

Efectos de los disturbios provocados por puestos ganaderos sobre el complejo agua-suelo-vegetación en ecosistemas áridos acoplados al acuífero freático

P. A. Meglioli^{1,*}

(1) Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET, Mendoza). Av. Ruiz Leal s/n, Parque General San Martín, CP 5500, Mendoza, Argentina.

* Autor de correspondencia: P.A. Meglioli [pmeglioli@mendoza-conicet.gob.ar]

> Recibido el 23 de septiembre de 2016 - Aceptado el 02 de noviembre de 2016

Meglioli, P. A. 2016. Efectos de los disturbios provocados por puestos ganaderos sobre el complejo agua-suelo-vegetación en ecosistemas áridos acoplados al acuífero freático. *Ecosistemas* 25(3):149-153 Doi.: 10.7818/ECOS.2016.25-3.20

Introducción

La mayoría de los ecosistemas de la Tierra se encuentran sometidos a los cambios de uso de suelo, los cuales modifican los procesos ecológicos e hidrológicos, con consecuencias sobre la provisión de bienes y servicios ecosistémicos. En los ambientes áridos, el agua es un factor limitante de la productividad; y la vegetación regula los flujos de ingresos y egresos del agua en el ecosistema. El Monte Central (Argentina) es una de las regiones más áridas de Sudamérica, con la particularidad de ser un desierto con bosques freatófitos acoplados al acuífero libre en el Noreste de Mendoza. A pesar de que las lluvias (<300 mm anuales) constituyen los principales ingresos hídricos, la presencia de agua freática próxima a la superficie (profundidad entre 7-15 m) permite la formación de bosques abiertos de *Prosopis flexuosa* en valles inter-médanos y el desarrollo de comunidades humanas superando lo esperado de acuerdo a las precipitaciones locales (Jobbágy et al. 2011). En este paisaje, los valles inter-médanos conforman unidades topográficas bajas, las cuales se alternan por dunas arenosas o médanos activos, donde el agua freática es menos asequible para la vegetación.

Los algarrobales albergan a pobladores humanos de ascendencia Huarpe, los cuales crían cabras y vacas, utilizando el agua subterránea y productos forestales. La necesidad de comprender los vínculos hombre-suelo-vegetación-acuífero en éste ecosistema motivaron ésta investigación; la cual fue abordada desde los mecanismos que controlan la dinámica y el funcionamiento ecosistémico, y las consecuencias de los disturbios por los asentamientos ganaderos.

Hipótesis y Objetivos

Se postula que en los puestos ganaderos hay menos vegetación con raíces superficiales y más deposición de heces y orina

que en los bosques sin disturbar (bosques control). Esto favorece el drenaje profundo del agua y la lixiviación de sales y nutrientes disueltos. Como consecuencia, se produce un aumento de la recarga local del acuífero, y un aumento en la concentración de sales y nutrientes en relación a los bosques control. El objetivo general fue evaluar los efectos de los disturbios por puestos ganaderos sobre el complejo agua-suelo-vegetación, focalizando el vínculo entre los sistemas superficiales y subterráneos en el Monte Central.

En sitios pareados con distintos niveles de disturbios (bosques control y puestos ganaderos) de la Reserva Telteca (Mendoza), se compararon: 1) la estructura de la vegetación, y la dinámica de agua, sales y nutrientes desde suelos superficiales hacia el acuífero; 2) la distribución espacial de recursos edáficos sub-superficiales (hasta 2 m de profundidad) en función de la distancia a corrales y de la vegetación presente; 3) la dinámica y composición química del agua freática; 4) el estado hídrico y nutricional de *Prosopis flexuosa* (Algarrobo dulce), la especie arbórea dominante.

Resultados y Discusión

Los resultados hallados son consistentes con la hipótesis general que guió la investigación. En los bosques control se encuentra que el movimiento vertical descendente del agua y nutrientes es interrumpido por los sistemas de raíces los cuales consumen el agua pluvial en su totalidad. En tales valles vegetados, el uso del agua subterránea, mediante la transpiración de las plantas freatófitas, supera las precipitaciones y no permite la percolación, determinando un régimen de descarga local. Por el contrario, los puestos ganaderos modifican el vínculo entre el suelo superficial y el agua freática, favoreciendo el transporte vertical del agua, sales y nutrientes en el suelo, aumentando la recarga local y la lixiviación de nitratos hacia el acuífero, debido a una menor absorción por las raíces.

Los puestos ganaderos simplificaron la estructura de la vegetación, determinado una menor cobertura de arbustos, pastos y herbáceas. La pérdida de la cobertura vegetal es notoria en superficie, con reducciones de coberturas observadas hasta los 2 km desde los puestos (Goirán et al. 2012); sin embargo, otros cambios no tan evidentes ocurren en el subsuelo y quedan expuestos cuando se analizan perfiles edáficos profundos (Meglioli et al. 2014).

Mientras que en los bosques control no se encontraron evidencias de flujo vertical de agua y solutos, en concordancia con estudios previos (Jobbágy et al. 2011); en los puestos ganaderos se obtuvieron mayor infiltración de agua y movilización de sales y nitratos desde la superficie hacia el acuífero. Los niveles de cloruros, los cuales indican régimen de recarga en desiertos y son inversamente proporcionales al flujo de agua descendente, fueron menores en los puestos ganaderos y representan una evidencia contundente del incremento del flujo vertical del agua (Meglioli et al. 2014) (Fig. 1).

Los puestos ganaderos generaron un gradiente centrípeto creciente en la disponibilidad de agua, sales, cloruros y nitratos hacia los corrales de los animales (Fig. 2; Tabla 1). Esto sugiere una interrupción en la asociación entre la variabilidad edáfica con la heterogeneidad de la vegetación y la presencia de mantillo observada en los bosques control (Meglioli et al. 2017). Los corrales (Posición 0 del transecto en los puestos) determinaron zonas de enriquecimiento de nutrientes; aunque existen pérdidas netas de nitrógeno total y materia orgánica del suelo cuando se evalúan efectos del puesto a mayor escala espacial.

Los dos usos de suelo mantuvieron similares fluctuaciones del nivel freático a lo largo del año, con descensos que progresan durante primavera-verano y una recuperación del nivel durante otoño-invierno (Fig. 3). Los puestos ganaderos, sin embargo, alteraron la química del acuífero, produciendo mayores concentraciones de cloruros, sales totales y nitratos en el agua freática respecto a los bosques control.

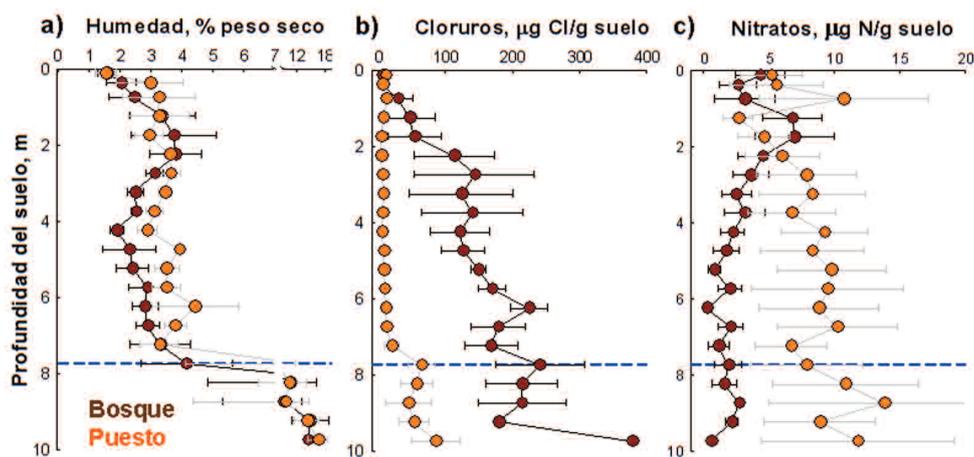


Figura 1. Distribución vertical de la humedad (a), los cloruros (b) y los nitratos (c) en perfiles edáficos profundos de bosques control y puestos ganaderos. Los símbolos representan los valores medios \pm error estándar en tres sitios pareados. Las líneas discontinuas horizontales indican influencia del nivel freático (zona saturada).

Figure 1. Vertical distribution of moisture (a), chlorides (b) and nitrates (c) in deep soil profiles (g-i) of control woodlands and livestock stations. Symbols represent mean values \pm standard error in three paired sites. The horizontal dashed lines indicate influence of water table level (saturated zone).

Tabla 1. Parámetros estimados a partir de modelos lineales mixtos para tres intervalos de suelo, considerando el efecto del uso de suelo (Intercepto) y la posición de los perfiles edáficos a lo largo de la transecta (Pendiente) sobre cada variable edáfica. Los coeficientes se obtuvieron promediando los modelos candidatos (diferencias en el Criterio de Información de Akaike <4 con el modelo de mejor ajuste), usando el paquete de inferencia multimodelo (MuMIn) y bajo el entorno del programa R. Para cada variable edáfica, las diferencias significativas ($P > |z|$ valor) en los parámetros de regresión son incluidas, considerando a el bosque control como referencia. $P < 0.01$ '***'; $P < 0.05$ '**'; $P < 0.1$ '*'.

Table 1. Parameters estimated from linear mixed models at three soil intervals, considering the effect of land use (intercept) and position along the transect (slope) on each edaphic variable. Coefficients were obtained averaging candidate models (differences from the Akaike Information Criterion <4 of the best fitting model), using the multi-model inference package (MuMIn) by the R program. For each edaphic variable, significant differences ($P > |z|$ value) in intercepts and slopes of regression models are included, considering the control woodland as a reference. Significance codes: $P < 0.01$ '***'; $P < 0.05$ '**'; $P < 0.1$ '*'.

Intervalo de suelo	Parámetros	Uso de Suelo	Humedad		Cloruros		Cond. Eléct.		Nitratos	
			Coef.		Coef.		Coef.		Coef.	
Superficial (0-50 cm)	Intercepto	Bosque	2.18	***	20.9		378.4	***	8.80	***
		Puesto	3.88	***	144.6	*	602.7	**	14.02	***
	Pendiente	Bosque	0.00		0.6		-0.2		-0.02	
		Puesto	-0.05	***	-4.0	***	-15.3	***	-0.27	***
Intermedia (50-100 cm)	Intercepto	Bosque	1.95	***	62.6		549.4	***	8.90	***
		Puesto	1.93	**	-14.2		-141.3		6.71	***
	Pendiente	Bosque	0.00		2.2	*	3.8		-0.09	*
		Puesto	-0.03	***	-3.1	**	-6.7	**	0.00	
Profunda (150-200 cm)	Intercepto	Bosque	2.66	***	225.1	***	871.6	***	3.59	***
		Puesto	0.69	*	-198.4	***	-547.4	**	8.41	**
	Pendiente	Bosque	-0.02	***	-0.6		3.3		-0.01	
		Puesto	0.00		0.3		-5.4		-0.05	

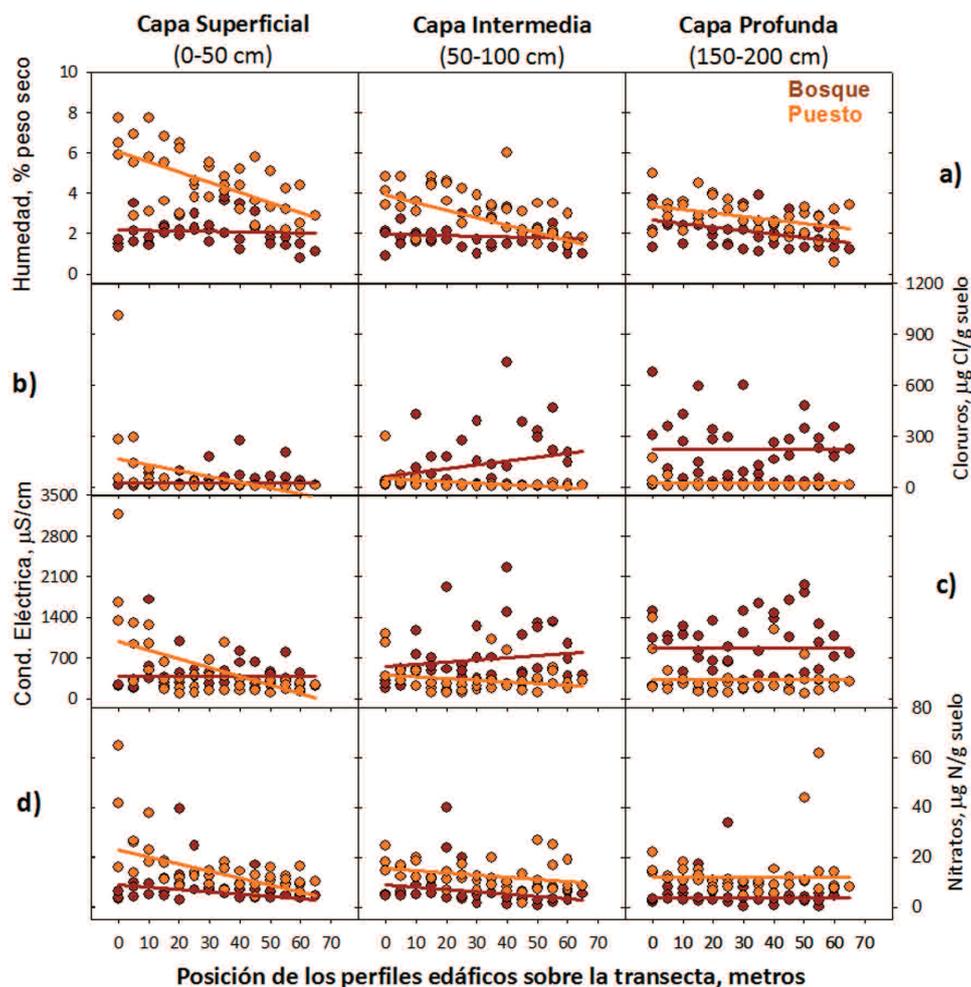


Figura 2. Distribución horizontal de la humedad (a), los cloruros (b), la conductividad eléctrica (c) y los nitratos (d) del suelo en bosques control y puestos ganaderos para la capa edáfica superficial (primera columna), intermedia (segunda columna) y profunda (tercera columna). En tres puestos ganaderos, una transecta lineal, con muestreos de suelos cada 5 m, comenzó en el corral (0 m) y fue dirigida hacia el ecotono con el bosque (70 m); mientras que en tres bosques control, una transecta similar comenzó en el fondo del valle. Cada símbolo representa una medición simple. Las líneas continuas corresponden a las regresiones lineales para los bosques control (marrón) y puestos ganaderos (naranja).

Figure 2. Horizontal distribution of soil moisture (a), chloride (b), electric conductivity (c), and nitrate (d) in control woodlands and livestock stations for the shallow (first column), intermediate (second column) and deep (third column) soil intervals. In three livestock stations, a linear transect, with soil sampling every 5 m, was laid from a corral (0 m), running towards the woodland boundary (70 m); while in three control woodlands a similar transect started at the bottom of the valley. Each symbol represents a single measurement. Solid lines correspond to the linear regressions for control woodlands (brown) and livestock stations (orange).

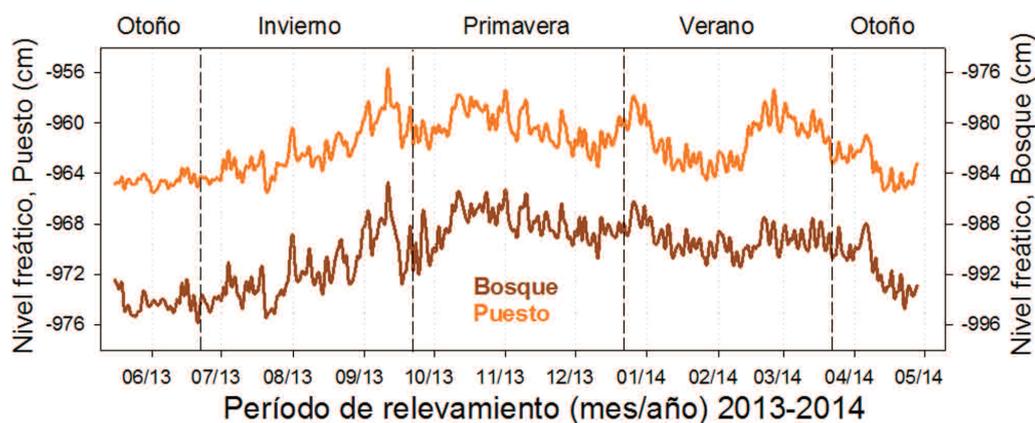


Figura 3. Fluctuaciones del nivel freático para el bosque control y puesto ganadero del sitio pareado 3 durante la estación de crecimiento (2013-2014). El eje y indica cambios relativos en la profundidad del nivel freático y no es destinado para hacer comparaciones absolutas de nivel freático entre ambos usos de suelo. Notar que los ejes y, a la derecha (bosque control) e izquierda (puesto ganadero), tienen la misma escala relativa, pero distintos valores absolutos. Los datos fueron obtenidos mediante transductores de presión con registro continuo (freatímetro, HOBO) instalados en los pozos. La profundidad del agua subterránea fue corregida luego de descontar la presión barométrica, la cual fue medida con un sensor similar (HOBO) ubicado en el aire.

Figure 3. Water-table level fluctuations for control woodland and livestock station of paired site 3, during the growing season (2013-2014). The y-axis indicates relative depth changes and is not intended for absolute level comparisons between both land uses. Note that the right (control woodland) and left (livestock station) y-axis numbers are the same scale but different absolute values. Continuous data were recorded using automated pressure transducers with built-in data loggers (HOBO water level logger) installed in wells. Water depth was corrected after discounting barometric pressure, which was measured with a similar sensor (HOBO) installed in the air.

Los puestos ganaderos modificaron la ecofisiología de los algarrobos, determinando menor nivel de estrés hídrico (mayor potencial hídrico y conductancia estomática foliar), menor eficiencia de uso del agua (menor $\delta^{13}\text{C}$ foliar, indica que el individuo transpira más agua por cantidad de biomasa que produce), mejor estado nutricional (menor relación Carbono/Nitrógeno foliar) y mayor crecimiento en longitud de ramas nuevas. Por lo tanto, la fisiología y crecimiento vegetativo de *P. flexuosa* fueron regulados indirectamente por el uso del suelo, al aumentar la disponibilidad de agua y nutrientes en los suelos de los sitios disturbados (Meglioli et al. 2016).

Conclusiones

A partir de ésta tesis se demuestra que la integridad de la vegetación ejerce fuertes controles sobre los ciclos del agua, carbono y nitrógeno en el Monte Central; y que los cambios de uso de suelo alteran los flujos hídricos y de nutrientes, con efectos que varían a diferentes escalas (Fig. 4).

A nivel de paisaje, los puestos producen disminución de la cobertura vegetal, con la consecuente reducción en la fijación del carbono, y redistribución del agua y solutos del suelo. También favorecen el drenaje profundo del agua y la lixiviación de nutrientes hacia el acuífero debido a la menor absorción por los sistemas de raíces. Esto es semejante a los procesos de recarga por lluvias estivales observado en los médanos con baja cobertura vegetal (Jobbágy et al. 2011).

A nivel local, el agua, sales, cloruros y nutrientes del suelo se acumularon en los corrales de los puestos, mientras que en los bosques control la distribución espacial estuvo asociada con la presencia de mantillo y grupos funcionales de plantas. Estos cambios en la acumulación y la distribución de recursos edáficos pueden indicar procesos de degradación en suelos áridos.

A nivel de planta, los puestos ganaderos determinaron mejoras hídricas y nutricionales de los algarrobos. Por lo tanto, la vegetación freatófita que permanece en sitios disturbados podría amortiguar el estrés ambiental debido al mayor aporte de recursos superficiales (agua y nutrientes), incrementado su crecimiento vegetativo. En los puestos ganaderos, una mayor producción de ramas nuevas, y en consecuencia de follaje, tiende a compensar, a escala de individuo, la remoción de la vegetación, incluyendo leña y troncos de árboles muertos.

Mediante este trabajo se pretendió evaluar los efectos de los puestos ganaderos no considerándolos como una amenaza para el ambiente, sino más bien con la concepción de que éstos son parte de un sistema dialéctico de interrelaciones hombre-naturaleza. Un desafío actual que opera a múltiples escalas, desde el nivel local, regional y en última instancia global, es lograr sistemas acoplados hombre-naturaleza que sean productivos y sostenibles en el tiempo (Villagra et al. 2009). Para esto es esencial poner en valor los estudios interdisciplinarios e integrados sobre los procesos de toma de decisiones socioeconómicas y ambientales.

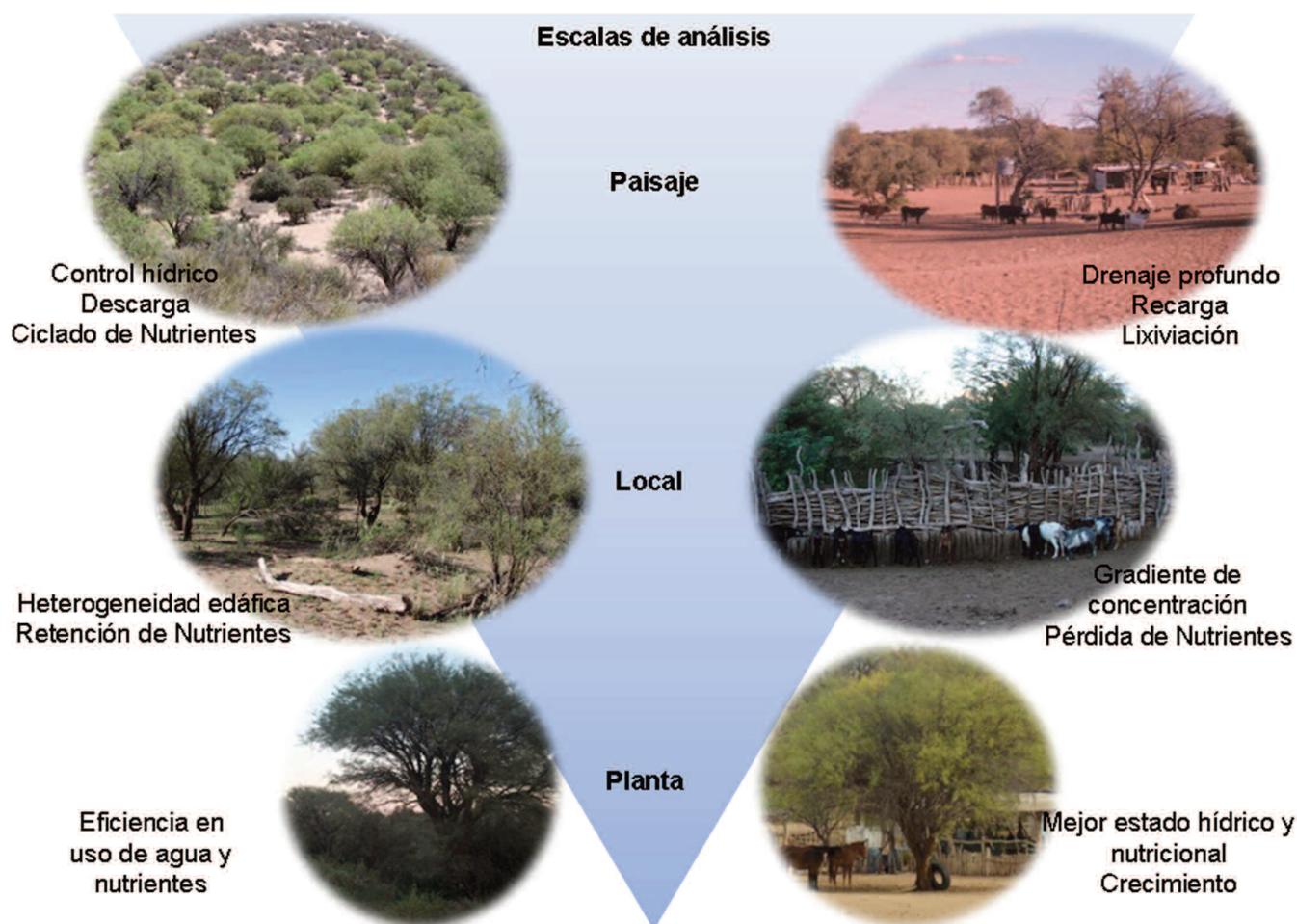


Figura 4. Efectos del cambio de uso en el desierto del Monte Central, a diferentes escalas espaciales. Los procesos relevantes que ocurren bajo diferentes niveles de disturbios son mencionados para los bosques control (menor intensidad de uso de suelo) y puestos ganaderos (mayor intensidad de uso de suelo) en la parte izquierda y derecha, respectivamente.

Figure 4. Effects of land use change in the Central Monte desert, at different spatial scales. Relevant processes occurring under different levels of disturbance are highlighted for the control woodlands (lower land use intensity) and livestock stations (higher land use intensity) on the left and right sides, respectively.

Agradecimientos

Al Programa de Doctorado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Cuyo (PROBIOL, Mendoza) y al Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA, CCT-CONICET, Mendoza). A CONICET y AGENCIA por otorgar las becas doctorales de formación. Esta tesis fue financiada por proyectos de investigación coordinados por el Dr. Pablo Villagra y la Dra. Julieta Aranibar.

Referencias

Goirán, S., Aranibar, J.N., Gomez, M.L. 2012. Heterogeneous spatial distribution of traditional livestock settlements and their effects on vegetation cover in arid groundwater coupled ecosystems in the Monte Desert (Argentina). *Journal of Arid Environments* 87: 188-197.

Jobbágy, E.G., Noretto, M.D., Villagra, P.E., Jackson, R.B. 2011. Water subsidies from mountains to deserts: their role in sustaining groundwater-fed oases in a sandy landscape. *Ecological Applications* 21: 678-694.

Meglioli, P.A., Aranibar, J.N., Villagra, P.E., Alvarez, J.A., Jobbágy, E.G. 2014. Livestock stations as foci of groundwater recharge and nitrate leaching in a sandy desert of the Central Monte, Argentina. *Ecohydrology* 7: 600-611.

Meglioli, P.A., Villagra, P.E., Aranibar, J.N. 2016. Does land use change alter water and nutrient dynamics of phreatophytic trees in the Central Monte desert? *Ecohydrology* 9: 738-752.

Meglioli, P.A., Aranibar, J.N., Villagra, P.E., Vega Riveros, C. 2017. Spatial patterns of soil resources under different land use in *Prosopis* woodlands of the Monte desert. *Catena* 149: 86-97.

Villagra, P.E., Defossé, G., Del Valle, H., Tabeni, M.S., Rostagno, C.M., Cesca, E., et al. 2009. Land use and disturbance effects on the dynamics of natural ecosystems of the Monte Desert. Implications for their management. *Journal of Arid Environments* 73: 202-211.

PABLO ANDRÉS MEGLIOLI

Disturbance effects by livestock settlements on the water-soil-vegetation complex in arid groundwater coupled ecosystems. Efectos de los disturbios provocados por puestos ganaderos sobre el complejo agua-suelo-vegetación en ecosistemas áridos acoplados al acuífero freático

Tesis Doctoral

Programa de Posgrado en Biología (PROBIOL). Universidad Nacional del Cuyo. Mendoza, Argentina

Marzo 2015

Directores: Pablo Eugenio Villagra y Julieta Nélica Aranibar

Publicaciones resultantes de la tesis

Meglioli, P.A., Aranibar, J.N., Villagra, P.E., Alvarez, J.A., Jobbágy, E.G. 2014. Livestock stations as foci of groundwater recharge and nitrate leaching in a sandy desert of the Central Monte, Argentina. *Ecohydrology* 7: 600-611.

Meglioli, P.A., Villagra, P.E., Aranibar, J.N. 2016. Does land use change alter water and nutrient dynamics of phreatophytic trees in the Central Monte desert? *Ecohydrology* 9: 738-752.

Meglioli, P.A., Aranibar, J.N., Villagra, P.E., Vega Riveros, C. 2017. Spatial patterns of soil resources under different land use in *Prosopis* woodlands of the Monte desert. *Catena* 149: 86-97.