Misiones	1.357.687	45,3	1.459.409	48,7	2.817.096	94
Neuquén	2.105.866	22,3	1.484.987	15,7	1.484.987	38
Río Negro	2.122.416	10,5	3.296.654	16,3	5.419.070	27
Salta	771.078	4,9	1.640.171	10,5	2.411.249	15
San Juan	6.128.817	69	-	-	6.128.817	69
San Luis	1.110.279	14,7	1.039.308	13,7	2.149.587	28
Santa Cruz	2.115.785	8,7	72.584	0,3	2.188.369	9
Santa Fé	1.963.192	14,6	369.185	2,8	2.332.377	17
Santiago del Estero	5.010.194	36,3	128.433	0,9	5.138.627	37
Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur	2.038.506	63,8	-	-	2.038.506	64
Tucumán	1.088.038	47,8	594.593	26,1	1.682.631	74
Totales	62.194.524	22	26.533.420	10	88.727.830	32

pastura natural, y las labranzas inadecuadas en áreas destinadas a la producción agrícola. La situación de mayor gravedad que trae aparejada la pérdida de la capa superficial del suelo, es que la sustentabilidad de los sistemas agrícolas en la provincia se ve seriamente comprometida en el tiempo. La superficie provincial afectada por procesos de erosión hídrica es de 540.799 has. en grado severo-grave, correspondiendo a un 10,1% de su territorio.

En la Provincia de Catamarca, las regiones más afectadas por la erosión hídrica son las del Este (chaco semiárido y yungas), Centro (chaco árido y al chaco serrano) y el Oeste provincial (región del monte y prepuna). En las regiones de la puna y altoandina la erosión hídrica es un proceso acotado y de naturaleza geológica (Guichón et al., 2015). La superficie afectada es de 4.642.161 has, con un 7,3% en grado ligero-moderado y un 38,1%, severo-grave.

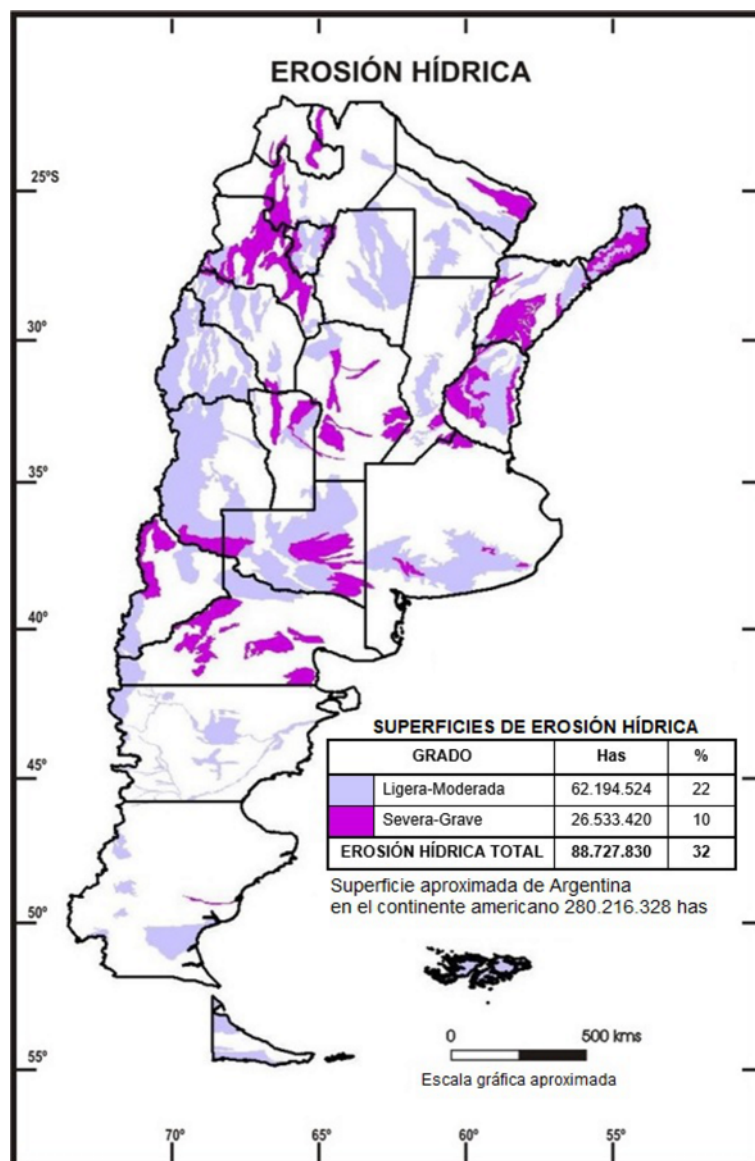


Figura 1: Mapa de superficies afectadas por la erosión hídrica actual en la República Argentina, en grados ligera-moderada y severa-grave. Evaluación correspondiente al año 2022.

En la Provincia de Santiago del Estero, los procesos intensos de desmonte con eliminación del bosque xerófilo semiárido estépico y crecimiento desmesurado de la actividad agrícola durante el período 1971-2001, período más lluvioso del siglo pasado, han generado intensos procesos de degradación de suelos (Acuña et al., 2004). El proyecto regional ProSusNOA del INTA (2001) publicó una estimación de superficie des-

montada de aproximadamente 1.000.000 de hectáreas para el período 1984-2000 destacando dos áreas importantes: la zona de producción bajo condiciones de secano (noreste y noroeste) y el área de riego del Río Dulce. El cambio en el uso de la tierra y disminución de la cobertura con vegetación natural determinó un avance de la agricultura sobre suelos desmontados y ganaderos-mixtos (Angueira et al., 2007; Vo-

lante et al., 2012) y en algunos casos, el cambio en el uso de la tierra, favoreció el desarrollo de procesos de erosión hídrica y eólica (Acuña et al., 2015). Este cambio se reflejó principalmente en el crecimiento del área cultivada donde prevalecieron cultivos como soja, maíz, algodón y trigo. Posee 5.138.627 has afectadas por erosión hídrica, lo que representa un 36,3% de la provincia, en grado ligero-moderado y un 0,9% en grado severo-grave.

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 de degradación física, química y biológica de los suelos de la región (Zuccardi et al., 1988; Dantur et al. 1989; García et al. 1993). En esta región de clima seco subhúmedo cálido a semiárido cálido, con un 80 % de las precipitaciones concentradas entre octubre y abril, y con eventos pluviales de alta intensidad, el proceso de erosión hídrica es importante no sólo por la necesidad de conservación del recurso suelo sino también por la disminución de la captación de agua ocasionado por la menor infiltración (Sanzano, 2015).

La región del pedemonte tucumano se extiende en una faja más o menos estrecha a lo largo de las sierras de San Javier y del Aconquija al Oeste de la provincia y de las sierras de La Ramada-Medina y del Campo al noreste, con pendientes que varían entre el 1 y 5% (Zuccardi y Fadda, 1985). El riesgo principal es la pérdida del suelo por erosión hídrica, especialmente si se tiene en cuenta que el régimen monzónico de lluvias provoca eventos de alta intensidad concentrados en unos pocos meses de verano. La superficie afectada por erosión hídrica es de 1.682.631 has., correspondiendo un 47,8% al grado ligero-moderado y un 26,1% a severo-grave.

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

En la Provincia de Misiones, en bosques de ambientes cálidos y húmedos, como consecuencia del desmonte y el cambio de uso, disminuyen drásticamente los aportes de materia

orgánica, a la vez que se incrementa la tasa de mineralización, factores concurrentes que inducen a una disminución de su contenido en el suelo. Si además se tiene en cuenta que una superficie significativa ha sido habilitada utilizando el arrastre con topadoras para formar cordones a efectos de facilitar la quema de residuos, es evidente que los suelos de la provincia fueron objeto de impactos significativos, por lo menos en cuanto a remoción superficial y a mermas en el contenido de materia orgánica, nutrientes, velocidad de infiltración y porosidad. Con estos procesos como predisponentes, y frente a condiciones de lluvias intensas y relieves de pendientes acentuadas, la erosión hídrica es una consecuencia inevitable. De esta manera, los efectos de la erosión pueden observarse en toda el área bajo cultivo, tanto de especies anuales como perennes. El diseño poco adecuado de los caminos contribuye de manera significativa en los procesos de erosión hídrica (Fernandez et al., 2015). La provincia posee afectadas 2.817.096 has por erosión hídrica, de las cuales un 45,3% corresponden al grado ligero-moderado y un 48,7 al grado severo-grave.

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 mucha menor medida. Si bien solo el 6,5% de la superficie provincial se encuentra con erosión actual de diferente tipo y magnitud, contemplando un probable escenario de expansión agrícola, este valor puede alcanzar el 15% de la superficie provincial (suelos con riesgos moderados a altos), si no se prevén prácticas sustentables de manejo de suelos (Ligier et al., 2015).

Los grandes paisajes más comprometidos a futuro, corresponden al Lomerío del NE con suelos rojos profundos, hoy bajo uso forestal predominante y la Altillanura fluvio-erosional, bajo uso ganadero y agrícola (con predominio de cultivo de arroz), con suelos que presentan rasgos vérticos y en donde es probable un escenario de expansión agrícola con cultivos y pasturas (Departamentos de Mercedes, Curuzú Cuatiá, Sauce y Oeste de Monte Caseros). La erosión hídrica en la provincia cubre una superficie de 3.832.531 has que representa un 16,1% de su superficie en grado ligero-moderado y un 26,6% en severo-grave.

Los procesos erosivos en la provincia de Formosa tienen su

origen más importante en la explotación forestal, el desmonte y el sobrepastoreo. Apenas cinco años después del desmonte, los procesos erosivos comienzan a hacerse notorios. Se evidencia la disminución de la materia orgánica, en especial las fracciones más livianas del carbono orgánico, y la disminución de la estabilidad de los agregados del horizonte superficial (Baridón, 2015). Para comprender por qué se aceleran estos procesos, debemos considerar que los suelos que se encontraban bajo la protección del monte, a los cuales Casas y Puentes (2009) llaman “suelos de sombra”, son convertidos por el hombre en “suelos de sol” con escasa y a veces nula protección de la cobertura vegetal. El proceso de erosión hídrica afecta 2.179.170 has, de las cuales un 14,1% de la superficie provincial corresponden a un grado ligero-moderado y un 14,6% a severo-grave.

En la Provincia del Chaco, la erosión hídrica afecta la mayor superficie de la provincia teniendo causas de origen natural y/o antrópico. En el sector Sur y Este, el uso ganadero de las tierras condicionó un paisaje pastoril degradado, que favoreció la aparición de surcos de erosión y la pérdida del horizonte superficial en donde arraigaban las gramíneas nativas. La expansión de la agricultura hacia el chaco semiárido, provocó un cambio en la cobertura del suelo con eliminación de masas boscosas que atenuaban el efecto de las precipitaciones sobre suelos muy vulnerables, de baja estabilidad estructural, texturas limosas a franco arenosas, y moderado contenido de materia orgánica. Se observan procesos de pérdida de suelos laminar y en surcos, y hacia el Oeste, en el límite con Santiago del Estero, la aparición de cárcavas que cortan el paisaje y destruyen caminos (Zurita, 2015). La erosión hídrica afecta 2.125.331 has, en grado ligero-moderado, representando un 21,1 % de la superficie provincial.

La región Pampeana se integra con las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe, Entre Ríos y La Pampa. Las superficies afectadas por erosión hídrica y su extensión en el territorio se observan en la Tabla I y Figura 1, respectivamente. En la Provincia de Buenos Aires, en las tres últimas décadas, se ha registrado 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. Consecuentemente, en áreas planas, el encharcamiento superficial tiende a aumentar, y en áreas onduladas o inclinadas se incrementa el escurrimiento superficial y la erosión hídrica (Sfeir, 2015).

Hay dos regiones en la provincia donde el proceso de erosión hídrica es relevante con distinto grado de ocurrencia: la Pampa Ondulada y la Pampa Serrana e Interserrana (Casas y Puentes, 2009). Dentro de la primera región, se cita el caso de las cuencas de los ríos Arrecifes, Ramallo y del arroyo del Medio. La provincia posee 5.870.481 has afectadas por erosión hídrica, de las cuales un 17,5% lo está en grado ligero-moderado y 1,7 % en grado severo-grave.

En la Provincia de Córdoba, los principales Departamentos afectados por erosión hídrica son Tercero Arriba, Río Cuarto, Calamuchita y Marcos Juárez. El cambio e intensificación del uso del suelo en ambientes frágiles, y la simplificación de las rotaciones y monocultivo de soja contribuyeron a incrementar el proceso erosivo. Las cárcavas representan una de las formas más severas de erosión por su impacto en el deterioro de la infraestructura vial y por su alta producción de sedimentos (Cisneros et al., 2015). La superficie afectada es de 3.180.748 has, correspondiendo un 5,8 % del territorio provincial al grado ligero-moderado y un 13,4 % a severo-grave.

En la provincia de Santa Fe, las cuencas hidrográficas con mayores signos de erosión hídrica son las del Río Carcarañá, Arroyos San Lorenzo, Ludueña, Frías, Seco, Pavón y del Medio, y las cañadas de Gómez, del Chupino y de los Leones, todas ubicadas en la pampa ondulada, al Sur de la provincia. Más allá de éstas cuencas, donde el problema de la erosión hídrica es generalizado, deben destacarse sitios de la provincia donde el proceso ocurre en sectores menores en cuanto a la superficie, pero con una intensidad (tasa de pérdida de suelos) importante. Este es el caso de algunas cuencas de segundo y tercer orden de la cuenca media y baja del Río Salado (Bonel et al., 2015). La provincia tiene afectada por erosión hídrica 2.332.377 has, correspondiendo un 14,6% al grado ligero-grave y un 2,8% al grado severo-grave.

En la Provincia de Entre Ríos los procesos de erosión hídrica se manifiestan con mayor intensidad en la mitad occidental,

en el extremo Suroeste de la provincia y en parte del sector Sudeste. Los Departamentos afectados con mayor grado son Diamante, Paraná, Nogoyá, Victoria y Uruguay.

El 57% de la provincia es susceptible a la erosión en algún grado. Esto significa que alrededor de cuatro millones y medio de hectáreas pueden erosionarse y por lo tanto deben ser manejadas teniendo en cuenta esa limitante. Para atenuar la degradación de suelos por erosión hídrica, se desarrollaron y adoptaron sistemas de labranza conservacionistas como la reducción de laboreos, utilización de labranza vertical y más recientemente, la siembra directa. Sin embargo, en algunas regiones, dependiendo del tipo de suelo, pendiente e intensidad de las precipitaciones, la utilización de estos sistemas resulta insuficiente para controlar sus efectos, debiéndose implementar tecnologías como la sistematización de tierras y la construcción de terrazas para el control de la erosión hídrica (Sasal et al., 2015). La provincia posee 4.837.661 has con erosión hídrica, que corresponden a un 36,1% del territorio afectado en grado ligero-moderado y un 25,4% en severo-grave.

En la Provincia de La Pampa, actualmente la erosión hídrica posee mayor magnitud en la zona central, 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. Las zonas más afectadas por la erosión hídrica son los departamentos de Toay, en el centro de la Provincia, y Caleu Caleu, en el Sudeste (Buschiazzi et al., 2015). Los procesos de erosión hídrica están muy extendidos, abarcando 10.004.589 has, correspondiendo un 50% al grado ligero-moderado y un 19,4% a severo-grave.

La región de Cuyo abarca las Provincias de La Rioja, Mendoza, San Juan y San Luis. Las superficies afectadas con erosión hídrica 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. Las regiones montañosas y serranas debido a las características del relieve, están expuestas a la acción de procesos gravitatorios que con el complemento de la acción de los escurrimientos y torrentes, terminan desencadenando procesos erosivos naturales, que son a su

vez, sinergizados por la acción directa o indirecta del hombre. Las regiones sedimentarias, con menor pendiente, reciben los aportes de agua de zonas más altas, en forma estacional, y muchas veces torrencial, con un efecto más o menos generalizado en amplias zonas definiendo pérdidas por erosión que en general, se expresa en grado moderado a ligero. En los valles, las áreas con cultivos intensivos bajo riego, muestran efecto de procesos erosivos localizados, compactación y ascenso freático con salinización y alcalinización de los suelos. Estos problemas se pueden agravar, pero se cuenta con la tecnología disponible como para controlarlos efectivamente (Sfeir y Canelo, 2015). La Rioja tiene afectadas 3.340.305 has por procesos de erosión hídrica, correspondiendo un 32,7% al grado ligero-moderado y un 3,5% a severo-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 extensiva 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. Estas vegas y mallines cumplen una función fundamental en el abastecimiento y regulación de los recursos hídricos (Abraham et al., 2015).

La erosión hídrica presenta sus mayores expresiones en las unidades ambientales de montaña alta y valles intermontanos, seguida por Payunia y piedemontes con un grado alto, montañas medias y bajas con grado medio, oasis con grado bajo y llanuras no irrigadas con muy bajo grado de erosión hídrica. Posee una superficie afectada de 8.721.554 has, correspondiendo un 54,1% al grado de erosión ligero-moderado y un 4,3% a severo-grave.

En la Provincia de San Juan, la erosión hídrica severa predomina a lo largo de los cauces de los arroyos que drenan las distintas depresiones intermontanas. Las observaciones de campo efectuadas demuestran que la erosión hídrica fue precedida por la erosión eólica, proceso que se acentúa con un inadecuado uso agrícola-ganadero de la tierra. La super-

ficie de erosión hídrica es significativamente menor a la eólica, no obstante la intensidad de la primera es severa a grave (Suvires, 2015). La erosión hídrica afecta 6.128.817 has, que representa un 69% del territorio en grado ligero-moderado.

En la Provincia de San Luis, entre las principales causas de la degradación y erosión del suelo se pueden 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 (Demaría y Aguado Suárez, 2013). Este mayor riesgo estaría explicado por mayores períodos de tiempo con bajos niveles de cobertura, especialmente cuando la presencia de soja en la secuencia de cultivo es alta, los rendimientos de los cultivos disminuyen y se utilizan los residuos para la alimentación animal. 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 (Colazo et al., 2015).

Estos mismos factores pero en suelos con pendiente y lluvias acentuadas son los que desencadenaron procesos de erosión hídrica. A esto se le suma la adopción de la siembra directa en cultivos que dejan escasa cobertura vegetal, en suelos con pendiente o estructura degradada y la baja adopción de sistemas conservacionistas en aquellos sectores con mayor riesgo. Es escaso el nivel de manejo integrado de cuenca que se realiza en la provincia.

En relación a la erosión hídrica, el mayor riesgo está en la región Noreste de la provincia. El área más afectada contiene aquellas cuencas ubicadas en las sierras de San Luis y el cerro El Morro. También aquellos sectores interserranos, con pendientes menos pronunciadas pero más extensas, así como suelos más limosos con menores valores de permeabilidad presentan un riesgo moderado - severo a la erosión hídrica (Barbosa et al., 2013). La superficie afectada por erosión hídrica es de 2.149.587 has, un 14,7% en grado ligero-moderado y un 13,7% severo-grave.

La región Patagónica está compuesta por las Provincias de Río Negro, Chubut, Neuquén, Santa Cruz y Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur. Las superficies erosionadas en cada provincia y su extensión, se observan en la Tabla I y Figura 1, respectivamente.

En la Provincia de Río Negro, la erosión hídrica se ha considerado de menor importancia que la eólica, posiblemente debido a que en Río Negro parecerían estar parcialmente desacomodadas la presencia de pendientes fuertes y lluvias torrenciales. Sin embargo en los últimos años se han incrementado las tormentas de fin de verano-otoño en la primera región, originando importantes flujos erosivos (Becker et al., 2012). Sin embargo las dos formas de erosión (eólica e hídrica) se superponen dando origen a procesos erosivos combinados, que son los que dominan.

Los procesos erosivos se amplifican por efecto del sobrepastoreo. La sobreutilización de los pastizales puede verse como un disturbio difuso y generalizado que ha llevado, 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 (asociados en parte a la actividad ganadera), han contribuido 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 andina, por sus características de relieve montañoso, presenta un alto riesgo de erosión hídrica, que está parcialmente contenida por la vegetación boscosa. Sin embargo la remoción de la cobertura vegetal, principalmente por incendios forestales activa rápidamente notables procesos erosivos, manifestados por cárcavas y remociones en masa. La Región Extra Andina de río Negro (exceptuando también los grandes valles), al igual que el resto de la Patagonia, está sometida a un proceso crónico de desertificación (Ayesa et al., 1995; del Valle et al., 1998). Posee 5.419.070 has afectadas con erosión hídrica, correspondiendo un 10,5% al grado ligero-moderado y un 16% al severo-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 tales como incendios, desmonte de arbustos para leña, actividades petroleras y viales. En los valles bajo riego, el ineficiente uso del agua genera problemas de salinización. En la zona cordillerana se observan como causales de la degradación, los incendios

forestales y la falta de compatibilización en los distintos usos de la tierra (Salomone et al., 2015). La erosión hídrica y salinización se concentra en las zonas más áridas, en la zona central provincial. Esta provincia tiene una superficie afectada de 3.555.319 has, correspondiendo un 15,7% al grado ligero-moderado y un 0,1% al severo-grave.

En la Provincia de Neuquén, el Departamento Minas ubicado al Noroeste, muestra la mayor superficie afectada por erosión hídrica. Las causas se atribuyen al relieve más abrupto de esta región, las obras viales y el posible impacto del uso de la tierra para el pastoreo trashumante. El riesgo de erosión hídrica potencial no es homogéneo. El departamento Minas tiene un tercio de su superficie afectada con riesgo alto y muy alto, mientras que el departamento Chos Malal solo un sexto de su superficie. Los sectores montañosos con fuertes pendientes poseen afectados un cuarto de la superficie. Los resultados muestran un incremento de las áreas erosionadas, en particular de las clases severa y muy severa (Irisarri y Dufilho, 2015). Posee afectadas por erosión hídrica 1.484.987 has, de las cuales un 22,3% corresponden al grado ligero-moderado y un 15,7% al grado severo-grave.

En la Provincia de Santa Cruz, alrededor de un 24% de su superficie, se encuentra sujeta a algún grado considerable de erosión eólica e hídrica, y las áreas ecológicas difieren marcadamente, con un máximo en la Meseta Central, que tiene un tercio de su superficie total erosionada, y un mínimo en la Estepa Magallánica Húmeda, con apenas un 0,5% de la superficie afectada. Las regiones difieren también en la severidad de las manifestaciones erosivas, con un máximo de manifestaciones graves y muy graves en la Meseta Central y el Pastizal Subandino (Oliva et al., 2015).

La dominancia de los tipos de erosión hídrica y eólica varía, pero en todos los casos las manifestaciones erosivas son combinadas. La erosión hídrica es predominante en la zona Norte y especialmente en la Meseta Central, mientras que 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 de erosión hídrica afectan 2.188.369 has correspondiendo un 8,7% del territorio al grado ligero-moderado y un 0,3% al grado severo-grave.

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. La producción ganadera ha generado cambios en la vegetación, descriptos como “enmalezamiento”, acompañados de distintos tipos y grados de erosión del suelo, caracterizando la fisonomía de la región. También se observa el desmoronamiento de faldeos con fuerte pendiente, principalmente orientados hacia el norte, con los mismos agentes intervinientes, aunque en inverso grado de predominio, al menos durante los años más húmedos. Se presentan cárcavas en algunos valles, en general de mediana magnitud, motivadas por una mayor escorrentía, que reconoce tres causas principales: la compactación del suelo por pisoteo, una menor cobertura vegetal del sistema y la mayor frecuencia de lluvias de carácter torrencial (Bianciotto et al., 2015).

En el Parque Fuegoño se observan los mismos efectos que en la anterior. Existen áreas de bosque intervenido por anillado o “capado”, que datan de principios del siglo pasado, principalmente ubicadas al Sudeste de la región, donde los efectos erosivos del agua se tornan más evidentes y generalizados.

En la zona de Cordillera, el relieve pronunciado y una mayor precipitación propician el predominio de la erosión hídrica, principalmente asociada a áreas que han sufrido deforestación por diferentes causas, ya sea un mal manejo del recurso forestal, su reemplazo por pasturas o incendios, los que se han multiplicado durante los últimos años.

En cuanto a la actividad hidrocarburífera, se observan focos erosivos y sitios fuertemente compactados, generados a partir de distintos tipos de intervenciones sobre el terreno, principalmente antiguas líneas sismográficas, caminos, canteiras, tendidos de gasoductos/oleoductos y locaciones.

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 ganadera. Los procesos degradatorios de las tierras se producen mayormente debido al aumento creciente de la carga ganadera (Godagnone y de la Fuente, 2015). La superficie afectada por erosión hídrica en toda esta provincia es de 2.038.506 has, en grado ligero-moderado, representando un 63,8% de su superficie.

CONCLUSIONES

Un 32% del territorio de la Argentina está afectado actualmente por el proceso de erosión hídrica lo cual equivale a una superficie de 88.727.830 has. De ese total, hay 62.194.524 has afectadas por un grado ligero-moderado y 26.533.420 has por grado severo-grave. 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 agropecuaria y el sobrepastoreo.

En relación a estimaciones y cuantificaciones realizadas en años anteriores, se observa un incremento del área afectada por erosión hídrica en función de la intensificación agrícola y la expansión de la agricultura hacia ecosistemas de mayor fragilidad. La erosión hídrica es el principal problema que compromete la sustentabilidad de los sistemas productivos al provocar la degradación permanente del recurso suelo. La situación descrita sin lugar a dudas amerita un análisis profundo con intervención del estado nacional y los estados provinciales a los efectos de regular los cambios operados en el uso de la tierra y de esta manera evitar o minimizar los procesos de degradación de suelos y el ambiente.

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. pp. 175-186.
- Acuña L., G. A. Angella, M. E. Amarilla, M.A. Avalos, G. A. Barraza, L. I. Mas, J. M. Lopez, S. D. Roldán, M. C. Sanchez, J. C. Tasso, H. Van Meer y L. A. Vizgarra. 2015. Provincia de Santiago del Estero. En: El deterioro del suelo y del ambiente. Tomo II; Parte 7. Erosión y degradación de suelos. Editorial FECIC. pp. 287-302.
- 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.
- Angueira C., D. Prieto, J. López y G. Barraza. 2007. SigSE V2.0. Sistemas de Información Geográfica de Santiago del Estero. INTA EEA Santiago del Estero. Edición INTA. ISBN 987-521-1702.
- 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., Belgrano Rawson N., Larrusse C., Solari F.A. 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. pp. 121-130.
- Becker G.; D. Bran, M. Cremona y C. Acevedo. 2012. Impacto de las lluvias torrenciales en Comallo. Revista Presencia 59. INTA Bariloche. Agosto 2012: pp 47-49
- 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. pp. 303-320.
- Bonel B. A., J. A. Denoia, N. C. Di Leo y S. Montico. 2015. Provincia de Santa Fe. En: El deterioro del suelo y del ambiente. Tomo II; Parte 7. Erosión y degradación de suelos. Editorial FECIC. pp. 275-286.
- 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. pp. 213-224.
- Buschiazzi D. E., Z. E. Roberto, J. C. Colazo. 2015. Provincia de La Pampa. En: El deterioro del suelo y del ambiente. Tomo II; Parte 7. Erosión y degradación de suelos. Editorial FECIC. pp. 141-154.
- 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. 2001. La conservación de los suelos y la sustentabilidad de los sistemas agrícolas. Anales de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria. Tomo LV. Buenos Aires, Argentina. pp 195-247.
- 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. Rodríguez. GE-PAMA – UNESCO. Orientación Gráfica Editora. pp 247-270.

• Casas, R.R. 1998. Causas y evidencias de la degradación de los suelos en la región Pampeana. En: *Hacia esa agricultura productiva y sostenible en la pampa*. Harvard University; David Rockefeller Center for Latin American Studies; Consejo Profesional de Ingeniería Agronómica. Orientación Gráfica Editora S.R.L. Buenos Aires.

• 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. pp. 433-452.

• 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. pp. 87-100.

• Cisneros J.M., Saluzzio M.F., Gonzalez J.G., Cholaky C., Cabrera S., De Prada J.D., Degioanni A.J., y J. Corigliano. 2017. Erosión hídrica y su control. En: *Manejo y conservación de suelos, con énfasis en situaciones argentinas*. Ed. Mabel Vazquez. Capítulo 4. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires, Argentina. pp. 95-159.

• 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. pp. 247-254.

• 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.

• 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)*, nº 13-2, pp.133-157.

• Fernández R. A., D. A. Sosa, N. Pahr, A. Von Wallis, S. Barbaro y S. Albarracín. 2015. Provincia de Misiones. En: *El deterioro del suelo y del ambiente*. Tomo II; Parte 7. Erosión y degradación de suelos. Editorial FECIC. pp. 187-200.

• Gaitán J., Navarro M.F., Tenti Vüegen L., Pizarro M.J., Carfagno P. y S. Rigo. 2017. Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina. Ediciones INTA. Buenos Aires. Argentina. pp. 66.

• García, J. R., C. Bleckwedel, D. Giménez, M. R. Cáceres, A. M. Pietroboni. 1993. La degradación de los suelos agrícolas del Este Tucumano. *Actas XII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*. Salamanca- España. pp 1280 –1285.

• 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. 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. pp. 321-334.

• Godagnone, R.E y 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.

• Guichón B., O.B. Pernasetti, P.H. Watkins 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. pp. 49-64.

• Gvozdenovich, J. J.; Pioto, A. y Paparotti, O. 2015. Variación del rendimiento del cultivo de soja debido a la erosión hídrica en Entre Ríos. INTA EEA Paraná Serie Extensión Digital – Actualización Técnica Soja. Pp 45-49.

• Instituto de Suelos y Agrotecnia. 1957. La erosión eólica en la región pampeana y plan para la conservación de los suelos. Buenos Aires. 235 pp.

• INTA, Estación Experimental Agropecuaria Marcos Juárez. 1977. Primera Reunión Técnica de Cultivos sin Labranza. Informe Técnico N° 95. Marcos Juárez, Argentina. Pp. 187.

• INTA. 2001. Informe del Proyecto para la sustentabilidad de la producción agropecuaria del noroeste argentino (Pro-SusNOA). Estación Experimental Agropecuaria Santiago del Estero.

- Irisarri J. A., A. C. Dufilho. 2015. Provincia de Neuquen. En: El deterioro del suelo y del ambiente. Tomo II; Parte 7. Erosión y degradación de suelos. Editorial FECIC. pp. 201-212.
- Irurtia C.B. y R. Mon. 2000. Impacto de la erosión hídrica en la producción de granos en Argiudoles típicos de la pampa ondulada. 11a Conferencia de la Organización Internacional de la Conservación del Suelo (ISCO). Buenos Aires, Argentina.
- Ligier H. D., A. R. Perucca 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. pp. 101-110.
- Morello, J.; W. Pengue y A. F. Rodríguez. 2006. Etapas de uso de los recursos y desmantelamiento de la biota del Chaco. En: La situación ambiental Argentina, 2005, Fundación Vida Silvestre, Argentina. Buenos Aires.
- 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.
- Oliva G. E., P. N. Paredes 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. pp. 255-274.
- 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. pp. 225-234.
- Paparotti, O.; Scotta, E. y Berdini, W. 1997. Siembra directa y terrazas en suelos con pendientes. Serie Extensión INTA EEA Paraná IPG: Avances en siembra directa.
- PROSA – FECIC. 2019. Manual de buenas prácticas de conservación del suelo y del agua en áreas de secano. Tomo I. Ed. Casas R.R. y F. Damiano. Ed. Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura –FECIC-. Buenos Aires, Argentina. pp.53-83.
- 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. pp. 77-86.
- Sanzano A. 2015. Provincia de Tucumán. En: El deterioro del suelo y del ambiente. Tomo II; Parte 7. Erosión y degradación de suelos. Editorial FECIC. pp. 335-346.
- Sasal M. C., M. G. Wilson, D. J. Bedendo y G. A. Schulz. 2015. Provincia de Entre Ríos. En: El deterioro del suelo y del ambiente. Tomo II; Parte 7. Erosión y degradación de suelos. Editorial FECIC. pp. 111-120.
- Scotta, E. S.; Cogo, R. y Herrera, D. 1991. Rendimiento de soja con y sin terrazas. En jornada de información técnica para productores. INTA EEA Paraná. pp 8-9.
- Scotta, E. y Garciarena, N. 1996. Estimación de las pérdidas por erosión hídrica y su valor económico en maíz. Serie de Extensión N° 11: 51-54 – INTA EEA Paraná.
- Scotta, E.; Gvozdenovich, J. 2012. Rendimiento de maíz con y sin terrazas en Gualleguaychú. Jornada de actualización técnica en sorgo, maíz y girasol. Oro Verde. Entre Ríos. ISBN 978-950698292-8.
- 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. pp. 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. pp. 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. pp. 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. pp. 131-140.
- Viglizzo, E. F. 1994. El INTA frente al desafío del desarrollo agropecuario sustentable. En: Desarrollo agropecuario sustentable. INTA-INDEC. 85 pp.
- Volante, J.N.; D. Alcaraz-Segura, M. J. Mosciaro; E. F. Viglizzo, J. M. Paruelo. 2012. Ecosystem functional changes associated with land clearing in NW Argentina. Agriculture, Ecosystems and Environment 154: 12– 22
- Zuccardi, R. B. y G. S. Fadda. 1985. Bosquejo agrológico de la provincia de Tucumán. Pub. Esp. N° 23.
- 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 F.E.C.I.C. pp. 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. pp. 65-76.