

Salinización del suelo en tierras secas irrigadas: perspectivas de restauración en Cuyo, Argentina

Soil salinization in irrigated drylands: prospects for restoration in Cuyo, Argentina

Bárbara Guida-Johnson ^{1,2,*}, Elena M. Abraham ¹, Mariano A. Cony ¹

Originales: *Recepción:* 11/12/2015 - *Aceptación:* 25/10/2016

RESUMEN

Las tierras secas se caracterizan, entre otras cosas, por presentar precipitaciones escasas y suelos con insuficiente agua. En estas regiones, la producción agrícola depende del riego sistematizado que transforma los ecosistemas naturales en áreas irrigadas cultivables, tal como ocurre en la región de Cuyo, en el centro-oeste de Argentina. Aunque estos territorios constituyen el soporte de la mayoría de la población, frecuentemente se asocian con procesos de degradación. Una de las principales consecuencias de la agricultura no sustentable es la salinización del suelo, la cual se produce a causa del reemplazo de la vegetación nativa perenne de raíces profundas por cultivos anuales de raíces poco profundas o bien como consecuencia del riego excesivo y la falta de drenaje adecuado. La salinización constituye un problema a escala mundial, dado que reduce la productividad de grandes áreas cultivables, disminuye el valor de la tierra y conduce a su abandono. En este contexto, la restauración de ecosistemas representa un abordaje estratégico para revertir la degradación de estas tierras, recuperar servicios y promover la conservación de ecosistemas áridos a escala regional. En este trabajo se revisan los factores, tanto aquellos vinculados con el medio biofísico como los determinados por las actividades antrópicas, que fueron asociados con la salinización en distintas regiones, así como las medidas implementadas para rehabilitar estos ambientes. Asimismo, se revisa la terminología vinculada con la práctica de la restauración y se propone una alternativa apropiada para explorar este abordaje en Cuyo: la restauración productiva con especies del género *Prosopis*.

Palabras clave

oasis • restauración productiva • salinización secundaria • sustentabilidad

-
- 1 Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas (IADIZA), Universidad Nacional de Cuyo, Gobierno de Mendoza, CONICET. Av. Ruiz Leal s/n Parque General San Martín (5500) Mendoza; bguidaj@mendoza-conicet.gob.ar
 - 2 Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

ABSTRACT

Drylands are characterized among other things by low rainfall and soils with insufficient water. In these regions, agricultural production depends on irrigation, which transforms arid ecosystems into irrigated arable areas, as in the Cuyo region, in the central-western Argentina. Although these lands support the majority of the population, they are often associated with degradation processes. One of the main consequences of unsustainable agriculture is soil salinization, which occurs either because perennial deep-rooted native vegetation is replaced by annual crops or as a result of excessive irrigation and deficient drainage. Salinization is a global problem, since it reduces the productivity of large arable areas, decreases land value and leads to their abandonment. In this context, ecosystem restoration is a strategic approach to reverse the degradation of irrigated drylands, recover services and promote the conservation of arid ecosystems at the regional scale. In this paper we review the factors, both those linked to the biophysical environment and those determined by human activities, which are associated with salinization in different regions, as well as the implemented measures for rehabilitating these environments. Furthermore, the terminology associated with the practice of restoration is revised and a suitable alternative for exploring this approach in Cuyo is proposed: the productive restoration using species of the *Prosopis* genus.

Keywords

oasis • productive restoration • secondary salinization • sustainability

Ocupación, uso y degradación de las tierras secas

De acuerdo con la definición de la Convención de Naciones Unidas para Combatir la Desertificación (UNCCD), las tierras secas incluyen regiones de clima hiperárido, árido, semiárido y subhúmedo seco (3, 39), representando el 41% de la superficie terrestre y el 69% del territorio nacional (2, 30). Se caracterizan por presentar precipitaciones escasas, poco frecuentes e irregulares, gran amplitud térmica entre el día y la noche, y suelos con bajos contenidos de materia orgánica y agua (40). Los principales atributos del recurso hídrico en estas regiones son tres: (a) el agua se constituye como el factor limitante que controla los procesos biológicos, (b) las precipitaciones presentan gran variabilidad anual, ocurriendo en eventos poco frecuentes

y discretos, y (c) dicha variabilidad incluye una importante componente de azar (29). Esta disponibilidad limitada y estacional del recurso hídrico, sumada a la baja productividad primaria y el suelo poco desarrollado con bajo contenido de materia orgánica, determinan la inherente fragilidad de los ecosistemas áridos (23).

En este contexto, la producción agrícola depende del riego sistematizado y del aporte externo de nutrientes, el cual transforma estos ecosistemas en áreas irrigadas cultivables, conocidas como "oasis". En la región de Cuyo en particular, localizada en el centro-oeste de Argentina aproximadamente entre las latitudes 27°43'1,22" S y 37°34'15,78" S y las longitudes 64°54'2,34" O y 70°33'46,14" O, la irrigación de las tierras secas se realiza

con agua proveniente del deshielo de las nieves cordilleranas, complementada con agua subterránea (1). De hecho, Mendoza fue una de las primeras provincias en utilizar el agua subterránea para riego durante el siglo pasado y es uno de los mayores consumidores del país (8). En la década del 50 comenzó este tipo de extracción, alcanzando los aproximadamente 19.000 pozos que existen actualmente (24). Si bien los oasis tienen una extensión territorial limitada, cumplen un rol fundamental en la vida de la población local. En Mendoza por ejemplo, constituyen el soporte del 98,5% de la población representando el 4,5% de la superficie (4).

En esta provincia, la ampliación de la frontera agropecuaria implicó una mayor demanda y competencia por el agua (37), con un mal manejo de este recurso por pérdidas en el sistema de conducción. Simultáneamente, la mayor parte de las prácticas agrícolas que se desarrollaron trajeron una variedad de consecuencias sobre el suelo (2), determinando que el 60% de los oasis mendocinos presentaran procesos de degradación en mayor o menor medida (4). Como resultado, se redujo o perdió la productividad de estas tierras, conduciendo a su sobre-explotación y en ocasiones, a su abandono (2).

Una consecuencia de la agricultura no sustentable: la salinización del suelo

La salinización es el proceso de acumulación de sales en el perfil del suelo, distinguiéndose dos tipos: primaria y secundaria (6, 47). La primera es resultado del proceso natural que se desarrolla en zonas donde el material parental es rico en sales y la tasa de evapotranspiración es mayor que la tasa de precipitación. Otros factores que pueden inducir la salinización son determinados patrones naturales de drenaje o rasgos

topográficos, la estructura geológica o la distancia al mar. Por su parte, la acumulación de sales que se produce como consecuencia de las actividades antrópicas no sustentables es conocida como salinización secundaria. Esta puede ser explicada a partir de dos desencadenantes y, por lo tanto, se la divide a su vez en dos tipos: de tierras secas no irrigadas o por irrigación (33, 36, 47). Por un lado, la salinización de tierras secas no irrigadas se produce a causa del reemplazo de la vegetación nativa perenne de raíces profundas por cultivos anuales de raíces poco profundas. La reducción de la evapotranspiración altera el balance natural del agua y produce un ascenso del nivel freático. La acumulación de sales provenientes del agua subterránea dependerá de las propiedades hidráulicas del suelo y de las condiciones climáticas. Por otro lado, la salinización por irrigación se produce como consecuencia del riego excesivo y la falta de drenaje adecuado. Este proceso puede ser acelerado por la baja calidad del agua de irrigación, baja conductividad hidráulica y condiciones de alta evaporación. En las zonas áridas y semiáridas, al irrigar se varía el régimen de humedad edáfica y el agua que no es utilizada por los cultivos escurre sub-superficialmente. En los sectores con estratos transmisores impermeables se eleva el nivel freático y cuando el agua subterránea llega por ascenso capilar a la zona radicular o a la superficie, se evapora depositando las sales que lleva disueltas (2).

En el mundo se han documentado diversos casos en los cuales la producción agrícola en tierras secas ha conducido a la degradación del suelo a partir de la salinización secundaria. De esta manera, se asoció dicho proceso con determinadas variables explicativas en distintos estudios en Canadá (17), Australia (25),

Uzbekistán (16, 18), Irán (26), China (44, 46, 47), e incluso Argentina (28). Estas variables se distinguen entre aquellas que corresponden a atributos del medio biofísico que contribuyen a su vulnerabilidad frente a la salinización, y aquellas que se vinculan con la presión ejercida por las actividades humanas no sustentables sobre estos ambientes (tabla 1). Asimismo, algunas variables se encuentran directamente relacionadas con la ocurrencia de sales en el ambiente (denominadas variables "estado"); mientras

que otras facilitan o aceleran el proceso que conduce a la salinización, es decir, el ascenso del nivel freático ("proceso"). Mediante el apoyo de sistemas de información geográfica, estas variables espacialmente explícitas permiten modelar el riesgo de salinización e identificar sitios vulnerables, lo cual constituye una herramienta fundamental para asistir a la toma de decisión y la implementación de políticas de manejo sustentable del territorio (38, 44, 47).

Tabla 1. Variables asociadas con la salinización secundaria: vinculadas con atributos del medio biofísico o a la presión ejercida por las actividades antrópicas y relacionadas con la ocurrencia de sales en el ambiente (estado) o con el ascenso del nivel freático (proceso).

Table 1. Variables associated with secondary salinization: including variables related to attributes of the biophysical environmental or to the pressure exerted by anthropogenic activities and variables related to the occurrence of salts in the environment (state) or to the rising of the water table (process).

	Estado	Proceso
Medio biofísico	Material parental	Relación entre precipitaciones y evapotranspiración
	Intrusiones marinas	Relación entre precipitaciones y temperatura
	Tipo de suelo	Discontinuidades estructurales
	Distancia a áreas salinizadas	Discontinuidades texturales
	Salinidad del agua subterránea	Topografía
	Distancia a zonas de recarga de acuíferos	Microtopografía
Presión humana	Salinidad del agua de riego	Elevación
		Pendiente
		Capacidad de drenaje del suelo
		Profundidad del nivel freático
		Reemplazo y/o pérdida de vegetación natural
		Uso del suelo
		Volumen de agua de riego
		Distancia a canales de irrigación
		Calidad del sistema de drenaje
		Distancia a canales de drenaje

El enfoque de la restauración ecológica y otras prácticas asociadas

La UNCCD propuso el objetivo de alcanzar una tasa cero de degradación de tierras para el año 2030. Esto implicaría que la desertificación debe ser evitada, o bien compensada a través de la restauración de las tierras degradadas (41). De acuerdo con la Sociedad Internacional para la Restauración Ecológica (SER), la *restauración* es una actividad deliberada que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, transformado e incluso totalmente destruido como resultado directo o indirecto de las actividades del hombre, con el objetivo de restablecer su integridad, resiliencia y sustentabilidad (34). De esta forma, la restauración en sentido estricto pretende devolver el ecosistema degradado a su estado prístino, lo cual en la mayoría de las circunstancias es impracticable o insostenible. Por su parte, la restauración en sentido amplio, también denominada *rehabilitación*, propone devolver ese ecosistema a uno de sus posibles estados estables, a una versión simplificada (7), o a una condición pre-disturbio. La rehabilitación utiliza, al igual que la restauración en sentido estricto, al ecosistema histórico como un modelo, el cual se conoce como ecosistema de referencia. Sin embargo, solo intenta recuperar procesos, funciones, productividad y/o servicios, sin pretender volver a ese estado prístino, ni recomponer exactamente la composición específica ni la estructura de la comunidad original. Otras actividades vinculadas con la recuperación de ecosistemas incluyen (12, 34): la *reclamación*, término utilizado en el contexto de la minería, cuyo objetivo principal es el retorno de las tierras a un propósito útil dentro del contexto regional; la *remediación*, que implica la remoción de contaminantes

del medio ambiente y, por ende, pone el énfasis en el proceso más que en el estado final; la *mitigación*, que incluye acciones que simplemente compensan daños ambientales; y la *creación*, término aplicado a proyectos de mitigación en sitios que han sido completamente desprovistos de vegetación. Probablemente en virtud del desarrollo reciente de la disciplina, es posible advertir cierta falta de consenso con respecto a la utilización de los términos en las distintas experiencias.

Dos aspectos claves en la formulación de cualquier proyecto de restauración son la definición de los objetivos y de las medidas a implementar. En el caso de la recuperación de tierras secas irrigadas degradadas, es importante destacar que el objetivo no es devolver el sitio a su estado prístino. En su lugar, se propone rehabilitar procesos o servicios como una parte integral de la conservación de ecosistemas áridos a escala regional (34). Si se considera que la degradación de áreas cultivables implica su abandono al convertirse en improductivas, esto necesariamente implica la transformación de nuevas tierras para su aprovechamiento. De esta manera, la restauración de las áreas irrigadas degradadas contribuye a una planificación territorial que articula la relación oasis-secano en un proceso de complementación y no de competencia (2). Por otra parte, las medidas definidas para rehabilitar suelos afectados por salinización secundaria deben incluir acciones que reduzcan el ascenso del nivel freático, promuevan la infiltración y mejoren sus condiciones físicas y químicas (35). En cada caso, las medidas que mejor se ajusten estarán asociadas con los mecanismos que promovieron la salinización en primer lugar. De esta manera, una medida apropiada para restaurar suelos salinizados a causa del reemplazo de la cobertura natural será la

reincorporación de especies perennes en los sistemas agrícolas; mientras que en el caso de salinización por irrigación, las medidas se vincularán con la mejora del manejo del riego y su drenaje (9, 47).

Sin embargo, considerando que la instalación de un sistema de drenaje puede resultar en algunas circunstancias económicamente inviable, se exploró la potencialidad de la reforestación para promover el descenso del nivel freático. Este efecto, conocido como "biodrenaje" (32), obtuvo resultados variables sobre el control de la salinización. Si bien se asoció el control del nivel freático con un descenso en la concentración de sales bajo plantaciones forestales (14), también pudo detectarse una disminución de la salinidad sin observarse un descenso del nivel freático, lo cual fue explicado por la continua recarga lateral (21). A la inversa, también se produjo un descenso del nivel freático bajo una plantación, con un cono de depresión similar al causado por un pozo de bombeo, sin poder relacionarlo con el nivel de salinidad (32). Incluso, se llegó a registrar un proceso de salinización provocado por una forestación implantada sobre pastizales naturales (28). Considerando que las plantaciones de árboles tienen una capacidad de transpiración 70% superior que la de pastizales o cultivos, si esta mayor demanda se suplía con aguas subterráneas poco profundas puede desencadenar la salinización del suelo, a partir de una inversión en el gradiente hidráulico (22).

Otro abordaje potencial sería promover la movilización de las sales en el suelo. Esto puede conseguirse a través de medidas que mejoren la estructura del mismo, favoreciendo la infiltración y lixiviación de sales. Una medida de restauración apropiada para esto es la revegetación con especies halófitas debido a las condiciones extremas impuestas por

la salinidad. De esta forma, se registraría una disminución de la salinidad, siendo el efecto más pronunciado cerca de la superficie debido a una mayor acumulación de materia orgánica a partir de la hojarasca (10). Sin embargo, en caso de optar por especies no halófitas para revegetar, se recomienda inocularlas con organismos simbiotes para mejorar su supervivencia. De esta manera, se observó que tanto en el caso de la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares (45), como con bacterias de la rizósfera (27), dichos mutualismos mejoraron la supervivencia, crecimiento y reproducción asexual de las plantas, posiblemente a partir del incremento de la absorción selectiva de nutrientes, lo cual alivia los efectos deletéreos de los suelos salinos.

Finalmente, otra alternativa para disminuir la concentración de sales en el suelo es la fitorremediación. Como ya fue mencionado, la remediación implica la remoción de contaminantes del medio ambiente. En este caso, se utilizan especies vegetales halófitas por su carácter de bio-acumuladoras, aprovechando los mecanismos que utilizan naturalmente para compartimentar las sales y sobrevivir en estas condiciones (20). Esta capacidad bio-acumuladora puede ser confirmada detectando una disminución en la concentración de sales en el suelo, conjuntamente con un aumento de la misma en los tejidos vegetales. Esto pudo ser corroborado para diferentes especies, tanto nativas como exóticas, ya sea en condiciones controladas de invernadero y en ausencia de lixiviación (31), como en experimentos realizados a campo (19).

En este trabajo se valoró el potencial relativo de estas medidas de restauración de suelos para la región de Cuyo, considerando que en este caso la salinización secundaria en el área irrigada se desencadena a causa

del mal manejo del riego. En este sentido, se consideró que las medidas con mayor nivel de aplicabilidad (potencial relativo alto) serían aquellas que actuasen sobre el nivel freático. Por el contrario, las medidas con menor nivel de aplicabilidad (potencial relativo medio y bajo) serían las que actuasen únicamente sobre las consecuencias del proceso, es decir, sobre la concentración de sales en el suelo (tabla 2).

Perspectivas de recuperación en Cuyo: la restauración productiva

En este contexto, un enfoque interesante para explorar en la región de Cuyo es el de la restauración productiva. Esta implica la recuperación de algunos elementos de la estructura y función del ecosistema original, junto con una producción sustentable que genere bienes económicos para la población

local (13). Considerando la potencialidad del biodrenaje para promover el descenso del nivel freático, conjuntamente con los efectos de la revegetación sobre la estructura del suelo, los árboles y arbustos del género *Prosopis* son excelentes candidatos para rehabilitar suelos salinizados con fines productivos (15, 35). Estas especies presentan una variedad de adaptaciones a las condiciones ambientales severas de los ecosistemas áridos, existiendo evidencia de que muchas toleran la salinidad. Además, revisten importancia económica para los habitantes de las zonas rurales (43). Los usos tradicionales de estos árboles y arbustos incluyen la provisión de sombra, alimento, forraje, leña, postes, madera y carbón; y potencialmente podrían ser utilizadas para producir una goma sustituta de la goma arábrica (42).

Tabla 2. Ventajas, desventajas y aplicabilidad de las potenciales medidas para restaurar suelos salinizados en la región de Cuyo.

Table 2. Advantages, disadvantages and applicability of potential measures to restore salinized soils in the Cuyo region.

Medida de restauración	Mecanismo	Ventajas	Desventajas	Potencial relativo para Cuyo
Reforestación (biodrenaje)	Promueve el descenso del nivel freático.	Medida asociada al proceso que promovió la salinización.	Posible interacción con otros mecanismos (p.e. recarga lateral).	Alto
Revegetación	Mejoran la estructura del suelo.	Favorece la infiltración y lixiviación de sales.	No tienen efectos sobre proceso que promovió la salinización.	Bajo
Revegetación con simbiontes		Favorece la infiltración y lixiviación de sales. Mejora la supervivencia de las plantas.		Efectos limitados a la zona de la raíz.
Fitorremediación	Remoción de sales del suelo.	Medida que actúa directamente sobre el contaminante.	No tiene efectos sobre proceso que promovió la salinización. Efectos limitados a la zona de la raíz.	Medio

Finalmente, cabe destacar la importancia de incorporar la percepción de los agricultores locales como una dimensión adicional durante la planificación de la restauración y la generación de recomendaciones de manejo. Considerando que tanto el manejo de la irrigación como la incorporación de especies leñosas para rehabilitar el suelo, implican cambios o ajustes en los sistemas de producción, la dimensión social no puede ser desatendida. Como es ampliamente reconocido, la aceptación y el apoyo de los actores sociales clave son decisivos para asegurar el éxito de cualquier proyecto de restauración (5, 11). En este contexto, esto es particularmente importante dado que algunas de las especies propuestas pueden ser rechazadas en virtud de su baja rentabilidad (9). En términos generales, la participación pública brinda oportunidades para identificar y abordar las preocupaciones de la comunidad local, considerando sus preferencias (11).

El desarrollo de la restauración ecológica en Argentina comenzó en los años 90's con proyectos localizados principalmente en regiones áridas y semiáridas, asociados a la recuperación de ecosistemas degradados por minería, explotación petrolera o ganadería (48). La Red de Restauración Ecológica de Argentina

(REA), creada en 2012 (48), puede constituirse como un espacio apropiado para discutir y consensuar la terminología utilizada en el contexto de esta disciplina, así como los abordajes metodológicos que mejor se adaptan para recuperar los ecosistemas argentinos, en su realidad socio-económica. Una dimensión aún pendiente por explorar en Argentina es la recuperación de sitios degradados por las actividades agrícolas y, en particular, la rehabilitación de tierras secas irrigadas. Deben invertirse especiales esfuerzos para indagar la percepción de los productores locales en cuanto al estado de degradación del suelo y sus causas, la pérdida de procesos o servicios, y la potencial aceptación de las medidas de restauración propuestas. Considerando la situación de los oasis salinizados en Cuyo, un abordaje especialmente prometedor es el de la restauración productiva con especies del género *Prosopis*. En este sentido, y considerando las características morfofisiológicas de los algarrobos, es importante investigar los efectos de estas especies sobre el nivel freático, la estructura del suelo y la concentración de sales, para así poder evaluar, con mayor precisión, su potencial para la restauración de suelos en estas tierras secas irrigadas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abraham, E. M. 2000. Recursos y problemas ambientales de la provincia de Mendoza. In: Abraham, E. M.; Rodríguez Martínez, F. editors. Argentina: recursos y problemas ambientales de la zona árida. Primera parte: Provincias de Mendoza, San Juan y la Rioja. Caracterización ambiental. Vol. Tomo I. GTZ, IDR (Univ. Granada), IADIZA, SDSyPA, Argentina. 15-24.
2. Abraham, E. M. 2002. Lucha contra la desertificación en las tierras secas de Argentina. El caso de Mendoza. En: Fernández Cirelli, A.; Abraham, E. M. editors. El agua en Iberoamérica. De la escasez a la desertificación. Cooperación Iberoamericana CYTED Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo, Buenos Aires. 27-44.
3. Abraham, E. M. 2011. Desertification monitoring and assessment in Argentina. In: Winslow, M.; Sommer, S.; Bigas, H.; Martius, C.; Vogt, J.; Akhtar-Schuster, M.; Thomas, R. editors. Understanding Desertification and Land Degradation Trends. Dryland Science for Development Consortium. Proceedings of the UNCCD First Scientific Conference. Buenos Aires, Argentina.

4. Abraham, E. M.; Soria, D.; Rubio, C.; Rubio, M. C.; Virgillito, J. 2014. Modelo Territorial Actual, Mendoza, Argentina. Subsistema Físico-Biológico o Natural de la Provincia de Mendoza. Proyecto Ordenamiento Territorial para un Desarrollo Sustentable, PID-2009-00008. Disponible en: www.mendoza-conicet.gob.ar/otm
5. Abraham, E. M.; Guevara, J. C.; Candia, R. J.; Soria, N. D. 2016. Dust storms, drought and desertification in the Southwest of Buenos Aires Province, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 48(2): 221-241.
6. Amezketa, E. 2006. An integrated methodology for assessing soil salinization, a pre-condition for land desertification. *J. Arid Environ.* 67(4): 594-606.
7. Aronson, J.; Floret, C.; Floc'h, E. Le; Ovalle, C.; Pontanier, R. 1993. Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid lands. I. A view from the South. *Restor. Ecol.* 1(1): 8-17.
8. Auge M. 2004. Regiones hidrogeológicas. República Argentina y provincias de Buenos Aires, Mendoza y Santa Fe. La Plata. 111 p. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/15909/Documento_completo.pdf?sequence=1
9. Barrett-Lennard, E. G. 2002. Restoration of saline land through revegetation. *Agric. Water Manag.* 53(1-3): 213-226.
10. Basavaraja, P. K.; Sharma, S. D.; Badrinath, M. S.; Sridhara, S.; Hareesh, G. R. 2007. *Prosopis juliflora* - An efficient tree species for reclamation of salt affected soils. *Karnataka J. Agric. Sci.* 20(4): 727-731.
11. Bosworth Phalen, K. 2009. An invitation for public participation in ecological restoration: The reasonable person model. *Ecol. Restor.* 27(2): 178-186.
12. Bradshaw, A. D. 1996. Underlying principles of restoration. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53(S1): 3-9.
13. Ceccon, E. 2013. Restauración en bosques tropicales: fundamentos ecológicos, prácticos y sociales. Ediciones Díaz de Santos, México. 288 p.
14. Chhabra, R.; Thakur, N. P. 1998. Lysimeter study on the use of biodrainage to control waterlogging and secondary salinization in (canal) irrigated arid/semi-arid environment. *Irrig. Drain. Syst.* 12(3): 265-288.
15. Cony, M. A. 1995. Reforestación racional de zonas áridas y semiáridas con árboles de múltiples propósitos. *Interciencia.* 20(5): 249-253.
16. Dubovyk, O.; Menz, G.; Conrad, C.; Kan, E.; Machwitz, M.; Khamzina, A. 2013. Spatio-temporal analyses of cropland degradation in the irrigated lowlands of Uzbekistan using remote-sensing and logistic regression modeling. *Environ. Monit. Assess.* 185(6): 4775-4790.
17. Eilers, R. G.; Eilers, W. D.; Fitzgerald, M. M. 1997. A salinity risk index for soils of the canadian prairies. *Hydrogeol. J.* 5(1): 68-79.
18. Giordano, R.; Liersch, S. 2012. A fuzzy GIS-based system to integrate local and technical knowledge in soil salinity monitoring. *Environ. Model. Softw.* 36: 49-63.
19. Hamidov, A.; Beltrao, J.; Neves, A.; Khaydarova, V.; Khamidov, M. 2007. *Apocynum lancifolium* and *Chenopodium album* - Potential species to remediate saline soils. *WSEAS Trans. Environ. Dev.* 3(7): 123-128.
20. Hasanuzzaman, M.; Nahar, K.; Alam, M. M.; Bhowmik, P. C.; Hossain, M. A.; Rahman, M. M.; Prasad, M. N. V.; Ozturk, M.; Fujita, M. 2014. Potential use of halophytes to remediate saline soils. *Biomed Res. Int.* : [online] URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/58934>.
21. Hbirkou, C.; Martius, C.; Khamzina, A.; Lamers, J. P. A.; Welp, G.; Amelung, W. 2011. Reducing topsoil salinity and raising carbon stocks through afforestation in Khorezm, Uzbekistan. *J. Arid Environ.* 75(2): 146-155.
22. Heuperman, A. 1999. Hydraulic gradient reversal by trees in shallow water table areas and repercussions for the sustainability of tree-growing systems. *Agric. Water Manag.* 39(2-3): 153-167.
23. Kassas, M. 1995. Desertification: a general review. *J. Arid Environ.* 30(2): 115-128.
24. Llop, A.; Alvarez, A. 2002. Guía sobre salinización del agua subterránea en el este mendocino. 50 p. Disponible en: <http://www.ina.gov.ar/pdf/Cela-guia-salinizacion-agua.pdf>

25. Malins, D.; Metternicht, G. 2006. Assessing the spatial extent of dryland salinity through fuzzy modeling. *Ecol. Modell.* 193(3-4): 387-411.
26. Masoudi, M.; Patwardhan, A. M.; Gore, S. D. 2006. A new methodology for producing of risk maps of soil salinity. Case study: Payab Basin, Iran. *J. Appl. Sci. Environ. Manag.* 10(3): 9-13.
27. Nabti, E.; Sahnoune, M.; Ghoul, M.; Fischer, D.; Hofmann, A.; Rothballer, M.; Schmid, M.; Hartmann, A. 2010. Restoration of growth of durum wheat (*Triticum durum* var. waha) under saline conditions due to inoculation with the rhizosphere bacterium *Azospirillum brasilense* NH and extracts of the marine alga *Ulva lactuca*. *J. Plant Growth Regul.* 29(1): 6-22.
28. Nosetto, M. D.; Acosta, A. M.; Jayawickreme, D. H.; Ballesteros, S. I.; Jackson, R. B.; Jobbágy, E. G. 2013. Land-use and topography shape soil and groundwater salinity in central Argentina. *Agric. Water Manag.* 129: 120-129.
29. Noy-Meir, I. 1973. Desert ecosystems: Environment and producers. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 4: 25-51.
30. ONDTyD 2014. Índice de aridez. Disponible en: www.desertificacion.gov.ar/wp-content/uploads/2013/04/ia_climatico_arg1.jpg
31. Rabhi, M.; Hafsi, C.; Lakhdar, A.; Hajji, S.; Barhoumi, Z.; Hamrouni, M. H.; Abdelly, C.; Smaoui, A. 2009. Evaluation of the capacity of three halophytes to desalinate their rhizosphere as grown on saline soils under nonleaching conditions. *Afr. J. Ecol.* 47(4): 463-468.
32. Ram, J.; Garg, V. K.; Toky, O. P.; Minhas, P. S.; Tomar, O. S.; Dagar, J. C.; Kamra, S. K. 2007. Biodrainage potential of *Eucalyptus tereticornis* for reclamation of shallow water table areas in north-west India. *Agrofor. Syst.* 69(2): 147-165.
33. Rengasamy, P. 2006. World salinization with emphasis on Australia. *J. Exp. Bot.* 57(5): 1017-1023.
34. SER 2004. The SER International Primer on ecological restoration. Disponible en: <http://www.ser.org/docs/default-document-library/english.pdf>
35. Taleisnik, E.; López, Launestein, D. 2011. Leñosas perennes para ambientes afectados por salinidad. Una sinopsis de la contribución argentina a este tema. *Ecol. Austral.* 21(1): 3-14.
36. Thomas, D. S. G.; Middleton, N. J. 1993. Salinization: new perspectives on a major desertification issue. *J. Arid Environ.* 24(1): 95-105.
37. Torres, E.; Montaña, E.; Torres, L.; Abraham, E. M. 2005. Problemas del uso del agua en tierras secas: oasis y desierto en el norte de Mendoza, Argentina. En: Fernández Cirelli A, Abraham EM, editors. Cooperación Iberoamericana CYTED Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo, Mendoza. 11-24.
38. UN 2015. United Nations. Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development. Disponible en: http://www.un.org/pga/wp-content/uploads/sites/3/2015/08/120815_outcome-document-of-Summit-for-adoption-of-the-post-2015-development-agenda.pdf
39. UNCCD 1994. Convention to combat desertification in those countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa. Final text of the convention. 58 p. Disponible en: <http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/conventionText/conv-eng.pdf>
40. UNCCD 2012. Desertification: a visual synthesis. 50 p. Disponible en: <http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Publications/Desertification-EN.pdf>
41. UNCCD 2012. Zero Net Land Degradation. A sustainable development goal for Rio+20. 28 p. Disponible en: http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Rio+20/UNCCD_PolicyBrief_ZeroNetLandDegradation.pdf
42. Vilela, A.; Bolkovic, M. L.; Carmanchahi, P.; Cony, M.; Lamo D. de; Wassner, D. 2009. Past, present and potential uses of native flora and wildlife of the Monte Desert. *J. Arid Environ.* 73(2): 238-243.
43. Villagra, P. E.; Vilela, A.; Giordano, C.; Alvarez, J. A. 2010. Ecophysiology of *Prosopis* species from the arid lands of Argentina: what do we know about adaptation to stressful environments? In: Ramawat KG, editor. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. 321-340.
44. Zhang, T. T.; Zeng, S. L.; Gao, Y.; Ouyang, Z. T.; Li, B.; Fang, C. M.; Zhao, B. 2011. Assessing impact of land uses on land salinization in the Yellow River Delta, China using an integrated and spatial statistical model. *Land use policy.* 28(4): 857-866.

45. Zhang, Y. F.; Wang, P.; Yang, Y. F.; Bi, Q.; Tian, S. Y.; Shi, X. W. 2011. Arbuscular mycorrhizal fungi improve reestablishment of *Leymus chinensis* in bare saline-alkaline soil: implication on vegetation restoration of extremely degraded land. *J. Arid Environ.* 75(9): 773-778.
46. Zhou, D.; Lin, Z.; Liu, L. 2012. Regional land salinization assessment and simulation through cellular automaton-Markov modeling and spatial pattern analysis. *Sci. Total Environ.* 439: 260-274.
47. Zhou, D.; Lin, Z.; Liu, L.; Zimmermann, D. 2013. Assessing secondary soil salinization risk based on the PSR sustainability framework. *J. Environ. Manage.* 128(15): 642-654.
48. Zuleta, G.; Rovere, A. E.; Pérez, D.; Campanello, P. I.; Guida Johnson, B.; Escartín, C.; Dalmaso, A.; Renison, D.; Ciano, N.; Aronson, J. 2015. Establishing the ecological restoration network in Argentina: from Rio1992 to SIACRE2015. *Restor. Ecol.* 23(2): 95-103.