

ANÁLISIS COMPARATIVO DE DOS TÉCNICAS PARA EVALUAR LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA EN *Chuquiraga erinacea* Don.

COMPARATIVE ANALYSIS OF TWO TECHNIQUES TO EVALUATE THE WATER STORAGE CAPACITY IN *Chuquiraga erinacea* Don.

Alvarez Redondo Mónica^{1,*}, Fernando Avecilla², Edgardo Adema³
& Lucas Butti³

Recibido 24/11/2017
Aceptado 01/06/2018

RESUMEN

La intercepción de lluvia es un proceso escasamente estudiado en ambientes áridos y semiáridos. El objetivo de este estudio fue analizar comparativamente dos técnicas de campo para evaluar la capacidad de retención de agua en *Chuquiraga erinacea* Don., especie arbustiva característica de la región del ecotono Caldenal-Monte Occidental, Argentina. El estudio se realizó en el Campo Anexo de INTA en Chacharramendi, La Pampa, Argentina. Se midió capacidad de retención de agua sobre plantas enteras a partir de dos técnicas: simulación de lluvia e inmersión. La capacidad de retención de agua, expresado en porcentaje respecto de la biomasa verde, se determinó por diferencia peso mojado – peso fresco. A partir de un análisis de ANCOVA se determinó la igualdad de resultados de ambas técnicas, justificando la aplicación de inmersión por ser más expeditiva y económica en términos de tiempo y costos.

PALABRAS CLAVE: intercepción de lluvia, inmersión, simulación de lluvia, biomasa, semiárido-árido

ABSTRACT

Rainfall interception is a process scarcely studied in arid and semiarid environments. The aim of this study was comparatively analyze two field techniques to evaluate the water storage capacity in *Chuquiraga erinacea* Don., characteristic shrub species of the Caldenal-Monte Occidental ecotone region, Argentina. The study was conducted in the annexed field of INTA in Chacharramendi, La Pampa. Water storage capacity was measured on whole plants from two techniques on field: rainfall simulation and immersion. Water storage capacity, expressed in percentage of biomass was determined by difference wet weight - fresh weight. Equality of results from field techniques for whole plants of *Chuquiraga erinacea* justified the application of immersion method in the study to be more expeditious implementation and more economical in terms of time and costs..

KEY WORDS: rainfall interception, immersion, rainfall simulation, biomass, semiarid-arid

INTRODUCCIÓN

El estudio de la intercepción de lluvia por parte de la cubierta vegetal resulta un elemento clave para entender la dinámica del comportamiento hídrico en diferentes ambientes (García-Estringana *et al.*, 2010; Wang & Wang, 2007; Belmonte Serrato, 2001). El proceso de intercepción de lluvia ha sido ampliamente estudiado en

formaciones arbóreas homogéneas, pero se dispone de escasa información sobre los efectos que produce en sistemas naturales semiáridos de cubierta heterogénea, con predominancia de arbustos. No existen antecedentes científicos sobre el efecto de la intercepción de lluvia en los arbustales del ecotono Caldenal-Monte Occidental.

Considerando la limitante hídrica en estos ecosistemas, el desarrollo de comunidades arbustivas extremadamente densas, puede intensificar aún más las condiciones de aridez debido a que se comportan como un obstáculo para que

Cómo citar este trabajo:

Alvarez Redondo M., F. Avecilla, E. Adema & L. Butti. 2018. Análisis comparativo de dos técnicas para evaluar la capacidad de retención de agua en *Chuquiraga erinacea* Don.. *Semiárida* 28(1): 23-30

1 Universidad Nacional de La Pampa, Facultad de Agronomía, Santa Rosa, La Pampa
2 CONICET – INCITAP (Instituto de Ciencias de la Tierra y Ambientales de La Pampa)
3 INTA EEA Anguil, Anguil, La Pampa.
* m_alvarezredondo@yahoo.com.ar



el agua de lluvia alcance el suelo. En este contexto, la biomasa aérea de la vegetación es clave en la evaluación de la lluvia retenida por el dosel de las plantas (Belmonte Serrato, 2001).

La intercepción de lluvia ha sido estudiada mediante diferentes metodologías (West & Gifford, 1976; Thurow *et al.*, 1987; Tromble, 1988; Mauchamp & Janeau, 1993; Wood *et al.*, 1998; Wohlfahrt *et al.*, 2006). Puede ser analizada a partir de eventos naturales de precipitación, a través de simulación de lluvia, por inmersión de plantas o indirectamente por diferencia entre precipitación sobre y debajo del dosel.

La información generada a partir de un simulador de lluvia, si bien es una metodología costosa y de mayor dificultad en su aplicación, es muy completa (Nave Marcela *et al.*, 1994). Estos instrumentos son muy útiles para investigación en regiones semiáridas, cuando no se dispone de precipitaciones naturales con frecuencia. Características de la lluvia tales como duración e intensidad, son constantes y conocidos en todos los experimentos. Esto permite la posibilidad de repetir el ensayo cuantas veces se requiera bajo las mismas condiciones, y obtener una base de datos de gran calidad en un tiempo relativamente corto. Entre sus mayores críticas, se puede considerar que muchas veces no reproducen la lluvia natural con exactitud. En este sentido es importante destacar que los estudios con lluvia simulada no pretenden sustituir las investigaciones realizadas con lluvia natural, sino complementarlas (García Ortiz, 2006). Belmonte Serrato (2001) comprueba que en el balance hídrico obtenido mediante simulación de precipitación en dos arbustos del matorral mediterráneo semiárido (Sureste de España), la lluvia perdida por intercepción es menor que lo registrado en eventos naturales de precipitación. Esta diferencia se debe a que los episodios de lluvia simulados, fueron continuos y de intensidad elevada, mientras que los episodios naturales no suelen ser continuos, provocando una mayor evaporación, tanto durante la lluvia como en los períodos en los que ésta se detiene.

Otra forma de medir o cuantificar el agua interceptada por el dosel de la vegetación es mediante la técnica de inmersión, donde las plantas son sumergidas en agua hasta saturación, deter-

minando la capacidad de retención de agua por diferencia de peso antes y después del mojado de las plantas. Si bien es un método fácil de aplicar, de bajo costo y en menor tiempo, en algunos casos puede llegar a subestimar la capacidad de retención de agua dependiendo de la especie y su estructura (García-Estringana *et al.*, 2010).

Indirectamente, se pueden estimar las pérdidas de agua por intercepción como la diferencia entre la precipitación incidente (arriba del dosel) y la precipitación directa (debajo del dosel). Según Cantú Silva & Gonzales Rodríguez (2005), las pérdidas por intercepción del dosel vegetal de tres especies de matorral submontano (México) fueron estimadas, dependiendo de la especie, entre 18% y 22% de 70 eventos de lluvia.

En la provincia de La Pampa, tres cuartas partes de la superficie de su territorio está comprendida dentro de los ecosistemas Caldenal y Monte Occidental. Estos sistemas naturales tienen marcadas características de semiaridez - aridez, y en ellos se pueden observar tipos de formaciones vegetales, que varían desde bosques de caldén con distintas fisonomías hacia el este hasta llegar en forma transicional a zonas dominadas por comunidades arbustivas naturales con presencia de árboles dispersos, hacia el oeste. *Chuquiraga erincea* Don. representa una de las especies arbustivas de mayor presencia y abundancia, sobre todo en la zona de transición entre ambos ecosistemas (Cano, 1988). Esto justifica la elección de esta especie como objeto de evaluación de la capacidad máxima de retención de agua a partir de diferentes técnicas.

El objetivo de este experimento fue analizar y validar comparativamente dos técnicas para evaluar la capacidad de retención de agua sobre una especie arbustiva de relevancia en el Caldenal y Monte Occidental de Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

La experiencia se llevó a cabo en el Campo Anexo del INTA en Chacharramendi (37°22'S, 67°47'O), La Pampa, Argentina. El clima es semiárido, con una temperatura media anual de 15°C (media de julio = 7,5°C y media de enero = 24°C). La precipitación media anual (1961-

2014) es de 497mm, con elevada variabilidad intra e interanual (CV=31%), con distribución primavera-estival. La evapotranspiración potencial (Thorntwaite) es de 789mm y la deficiencia hídrica media anual de 292mm, ubicando esta región bajo un Régimen Hídrico Semiárido.

La vegetación en esta zona de transición Caldenal - Monte Occidental está representada por una fisonomía de arbustal mixto perennifolio con árboles aislados de algarrobo (*Prosopis flexuosa*) y un estrato inferior de gramíneas bajas e intermedias. El estrato arbustivo es dominado por *Chuquiraga erinacea* (chilladora), *Larrea divaricata* (jarilla hembra), *Condalia microphylla* (piquillín), renuevos de algarrobo, *Prosopidastrum globosum* (manca caballo), *Lycium chilense* (llaollín), entre otras (Adema *et al.*, 2004).

El experimento se realizó sobre *Chuquiraga erinacea* Don (chilladora) por ser una de las especies más representativas de la región (Cano, 1988). La especie es un arbusto perenne muy ramoso de copa compacta que no supera 1,5m de altura. Presenta múltiples tallos, ramificados desde la base con hojas dispuestas en forma alternada, rígidas, duras, espinescentes en el ápice. Esta especie florece y fructifica en verano. Geográficamente, es muy característica de la provincia fitogeográfica del Monte, aunque se distribuye ampliamente sobre el sector occidental de Argentina, desde Jujuy hasta el norte de la

Patagonia. Es de nulo valor forrajero y no es ramoneada por el ganado (Figura 1).

Capacidad máxima de retención de agua

La interceptación de lluvia se evaluó a partir de la determinación de la capacidad máxima de retención de agua por el dosel de *Chuquiraga erinacea*, por ser el parámetro más importante en el proceso de interceptación (Aston, 1979). La capacidad máxima de retención se determinó por diferencia de peso fresco o biomasa verde de la planta (PF) al momento de ser cortada en campo y el peso mojado al punto de saturación (PM), es decir luego de haber sido saturada de agua y cesado el goteo. De esta manera, la retención máxima se expresó como porcentaje de retención de agua en función del PF, calculado a partir de la diferencia PM – PF. Para el pesaje de las plantas, se utilizó una balanza granataria SIPEL Ohaus, modelo CD-11, rango de peso: Max = 15kg - Min = 20g, d = 1g. Para las mediciones de campo se utilizaron dos técnicas diferentes: simulación de lluvia e inmersión de plantas enteras.

Simulación de lluvia

Se utilizó un simulador de lluvia de aspersión (Figura 2). El mismo consta de un pico aspersor de cono lleno con un ángulo de salida de 120°, modelo 460.968.30.CG, fabricado por Lechler GMBH de Fellbach, Alemania, evaluado por Adema *et al.* (2003). Este aspersor se conecta a un manómetro que soporta un rango de presión



Figura 1. *Chuquiraga erinacea*. Vista de la planta completa en estado natural (izquierda) y detalle de ápices foliares y disposición de hojas (derecha).

Figure 1. *Chuquiraga erinacea*. View of the complete plant in its natural state (left) and detail of foliar apices and leaf arrangement (right).



Figura 2. Estructura del simulador de lluvia con las cuatro patas extensibles y la posición del manómetro en la parte superior (izquierda). Simulador en funcionamiento, se observa la lluvia junto con el manómetro que indica la presión a la cual se midió la intensidad (derecha).

Figure 2. Structure of the rain simulator with the four extensible legs and the position of the pressure gauge at the top (left). Simulator in operation, the rain is observed together with the manometer that indicates the pressure at which the intensity was measured (right).

de 0 a 1 kg.cm⁻² y se ubica en posición vertical hacia abajo, en el centro de una estructura metálica que le sirve de soporte. Esta estructura telescópica tiene cuatro patas extensibles que permiten regular la altura y el nivel del simulador, aun cuando se trabaje sobre paisajes de mucha pendiente. El simulador está conectado a una bomba de agua con motor a explosión y desde la cual se conecta a un tanque de agua con una capacidad de 1000 litros. El pico del simulador puede estar ubicado de 2 a 4 metros de altura sobre la superficie del suelo y nivelado verticalmente. A medida que aumenta la altura, aumenta el diámetro de mojado y disminuye la intensidad de precipitación. Esta última tiene relación directa con la presión medida por el manómetro del simulador, es decir que a un valor determinado de presión le corresponde una intensidad de lluvia.

Este método se aplicó sobre 22 plantas de *Chuquiraga erinacea* (Figura 3). Para determinar la capacidad máxima de retención de agua del dosel de esta especie, el pico de aspersión del simulador se ubicó a 3,4m sobre el nivel del suelo y se aplicó una intensidad de lluvia de 40mm.hora⁻¹ durante 15 minutos, equivalente a 10mm de agua en cada evento de simulación. Una vez lograda la saturación, se esperó un tiempo aproximado de 60 segundos hasta que el follaje dejó de gotear. Para evitar la pérdida de agua, cada planta fue recubierta con un nylon

atado a la base de la misma y se la cortó al ras del suelo. De esta forma se tomó el peso de la planta más el nylon. Posteriormente se quitó el nylon, se secó al aire y se pesó para restar este valor al peso total y obtener el PM. Finalmente se dejó evaporar el agua retenida por las plantas en un sitio sombreado para evitar la deshidratación de las mismas, y se tomó su PF.



Figura 3. Detalle de la lluvia simulada sobre la planta de *Chuquiraga erinacea*.

Figure 3. Detail of simulated rain on the plant of *Chuquiraga erinacea*.

Inmersión de plantas

El método se aplicó sobre 23 plantas. En primer lugar, se procedió al corte de las plantas enteras al ras del suelo para registrar su PF. Posteriormente, cada planta fue introducida en un recipiente con agua hasta saturación durante un

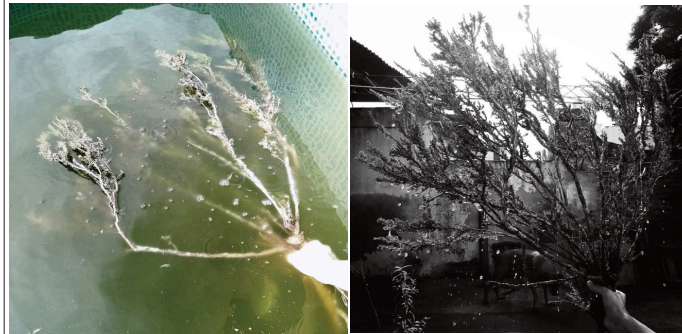


Figura 4. Inmersión de la planta en agua hasta saturación (izquierda). Goteo de la planta inmediatamente después de la inmersión, previo al pesaje (derecha)

Figure 4. Immersion of the plant in water until saturation (left). Dripping plant immediately after immersion, prior to weighing (right)

minuto, luego se ubicó de forma vertical hacia arriba hasta el cese de goteo (60 segundos), e inmediatamente se registró el PM. De esta forma se obtuvieron los datos de PF y PM (Figura 4).

Análisis estadístico

Se aplicó regresión lineal con el fin de determinar una relación entre el peso mojado y peso fresco de los individuos y determinar el porcentaje de humedad retenida por las plantas en relación a su biomasa. Se realizó análisis de ANCOVA con el objetivo de comparar la validez de los métodos de simulación de lluvia e inmersión de plantas para la determinación de la capacidad de retención de agua. Para el análisis estadístico se utilizó el programa InfoStat/Profesional versión 2007 (Universidad Nacional de Córdoba Estadística y Biometría F. C. A., 2007).

RESULTADOS

La capacidad de retención de agua con ambos métodos presentó una correlación entre PM y PF altamente significativa ($p < 0,01$), siendo las ecuaciones resultantes $PM = 1,23PF + 0,204$ ($R^2 = 98\%$) para simulación de lluvia (Figura 5) y $PM = 1,3PF + 0,18$ ($R^2 = 99\%$) para inmersión de plantas enteras (Figura 6).

Los valores de capacidad de retención de agua en *Chuquiraga erinacea* medida por simulación de lluvia y por inmersión de plantas enteras, fueron de 30% y 38% del PF, respectivamente para cada téc-

nica. Sin embargo, esta diferencia demostró ser despreciable al momento de analizar estadísticamente las rectas resultantes de la regresión en ambos métodos. La comparación de pendientes de la regresión en cada caso, analizada a partir del ANCOVA, generó una regresión total con todos los datos tomados de manera conjunta sin distinguir entre métodos. A partir del ANCOVA se comprobó

igualdad de pendientes entre ambas regresiones ($p > 0,10$), por lo que se determinó una única pendiente ponderada, estadísticamente distinta de cero, y finalmente se confirmó la igualdad de ordenadas al origen ($p > 0,07$). Con estos resultados se demostró que ambas rectas son paralelas (pendientes iguales) y coincidentes (ordenadas al origen iguales), llegando a una única ecuación para el modelo: $PM = 1,254PF + 0,207$. La Figura 7 muestra el gráfico resultante del ANCOVA, donde se aprecian las dos rectas de regresión con los datos obtenidos de simulación de lluvia e inmersión. Esto comprueba que ambos métodos se

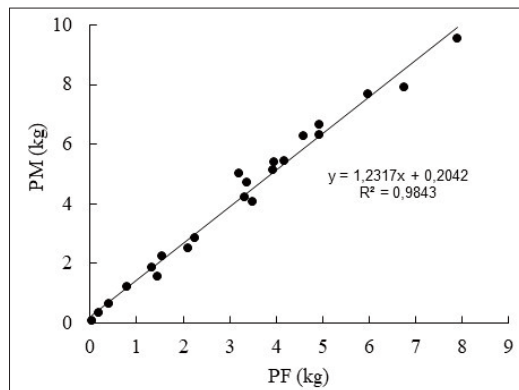


Figura 5: Relación lineal entre Peso Mojado (PM) y Peso Fresco (PF) en *Chuquiraga erinacea* determinada a partir de simulación de lluvia sobre plantas enteras.

Figure 5: Wet Weight (MW) - Weight Fresh (PF) linear ratio in *Chuquiraga erinacea* determined from rain simulation on whole plants.

comportan de manera semejante, con resultados iguales.

A partir del análisis de ANCOVA, se desprende que la utilización de cualquiera de los métodos es factible para la determinación de la capacidad de retención de agua por el dosel de los arbustos, optando por aquella que resulte más sencilla de aplicar en cuestiones de tiempo y costos.

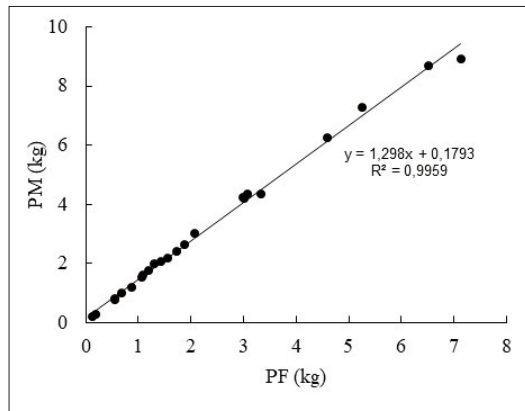


Figura 6. Relación lineal Peso Fresco (PF) – Peso Mojado (PM) en *Chuquiraga erinacea* determinada a partir de inmersión de plantas enteras en agua.

Figure 6. Linear relationship between Wet Weight (PM) and Fresh Weight (PF) in *Chuquiraga erinacea* determined from immersion of whole plants in water.

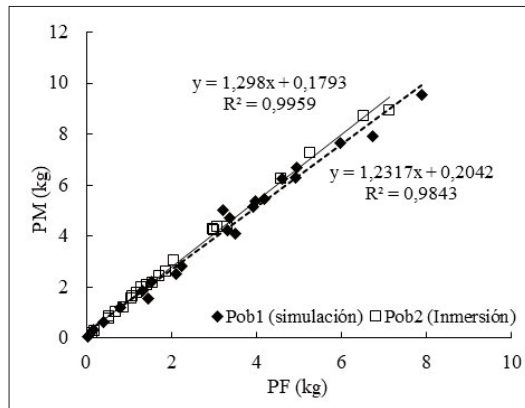


Figura 7. Análisis de ANCOVA. Regresión total Peso Fresco (PF) – Peso Mojado (PM) con los datos de ambas metodologías tomados de manera conjunta, demostrando que ambas rectas son paralelas y coincidentes.

Figure 7. ANCOVA Analysis. Total Regression Fresh Weight (PF) - Wet Weight (MW) with the data from both methodologies taken together, showing that both lines are parallel and coincident.

DISCUSIÓN

En condiciones áridas-semiáridas, la biomasa es una de las variables estructurales más importantes en la descripción del estado de la vegetación y se comporta como un factor clave que influye en procesos naturales como la capacidad de infiltración, disponibilidad hídrica, generación de escorrentías y tasas de erosión del suelo (Adema *et al.*, 2003; Belmonte Serrato & López-Bermúdez, 2003). Las cubiertas vegetales juegan un rol clave en el proceso de interceptación de lluvia, por lo que la estimación de la biomasa aérea de la vegetación de ambientes secos resulta un dato fundamental en la evaluación de la lluvia retenida por almacenamiento de las plantas (Belmonte Serrato, 2001). En este sentido, es fundamental contar con herramientas metodológicas que permitan medir la cantidad de agua que puede almacenar una determinada especie en función de sus características estructurales y biomasa.

Entre los métodos que existen para determinar la capacidad de retención de agua en especies vegetales, la simulación de lluvia e inmersión de plantas enteras, fueron aplicadas por García-Estringana *et al.* (2010) sobre arbustos de la región mediterránea, España. Algunos autores sostienen que la capacidad de retención de arbustos medida por inmersión es generalmente inferior que los valores obtenidos en experimentos con simulación de lluvia (Monson *et al.*, 1992; Wohlfahrt *et al.*, 2006; García-Estringana *et al.*, 2010), debido a que no se tienen en cuenta las características anatómicas y estructurales de los arbustos asociadas a la formación de gotas congruentes, las cuales no ocurren cuando las plantas son inmersas en agua. Otros autores sostienen que el método de simulación de lluvia es más frecuentemente usado ya que imita mejor los procesos de precipitación natural (Keim *et al.*, 2006; García-Estringana *et al.*, 2010). Sin embargo, podría esperarse que resultados provenientes de la técnica de simulación de lluvia aplicada en campo, sobre plantas en estado natural, sean inferiores respecto a los valores medidos por

inmersión debido al efecto de variables climáticas como el viento, que no pueden ser controladas. Los resultados de este trabajo demostraron que ambas metodologías presentan el mismo comportamiento, ya que no se detectaron diferencias significativas entre resultados, lo cual justifica la aplicación de la técnica de inmersión por ser más práctica, rápida y económica.

Respecto al uso del simulador, la lluvia se aplicó con una intensidad equivalente a 40 mm.hora⁻¹ durante 15 minutos con el objetivo de saturar completamente el dosel de la especie estudiada en el tiempo estipulado y así determinar la capacidad de retención de agua de las plantas. El mismo instrumento fue utilizado por Adema *et al.* (2003) para evaluar la erosión hídrica en dos suelos de la región del Caldenal, con una intensidad de precipitación de 56,6mm.hora⁻¹ durante 30 minutos. Belmonte Serrato (2001), en un estudio de características metodológicas semejantes a este estudio utilizó un simulador de lluvia con intensidad de 60mm.hora⁻¹ para medir el balance hídrico de interceptación en dos arbustos del matorral mediterráneo semiárido en el sureste de España. Por otro lado, García-Estringana *et al.* (2010), en condiciones controladas de humedad, temperatura y ausencia de viento utilizaron un simulador de lluvia con una intensidad de 13mm.hora⁻¹ para determinar la capacidad de retención de agua de arbustos del mediterráneo, tomando dicha intensidad como suficiente para saturar el dosel de las especies estudiadas en corto tiempo. Estas referencias bibliográficas sustentan la metodología propuesta.

La experiencia realizada se considera como un aporte metodológico innovador para el estudio de la interceptación de lluvia en especies arbustivas del semiárido de Argentina, sustentado sobre experimentos similares realizados en otras regiones del mundo (Domingo *et al.*, 1998; Belmonte Serrato, 2001; Cantú Silva & González Rodríguez, 2005; Itzhac *et al.*, 2008; García-Estringana *et al.*, 2010; Xing-ping Wang *et al.*, 2012).

CONCLUSIONES

Metodológicamente, las técnicas de simulación de lluvia e inmersión, aplicadas sobre plantas enteras de *Chuquiraga erinacea* para medir la capacidad de retención de agua, no aportaron

diferencias significativas en los resultados. De esta manera, se comprobó la similitud de ambas metodologías, hecho que fundamenta la utilización de la inmersión para evaluar interceptación por ser más práctica, rápida y económica.

La información científica aportada en el presente trabajo resulta de gran utilidad para ampliar la temática abordada y proyectar estudios futuros sobre el efecto que ejercen las densas comunidades arbustivas de regiones áridas y semiáridas sobre el ciclo hidrológico.

AGRADECIMIENTOS

A la Estación Experimental Anguil del INTA por el apoyo presupuestario y logístico para realizar el presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Adema E.O., D.E. Buschiazzo, F.J. Babinec, T.E. Rucci & V.F. Gómez Hermida. 2004. Mechanical control of shrubs in the semiarid Argentina and its effects on soil water content and grassland productivity. *Agric. Water Manage.* 68: 185-194.
- Adema E.O., F.J. Babinec, D.E. Buschiazzo, M.J. Martín & N. Peinemann. 2003. Erosión hídrica en suelos del Caldenal. Publ. Técnica N° 53. Ed. INTA Anguil. 34 p.
- Aston A.R. 1979. Rainfall interception by eight small trees. *J. Hydrol.* 42: 383-396.
- Belmonte Serrato F. 2001. Balance hídrico, distribución de flujos y modelización de la interceptación en dos arbustos semiáridos mediante lluvia simulada. *Papeles de Geografía* 33: 23-34.
- Belmonte Serrato F. & F. López Bermúdez. 2003. Estimación de la biomasa de una especie vegetal mediterránea (Tomillo: *Thymus vulgaris*) a partir de algunos parámetros de medición sencilla. *Ecología* 17: 145-151.
- Cano E. 1988. Pastizales naturales de La Pampa. Tomos I: Descripción de las especies más importantes. Convenio AACREA – Gob. De La Pampa. Buenos Aires. 425 p.
- Cantú Silva I. & H. González Rodríguez. 2005. Pérdidas por interceptación de la lluvia en tres especies de matorral submontano. *CIENCIA UANL VIII* 1: 80-85.
- Domingo F., G. Sánchez, M.J. Moro, J.A. Brenner & J. Puigdefábregas. 1998. Measurement and modelling of rainfall interception by three semi-arid canopies. *Agric. Meteorol.* 91: 275-

- 292.
- García-Estringana P., N. Alonso-Blázquez & J. Alegre. 2010. Water storage capacity, stemflow and water funneling in Mediterranean shrubs. *J. Hydrol.* 389: 363-372.
- García Ortiz E.M. 2006. Efecto de la estructura de la copa en la partición de lluvia de tres especies arbustivas en clima semiárido. Tesis Doctoral. Universidad de Almería. España. 438 p.
- Itzhac K., L. Hanoch & S. Pariente. 2008. Rainfall distribution around shrubs: Eco-geomorphic implications for arid hillslopes. *Geomorphology* 95: 544-548.
- Keim R.F., A.E. Skaugset & M. Weiler. 2006. Storage of water on vegetation under simulated rainfall of varying intensity. *Adv. Water Resour.* 26: 974-986.
- Mauchamp A. & J.L. Janeau. 1993. Water funneling by the crown of *Flourensia cernua*, a Chihuahuan Desert shrub. *J. Arid Environ.* 25: 299-306.
- Monson R.K., M.C. Grant, C.H. Jaeger & A.W. Schettle. 1992. Morphological causes for the retention of precipitation in the crown of alpine plants. *Environ. Exp. Bot.* 32: 319-327.
- Nave Marcela R., A. Pedrani, A. Vich & A. Mariani. 1994. Ajuste del modelo de Horton mediante datos de infiltración obtenidos en el piedemonte mendocino. Manejo Ecológico de Cuencas. INIGEA, CC 330, Mendoza. *MULTEQUINA* 3: 133-140.
- Thurow T.L., W.H. Blackburn, S.D. Warren & C.A. Taylor Jr. 1987. Rainfall interception by midgrass, shortgrass, and live oak mottes. *J. Range Manage.* 40: 455-460.
- Tromble J.M. 1988. Water interception by two arid shrubs. *J. Arid Environ.* 15: 65-70.
- West NE & Gifford GF. 1976. Rainfall interception by cool-desert shrubs. *J. Range Manage.* 29: 171-172.
- Wohlfahrt G., K. Bianchi & A. Cernusca. 2006. Leaf and stem maximum water storage capacity of herbaceous plants in a mountain meadow. *J. Hydrol.* 319: 383-390.
- Wood M.K., T.L. Jones & M.T. Vexa-Cruz. 1998. Rainfall interception by selected plants in the Chihuahuan Desert. *J. Range Manage.* 51: 91-98.
- Xing-ping Wang, Ya-feng Zhang, Rui Hu, Yangxia Pan & Ronny Berndtsson. 2012. Canopy storage capacity of xerophytic shrubs in Northwestern China. *J. Hydrol.* 454-455: 152-159.
- Wang D. & G. Wang. 2007. Toward a robust canopy hydrology scheme with precipitation subgrid variability. *J. Hydrometeorol.* 8: 439-446.