

# La eliminación selectiva de vegetación arbustiva en un bosque seco de Argentina y su efecto sobre la dinámica de agua

## *Selective elimination of woody vegetation in an Argentinean Dry Forest: the effect on water dynamics*

V. A. Marchesini<sup>1</sup>, J. A. Sobrino<sup>2</sup>, M. V. Hidalgo<sup>2</sup> y C. M. Di Bella<sup>3</sup>  
marchesi@ifeva.edu.ar

<sup>1</sup>IFEVA-CONICET y Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453, Buenos Aires, C1417DSE, Argentina

<sup>2</sup>Unidad de Cambio Global/IPL, Universitat de València, Parque Científico, Polígono La Coma s/n, 46980, Valencia, España.

<sup>3</sup>Instituto de Clima y Agua (CIRN-INTA Castelar) Los Reseros y Las Cabañas s/n, 1712, Castelar, Buenos Aires, Argentina

Recibido el 06 de abril de 2009, aceptado el 15 de mayo de 2009

### RESUMEN

En sistemas semiáridos los cambios en la proporción de formas de vida (pastos/arbustos/árboles) pueden impactar de manera importante en la dinámica y el funcionamiento del ecosistema a diferentes escalas. Usando imágenes Landsat 5 TM y mediciones de campo el presente trabajo muestra como la eliminación del estrato arbustivo en un bosque seco del centro de Argentina disminuyó la evapotranspiración a escala regional y aumentó la cantidad de agua almacenada en el perfil de suelo. Los resultados obtenidos son discutidos en el marco de los cambios en la estructura de la vegetación y las posibles consecuencias sobre la dinámica de agua de este sistema.

**PALABRAS CLAVE:** deforestación - evapotranspiración - sensores remotos - bosques secos- arbustos- dinámica de agua

### ABSTRACT

In arid ecosystems changes in the proportion of life forms (grasses/shrubs/trees) may have important consequences on ecosystem function and dynamics. In this work we used Landsat 5 TM images and field observations to show that the elimination of shrubs in a dry forest of the center of Argentina produced a considerable reduction in evapotranspiration at regional scale and increased soil water storage at local scale. These results are discussed in terms of changes of vegetation structure and their consequences on the water dynamics of this ecosystem.

**KEYWORDS:** deforestation- evapotranspiration - remote sensing - dry forest - shrubs- soil water dynamics

### INTRODUCCIÓN

Los lugares semiáridos representan zonas de transición en los cuales, cambios en la estructura de la

vegetación pueden tener consecuencias importantes (Huxman *et al.* 2005). Las especies leñosas ejercen un efecto significativo sobre los flujos de agua ya que en general las raíces tienen acceso a profundi-

dades mayores a la zona de evaporación (Jackson *et al.* 1996, Jackson *et al.* 2002, Schenk y Jackson 2002). En tal sentido, el funcionamiento de todo un ecosistema puede estar determinado por las características del grupo funcional que contribuye con mayor cantidad de biomasa (Burke y Grime 1996, Díaz *et al.* 2007). En el caso de los bosques secos de Argentina, el estrato arbustivo es uno de los más importantes. En los últimos años una práctica agronómica que ha comenzado a ser muy utilizada en las zonas áridas de Argentina es el "rolado". Esta práctica consiste en la eliminación de especies leñosas, en general, arbustos de poco uso ganadero, mediante la utilización de un tractor que aplasta y quiebra la vegetación dejando los árboles de mayor diámetro y los pastos. Esta técnica se emplea para favorecer el establecimiento, crecimiento y rebrote de los pastos y facilitar el acceso del ganado a los mismos (Anriquez *et al.* 2005). La eliminación de los arbustos permite un mayor aprovechamiento de los recursos (agua y nutrientes) por parte de los pastos. Como resultado del rolado, el bosque queda transformado en una sabana con baja densidad de árboles y una gran cobertura de pastos (Kunst *et al.* 2003). Si bien el rolado parecería ser una práctica de menor impacto comparado con el desmonte total y el remplazo de bosque por agricultura, la eliminación completa del estrato arbustivo podría afectar fuertemente a la dinámica de agua.

Del monto total de agua que recibe un sistema, la evapotranspiración (ET) constituye uno de los componentes más importantes del balance hídrico. La magnitud de la ET dentro del ecosistema esta controlada por múltiples variables, como el tipo de vegetación, la estacionalidad, la textura del suelo, la topografía y la heterogeneidad espacial (Fernandez y Trillo 2005). De todas las variables mencionadas, la vegetación cumple un papel preponderante en la determinación del balance hídrico. Cualquier disturbio que elimine vegetación y provoque cambios en el índice de área foliar, puede provocar cambios en el balance de agua.

En sistemas áridos, ya sea porque los flujos son escasos o por la gran heterogeneidad espacial, cuantificar los diferentes componentes de la dinámica del agua, como la ET y la disponibilidad de agua en el suelo, resulta difícil. No obstante el conocer estas variables es de particular importancia a la hora de evaluar el impacto de las prácticas de manejo sobre los reservorios de agua en los ecosistemas (Anderson y Kustas 2008). Las estimaciones del balance de agua usando teledetección ofrecen una gran ventaja

respecto a los métodos tradicionales ya que permiten integrar la dinámica del agua en sitios con diferentes situaciones de manejo.

Considerando la falta de información existente sobre el impacto de las prácticas de manejo agrícola en la dinámica de agua en los bosques secos del centro de Argentina, el objetivo de este trabajo fue evaluar de qué manera el desmonte selectivo de vegetación arbustiva modifica algunos componentes del balance de agua del ecosistema. Utilizando sensores remotos e información obtenida de campo se estimó la evapotranspiración diaria y la cantidad de agua en suelo en parcelas de bosque natural y aquellas en las que previamente se eliminó la vegetación arbustiva. Conocer de qué manera la eliminación del estrato arbustivo impacta en la dinámica de agua de estos bosques nos ayudará a comprender mejor estos sistemas y orientar el manejo hacia prácticas sostenibles.

## METODOLOGÍA

### Área de estudio

El lugar donde se llevó a cabo el presente estudio está ubicado en el centro-oeste de la provincia de San Luis, Argentina (33.5° S 66.49° W), en un campo de 20.000 hectáreas situado a 30 kilómetros de la ciudad (ver figura 1). La zona se caracteriza por tener diferentes parcelas de uso agrícola y ganadero, y también extensas zonas de bosque natural. El área de uso agropecuario consiste en 8 parcelas de más de 200 hectáreas cada una, mientras que la zona de bosque natural ocupa una extensión de unas 10000 ha aproximadamente. En la región predominan bosques mixtos de *Prosopis flexuosa* y *Aspidosperma quebracho blanco* con un importante estrato arbustivo formado por especies del género *Larrea*, *Lycium* y *Condalia*. Los pastos predominantes de la zona son *Aristida mendocina*, *Trichloris crinita* y *Pappophorum caespitosum* entre otros.

El régimen de precipitación es primavero-estival (octubre-febrero) con una media de 400 mm anuales (serie 1989-2007). Las temperaturas medias oscilan en 24° C. Los suelos son calcáreos, de origen aluvial, escasa pendiente y poca cantidad de materia orgánica (Peña Zubiato *et al.* 1998). En estas zonas no ha habido intenso manejo forestal. Las condiciones climáticas y edáficas han condicionado el uso al pastoreo extensivo. Las zonas con mayor historia de uso son las pasturas cercanas a las viviendas siendo muy reciente la actividad agrícola en el lugar.

La eliminación selectiva de vegetación arbustiva en un bosque seco de Argentina y su efecto sobre la dinámica...



Figura 1. Área de estudio en círculo, ubicado en la provincia de San Luis, centro-oeste de Argentina



Figura 2. Maquinaria empleada para eliminar los arbustos, "rolado"



**Figura 3.** Transformación de bosque natural a pastizal rolado

### Medidas in situ

A fin de estimar la magnitud de los cambios en la dinámica de agua después de la eliminación de los arbustos (figuras 2 y 3), se realizaron mediciones *in situ* del contenido de agua en el suelo utilizando sensores TDR (*Time Domain Reflectometry*) a lo largo de tubos de acceso fijos instalados hasta 1.5 m de profundidad. Este sensor estima el contenido volumétrico de agua en el suelo considerando un radio de 30 cm alrededor del tubo. Las mediciones se realizaron durante el mes de abril de 2008 en diferentes lugares rolados y sin rolar.

### Datos de satélite

Las estimaciones de evapotranspiración en lugares desmontados (rolados) y en sitios contiguos de bosque natural (monte), se hicieron utilizando imágenes Landsat 5 TM correspondientes a los meses de octubre (comienzo de la estación de crecimiento de la vegetación) de los años 2001, 2004, 2006, 2007 y 2008 y al mes de enero (mediados de la estación de crecimiento) de los años 2007, 2008 y 2009.

### Estimación de la evapotranspiración

La estimación de la evapotranspiración diaria se realizó de acuerdo con Sobrino *et al.* (2005)

$$ET_d = \frac{\Lambda_i C_{di} R_{ni}}{L} \quad (1)$$

donde  $L$  es el calor latente de vaporización ( $L = 2.45 \text{ MJ kg}^{-1}$ ),  $R_{ni}$  es la radiación neta instantánea,  $C_{di}$  es la fracción entre la radiación neta diaria y la radiación neta instantánea, cuyo valor aproximado es 0.30 (Seguin y Itier 1983) y  $\Lambda_i$  es la fracción de evaporación que puede ser estimada a partir de la relación existente entre la temperatura de superficie y el albedo superficial (Roerink *et al.* 2000)(ver figura 4).

Esta relación permite obtener las temperaturas  $T_H$  y  $T_{LET}$  y por tanto  $\Lambda_i$

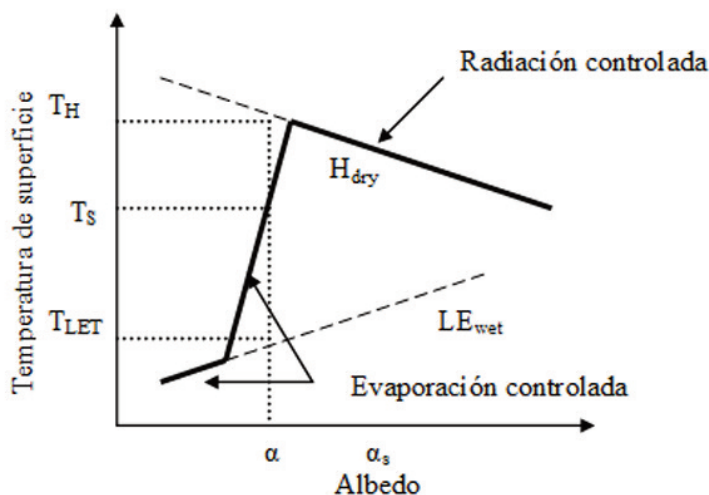
$$T_H = a_H + b_H \alpha \quad (2)$$

$$T_{LET} = a_{LET} + b_{LET} \alpha \quad (3)$$

$$\Lambda_i = \frac{T_H - T_S}{T_H - T_{LET}} \quad (4)$$

donde los coeficientes  $a_H$  y  $b_H$  se han obtenido en el caso de flujo de calor latente nulo, y  $a_{LET}$  y  $b_{LET}$  en el caso del flujo de calor sensible nulo.  $R_n$  se obtuvo de acuerdo con Hurtado y Sobrino (2000):

$$R_{ni} = (1 - \alpha_i) \cdot R_{ci}^\downarrow + \varepsilon \cdot R_{gi}^\downarrow - \varepsilon \sigma T_{Si}^4 \quad (5)$$



**Figura 4.** Relación entre la temperatura de superficie ( $T_s$ ) y el albedo superficial

siendo  $R_{ci}^\downarrow$  la radiación de onda corta descendente,  $\epsilon$  la emisividad de la superficie terrestre,  $R_{gi}^\downarrow$  la radiación de onda larga descendente,  $\sigma$  la constante de Stefan- Boltzman y  $T_s$  es la temperatura de superficie. El índice “i” hace referencia a valores instantáneos.

Para la estimación de la temperatura de superficie se ha aplicado el método monocanal (Jiménez-Muñoz *et al.* 2009) a la banda térmica (TM6) de las imágenes Landsat 5 TM. Este método necesita de la estimación del vapor de agua y de la emisividad de la superficie, el primero se ha obtenido a partir del producto MODIS (MOD07), mientras que la emisividad se ha calculado mediante el método de los umbrales de NDVI (Sobrino *et al.* 2008). En cuanto al albedo de la superficie, este se ha obtenido siguiendo a Liang (2000) utilizando para ello las bandas 1, 3, 4, 5 y 7 de Landsat 5 TM.

Esta metodología permite obtener la  $ET_d$  con un error de  $1 \text{ mm d}^{-1}$ , siendo necesario para poder ser aplicada que las condiciones atmosféricas sean constantes y que la zona de estudio presente zonas secas y zonas húmedas.

## RESULTADOS

En este apartado se presentan los resultados obtenidos de aplicar la metodología propuesta a las imá-

genes Landsat. Con este fin se han analizado por separado las imágenes correspondientes al mes de octubre de las obtenidas en enero. Por otro lado se presenta un estudio comparativo de los resultados obtenidos mediante teledetección y las medidas de contenido de agua tomadas in situ.

En la figura 5 esta representada una imagen de  $ET_d$  de enero de 2009 obtenida con la metodología presentada en el apartado anterior. En la misma se aprecian claramente las zonas de rolado (color azul), de monte (color verde) y de regadío (color rojo). La figura 6 muestra la evolución en el tiempo de los valores de evapotranspiración obtenidos de la serie de imágenes analizadas. Así, se observa como antes de la deforestación (imágenes 2001-2004), las parcelas de bosque natural y aquellas en las que a partir del año 2004 han sufrido desmonte presentan valores similares de  $ET_d$  del orden de  $4 \text{ mm d}^{-1}$  para los años 2001-2004. Sin embargo a partir del año 2006, cuando comenzó la eliminación de los arbustos, se observa una importante caída de la  $ET_d$  en los sitios desforestados con valores inferiores, entre un 15 a un 35 %, a los obtenidos en las zonas de bosque natural (figura 6). Este hecho se ve acentuado en los meses de verano (enero 2006-2009), donde la diferencia de evapotranspiración llega a un 45% menos en los sitios rolados que en el bosque natural. Dicha diferencia permanece prácticamente constante du-

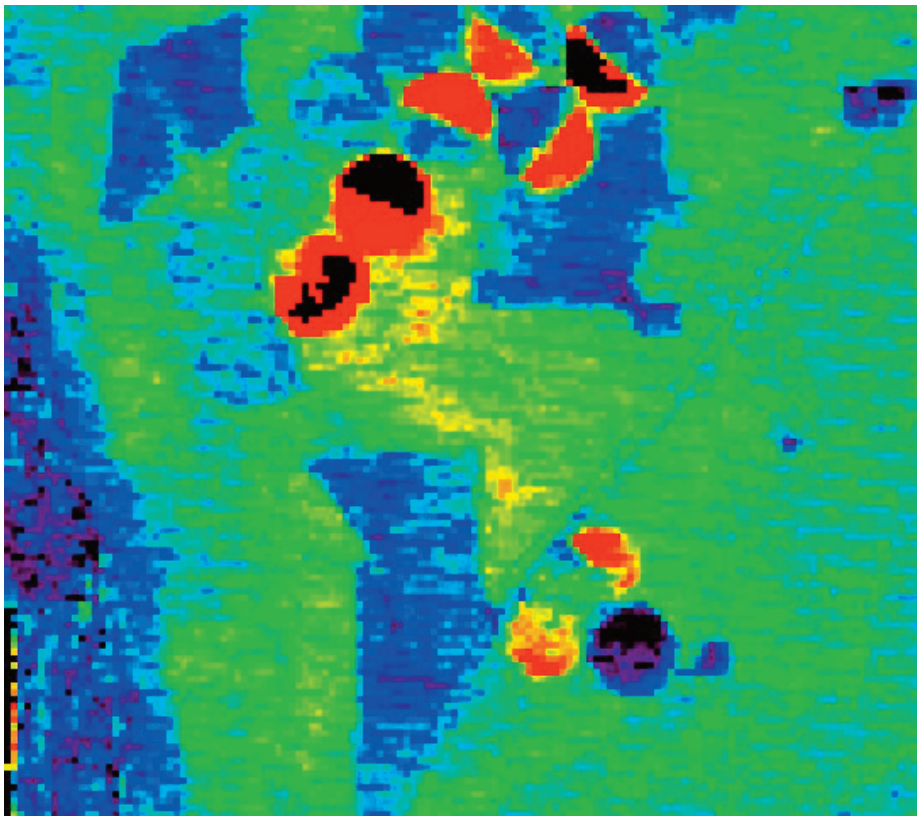
rante los 3 años de estudio (figura 7).

Además de observarse una disminución de la cantidad total de agua evaporada, las parcelas roladas presentan cierta heterogeneidad en los valores de evapotranspiración, siendo el coeficiente de variación dentro de una misma parcela del 33%. Mientras que en las áreas de vegetación natural presentan mayor homogeneidad en los valores de  $ET_d$ , obteniendo para estas un desvío menor del 10% (figura 6).

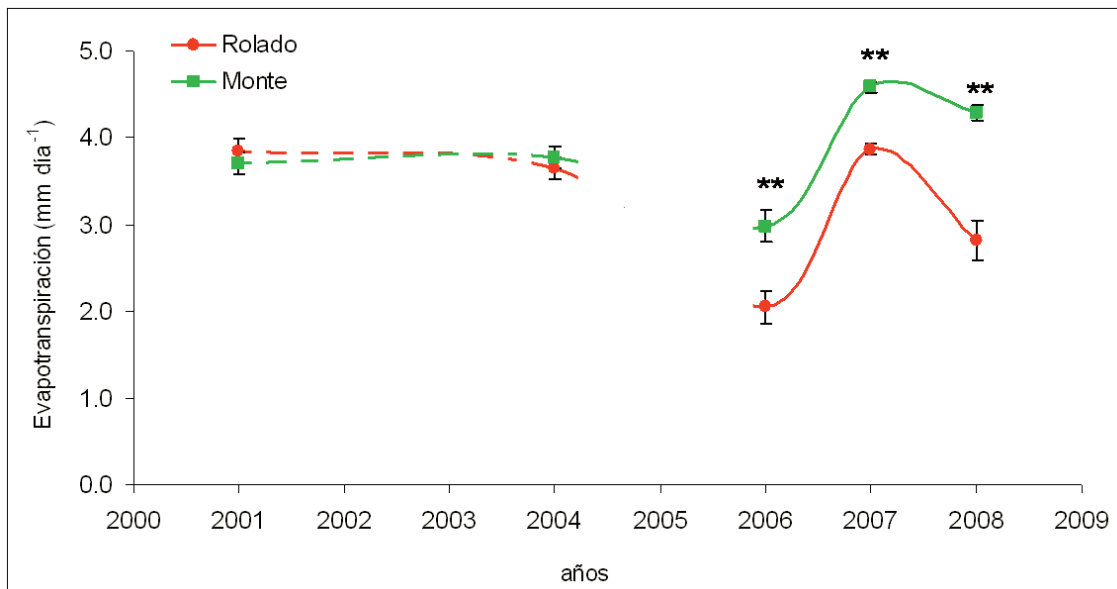
A menor escala, los perfiles de agua en el suelo, hasta el primer metro de profundidad, corroboran lo estimado mediante las imágenes Landsat. Los sitios rolados, con menor  $ET_d$ , presentan mayor humedad superficial en el perfil de suelo que los sitios en los que permanece la vegetación natural (figura 8).

Aunque los primeros centímetros no muestran diferencias significativas (<30cm), debido posiblemente a la gran heterogeneidad espacial y la alta cobertura de pastos en los sitios rolados, en el resto del perfil los sitios desforestados tienen entre un 30 a un 90 % más agua que los sitios sin desforestar.

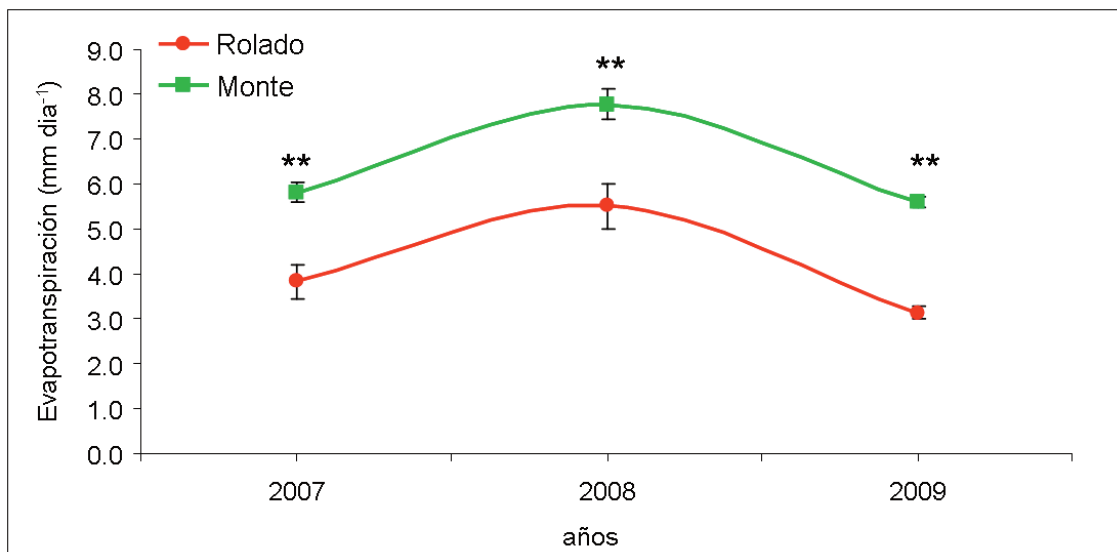
Para sintetizar, la eliminación selectiva de la vegetación leñosa en estos bosques secos parecería estar afectando de manera importante a la evapotranspiración a escala de paisaje así como también el flujo vertical a menor escala. En tal sentido, la disminución de hasta un 45 % de la  $ET_d$  se evidenció en un significativo incremento en el contenido de agua en el suelo. Para estos bosques secos, donde la disponibilidad de agua es clave, estas diferencias resultan de crucial importancia.



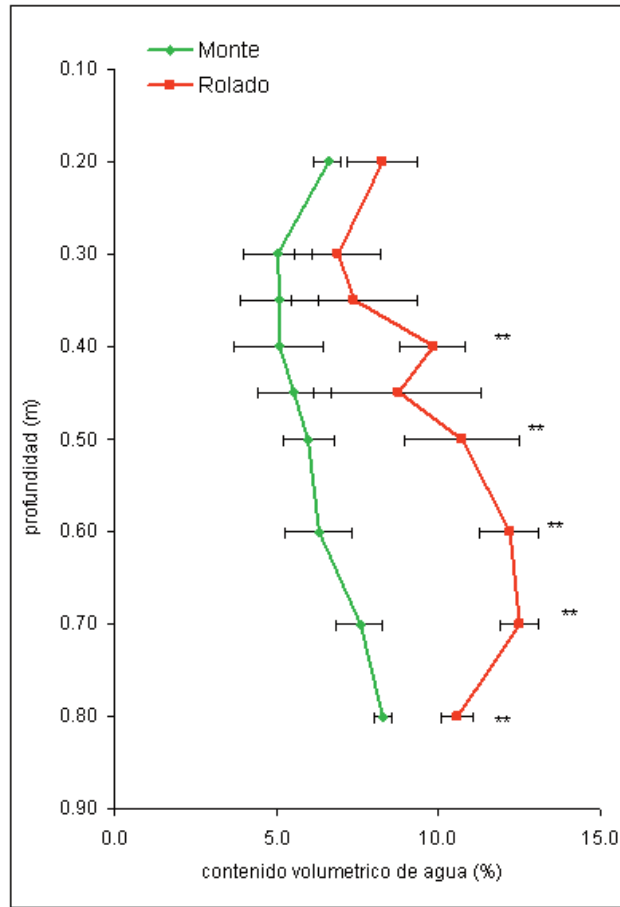
**Figura 5.** Valores de  $ET_d$  (mm d-1) obtenidos el 22 de enero de 2009 para la zona de estudio. En color azul aparecen los rolados, en color verde las zonas de vegetación natural y en color rojo los cultivos de regadío.



**Figura 6.** Dinámica de la ET<sub>d</sub> (mm d<sup>-1</sup>) correspondiente a imágenes del mes de octubre de diferentes años en zonas de monte (vegetación natural) y rolado (sitio desmontado). Los valores medios y errores estándares se han calculado para 7 parcelas de monte y 4 parcelas roladas \*\* significan diferencias significativas a p<0.05.



**Figura 7.** Dinámica de la ET<sub>d</sub> (mm d<sup>-1</sup>) correspondiente a imágenes del mes de enero para zonas de monte (vegetación natural) y rolado (sitio desmontado). Los valores medios y errores estándar se han calculado para 3 parcelas de monte y rolado respectivamente. \*\* significan diferencias significativas a p<0.05



**Figura 8.** Contenido volumétrico de agua en suelo durante el mes de abril de 2008. Los valores medios y errores estándar se han calculado para 5 parcelas de monte y 4 parcelas roladas \*\* significan diferencias significativas a  $p < 0.05$ .

## CONCLUSIONES

Los eventos que provocan la eliminación de biomasa vegetal a gran escala pueden afectar el ciclo hidrológico a través de modificaciones tanto del suelo como de la vegetación. Los resultados de este trabajo señalan que después de la extracción del estrato arbustivo ocurren importantes cambios en los componentes del balance de agua del sistema, disminuyendo marcadamente la evapotranspiración y aumentando la cantidad de agua total almacenada en el suelo.

Si bien es sabido que después de la aplicación del rolado, la biomasa de pastos puede aumentar hasta un 300 % (Blanco *et al.* 2005), este aumento en biomasa parecería no ser suficiente para compensar la caída de la evapotranspiración por ausencia de la vegetación leñosa.

En sitios semiáridos, como el bosque seco donde se realizó este trabajo, la vegetación dominante son los

arbustos, los árboles y los pastos. Cada tipo de vegetación usa los recursos disponibles de manera distinta (Sala 1989, Archer 1995) los pastos utilizan el agua de los estratos superficiales del suelo mientras que los arbustos pueden llegar más profundo e inclusive tener raíces profundas y superficiales que les permiten aprovechar tanto los pequeños como los grandes eventos de precipitación (Sala *et al.* 1994). Nuestros resultados demuestran que, al eliminar los arbustos, se produce un fuerte desbalance en los flujos de agua quedando mayor cantidad de agua “sin usar” por el resto de los grupos funcionales que permanecen en el sistema. En este sentido, es probable que la fuerte caída de la evapotranspiración y la acumulación de agua en el perfil del suelo en los sitios rolados impacten en los demás componentes del balance hídrico como, la evaporación directa, la escorrentía o el drenaje profundo. En Australia por ejemplo, el reemplazo de la vegetación leñosa por pasturas/cultivos provocó un aumento considerable



en las napas de agua y la consecuente salinización de más de 1.8 millones de hectáreas (George *et al.* 1997, George *et al.* 1999). El patrón opuesto ocurre en las forestaciones en las pampas de Argentina: si lo que se reemplaza es el pastizal natural por un bosque de leñosas, se observa una caída en la humedad edáfica y una disminución del drenaje profundo (Noisetto 2007)

Las regiones áridas ocupan un poco más del 40% de la superficie total del planeta (MEA 2005), muchas de estas regiones presentan entre un 10 y 20 % de su superficie en serios riesgos de degradación, afectando de manera importante la subsistencia de miles de personas en países en vías de desarrollo (Reynolds *et al.* 2007). En este sentido resulta de gran importancia preguntarnos cómo las prácticas de manejo que modifican el balance de agua podrían impactar en aquellos mecanismos implicados directamente en la provisión de servicios ecosistémicos (Díaz *et al.* 2007). La fragilidad de estos sistemas, debería conducirnos a considerar, no sólo la pérdida de diversidad específica, sino también aquellas funciones esenciales del ecosistema que permiten, además de la obtención de bienes de consumo, la sustentabilidad y mantención de estos sistemas a largo plazo.

## AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue subsidiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica de Argentina (PICT 1840/06), por la Universidad de Buenos Aires, el Inter- American Institute for Global Change Research (CRN II 3029), por el proyecto INTA AERN4 y AERN4642 y por una beca doctoral CONICET (V. Marchesini).

## BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, M., AND W. KUSTAS. 2008. Thermal Remote Sensing of Drought and Evapotranspiration. *EOS* 89:233-234.
- ANRIQUEZ, A., A. ALBANESI, C. KUNST, R. LEDESMA, C. LÓPEZ, A. RODRIGUEZ TORRESI, AND J. GODOY. 2005. Rolado de fachinales y calidad de suelos en el Chaco Occidental, Argentina *Ciencia del suelo* 23:145-157.
- ARCHER, S. 1995. Tree-grass dynamics in a *Prosopis*-thornscrub savanna parkland: reconstructing the past and predicting the future. *Ecoscience* 2:83-99.
- BLANCO, L. J., C. A. FERRANDO, F. N. BIURRUM, E. L. ORIONTE, P. NAMUR, D. J. RECALDE, AND G. D. BERNONE. 2005. Vegetation response to roller chopping and Buffelgrass seeding in Argentina. *Rangeland Ecology and Management* 58:219-224.
- BURKE, M. J. W., AND J. P. GRIME. 1996. An Experimental Study of Plant Community Invasibility. *Ecology* 77:776-790.
- DÍAZ, S., S. LAVOREL, F. DE BELLO, F. QUÉTIER, K. GRINGULIS, AND T. M. ROBSON. 2007. Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104:20684-20689.
- FERNANDEZ, R. J., AND N. TRILLO. 2005. La textura del suelo como fuente de heterogeneidad; sus efectos sobre la oferta de agua para las plantas. Pages 171-192 in M. Oesterheld, M. Aguiar, C. M. Ghersa, and J. M. Paruelo, editors. *La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas* Fac. de Agronomía, Buenos Aires. .
- GEORGE, R. J., D. MCFARLANE, AND B. NULSEN. 1997. Salinity threatens the viability of agriculture and ecosystems in western Australia *Hydrogeology Journal* 5:6-21.
- GEORGE, R. J., R. A. NULSEN, R. FERDOWSIAN, AND G. P. RAPER. 1999. Interactions between trees and groundwater in recharge and discharge areas- A survey of Western Australian sites. *Agricultural Water Management* 39:91-113.
- HURTADO, E., AND J. A. SOBRINO. 2000. Daily net radiation estimated from air temperature and NOAA-AVHRR data: a case study for the Iberian Peninsula. *International Journal of Remote Sensing* 22:1521-1533.
- HUXMAN, T. E., P. BRADFORD, D. D. BRESHEARS, R. SCOTT, K. A. SNYDER, K. HULTINE, W. POCKMAN, AND R. JACKSON. 2005. Ecohydrological implications of woody plant encroachment. *Ecology* 86:308-319.
- JACKSON, R. B., J. L. BANNER, J. E. G., W. T. POCKMAN, AND D. H. WALL. 2002. Ecosystem carbon loss with woody plant invasion of grasslands. *Nature* 418:623-626.
- JACKSON, R. B., J. CANADELL, J. R. EHLE-RINGER, H. A. MOONEY, O. E. SALA,

- AND E. D. SCHULZE. 1996. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia* 108:389-411.
- JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C., J. CRISTÓBAL, J. A. SOBRINO, SORIA G, NINYEROLA M, AND P. X. 2009. Revision of the Single-Channel Algorithm for Land Surface Temperature Retrieval From Landsat Thermal-Infrared Data. *Transactions on geoscience and remote sensing* 47:339-349.
- KUNST, C., R. LEDESMA, M. BASAN NICKISH, G. ANGELLA, D. PRIETO, AND J. GODOY. 2003. Rolado de "fachinales" e infiltración de agua en el Chaco occidental (Argentina). *RIA, INTA* 32:105-126.
- LIANG, S. 2000. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo: I Algorithms. *Remote Sensing of Environment* 76:213-238.
- MEA. 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Desertification Synthesis*. in W. R. Institute, editor. Millennium Ecosystem Assessment Washington, DC.
- NOSETTO, M. D. 2007. *Conversión de pastizales en forestaciones: impactos sobre la dinámica de agua y sales*. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.
- PEÑA ZUBIATE, C. A., D. L. ANDERSON, M. A. DEMMI, J. L. SAENZ, AND A. D'HIRIART, editors. 1998. *Carta de suelos y vegetación de la provincia de San Luis*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), San Luis, Argentina.
- REYNOLDS, J. F., D. M. STAFFORD SMITH, E. F. LAMBIN, B. L. TURNER II, M. MORTIMORE, S. P. J. BUTTERBURY, H. DOWLATABADI, AND R. J. FERNÁNDEZ. 2007. Global Desertification: Building a science for dryland development *Science* 316:847-851.
- ROERINK, G. J., Z. SU, AND M. MENENTI. 2000. S-SEBI: A Simple Remote Sensing Algorithm to Estimate the Surface Energy Balance. *Physics and Chemistry of the Earth (B)* 25 147-157.
- SALA, O. E. 1989. Resource partitioning between shrubs and grasses in the Patagonian steppe. *Oecologia* 81:501-505.
- SALA, O. E., W. K. LAUENROTH, AND R. A. GOLLUSCIO. 1994. Plant Functional Types in Temperate Arid Regions. in T. M. Smith, H. H. Shugart, and W. F.I., editors. *Plant Functional Types*. Cambridge University Press.
- SCHENK, H. J., AND R. B. JACKSON. 2002. Rooting depths, lateral roots spreads and below-ground/above-ground allometries of plants in water-limited ecosystems. *Journal of Ecology* 90:480-494.
- SEGUIN, B., AND B. ITIER. 1983. Using midday surface temperature to estimate daily evaporation from satellite thermal IR data. *International Journal of Remote Sensing* 4:371-383.
- SOBRINO, J. A., M. GÓMEZ, J. C. JIMÉNEZ-MUÑOZ, A. OLIOSO, AND G. CHEHBOUNI. 2005. A simple algorithm to estimate evapotranspiration from DAIS data: Application to the DAISEX Campaigns. *Journal of hydrology* 315.
- SOBRINO, J. A., J. C. JIMÉNEZ-MUÑOZ, G. SÒRIA, M. ROMAGUERA, L. GUANTER, J. MORENO, A. PLAZA, AND P. MARTÍNEZ. 2008. Land Surface Emissivity Retrieval From Different VNIR and TIR Sensors. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 46:316-327.