

## Dinámica del agua en el suelo bajo un ensayo manipulativo de lluvias

### Soil water dynamics in a rain shelter experiment

Jesabel Schön, Daniela Ferrante y Gabriel Oliva

*jesabel.schon@gmail.com*

Universidad Nacional de la Patagonia Austral

Av. Piloto "Lero" Rivera y Av. Gdor. Gregores - Río Gallegos - Santa Cruz - Argentina

*Recibido: 30/04/2021. Aceptado: 25/10/2021*

### RESUMEN

En ambientes áridos y semiáridos la disponibilidad de agua es el factor principal que controla los procesos biológicos. En un pastizal de la Estepa Magallánica Seca, sur de Santa Cruz, se instaló un ensayo de intercepción de lluvias con el fin de evaluar los cambios en la disponibilidad hídrica en la superficie del suelo. Se realizaron tres tratamientos: sequía con intercepción del 50% (simula año seco), testigo y un tratamiento con riego (50% más de lluvia en el verano). Cada tratamiento tuvo tres repeticiones y en todos los casos se excluyó el pastoreo. El experimento contó con sensores de potencial hídrico mátrico (MPS-6) y temperatura de suelo (un sensor Decagon ECT por parcela a 10 cm de profundidad), y un pluviómetro (Decagon device ECRN – 100), todos conectados a un logger Decagon EM50 con frecuencia de registro horaria. La hipótesis de este trabajo fue que el riego durante el verano evitaría que el suelo se seque y que la intercepción de lluvia generaría un período seco más intenso y prolongado durante esta estación. En general, el suelo estuvo húmedo en el tratamiento irrigado, aunque se generaron breves períodos secos en los casos de lluvias escasas entre riegos. Las parcelas de intercepción tuvieron un período seco más intenso y más prolongado en el tiempo tal como se supuso, pero esto ocurrió solamente en el otoño. A principios de invierno el suelo alcanzó valores de capacidad de campo y permaneció así durante la primavera. Los períodos secos en la superficie del suelo fueron breves, ocurrieron en la estación cálida y dependieron de las lluvias estivales.

**Palabras clave:** Disponibilidad hídrica; Intercepción de lluvias; Estepa Magallánica Seca; Suelos.

### ABSTRACT

Water is the main control of biological processes in arid and semiarid systems. A rain interception experiment was conducted in order to evaluate changes in water availability of the superficial soil in a grass steppe of the Dry Magellanic Steppe (South Patagonia, Argentina). Treatments included: 50% interception (dry year simulation), control and 50% more rain added through watering during summer (wet year simulation). Three replications were available in each treatment. Each plot had a MPS-6 soil matrix water potential and a ECRN-100 temperature probe. Rain was recorded using a Decagon device ECRN – 100 pluviometer. Data was recorded hourly using a Decagon EM50 logger. Grazing was excluded in all plots. The hypothesis was that watering during summer would prevent the soil from drying and that rain interception would generate a long and intense drought during summer. Results indicate that the soil remained humid most of the time in the watered treatment, but



nevertheless some short dry periods were registered when plots did not receive rain pulses between watering events. As hypothesized, soils in the interception plots showed longer and more intense drought periods, but this happened only during fall. At the beginning of winter soils reached field capacity in all plots and remained so until spring. In this way, drought in the superficial soil occurred in brief periods during the warm season and depended on summer rains.

**Keywords:** water availability; rain interception; Dry Magellan Steppe; Soils.

## INTRODUCCIÓN

En los ambientes áridos la disponibilidad de agua es altamente variable en tiempo y espacio y constituye el principal factor que determina la productividad primaria (Noy-Meir 1973, Paruelo y Sala 1995). Los recursos en el suelo están disponibles en forma de pulsos (Snyder y Tartowsky 2006) por cortos períodos de tiempo (Sala et al. 1992, Austin et al. 2004) asociados a los eventos de lluvias que generalmente son de poco volumen (Sala y Lauenroth 1982, Loik 2004). En estos ambientes, son principalmente los grandes eventos de lluvia (>10 mm) los que determinan la diferencia entre años húmedos y secos. Estos eventos tienen la capacidad de humedecer el perfil en profundidad. Sin embargo, la profundidad de la recarga del perfil y el tiempo de permanencia del pulso de agua en el suelo dependen de la estacionalidad, de las condiciones previas de humedad en el suelo y la frecuencia de los eventos (Schwinning et al. 2005). Pequeños eventos sucesivos durante la estación fría pueden también recargar todo el perfil del suelo (Ferrante, 2011).

La existencia de períodos de alta disponibilidad alternados con períodos de escasa o nula disponibilidad de agua en el suelo determinan la diferenciación de nichos para la coexistencia de especies (Chesson et al. 2004) y definen aspectos estructurales y funcionales de la vegetación tales como: dominancia de los tipos funcionales, composición florística, fenología y productividad primaria (Snyder y Tartowsky 2006). En gran parte de la región patagónica las lluvias son estacionales, de otoño-invierno, condiciones en las cuales dominan leñosas de raíces profundas (Sala et al. 1997), que utilizan agua de las capas profundas del suelo que se recarga anualmente en el invierno. Las áreas costeras y el sur de Patagonia tienen, sin embargo, mayor influencia oceánica con lluvias con tendencia estival (De Fina et al. 1968), y una mayor dominancia de gramíneas ya que por su sistema radical superficial pueden aprovechar mejor los pulsos que humedecen sólo las primeras capas del suelo durante cortos períodos antes de perderse por evapotranspiración.

Si bien las plantas tienen adaptaciones a condiciones de aridez y son capaces de enfrentar las sequías recurrentes en estos ambientes (Adler et al. 2004), sigue siendo un desafío describir las variaciones de humedad en el perfil del suelo asociadas a años húmedos y secos y explicar cómo responde la vegetación frente a estos cambios. Con el objetivo de estudiar estos efectos en diferentes ecosistemas áridos, se han diseñado estructuras con interceptores de precipitación para simular sequías (Yhadjian y Sala 2002; Hoover et al. 2018). Estos “techitos” han demostrado que con 50% de su superficie cubierta por canaletas transparentes de acrílicos generan cambios en una proporción similar en la cantidad de lluvia que recibe la parcela, y no afecta otras variables ambientales como la radiación, temperatura de suelo y del aire (Yhadjian y Sala 2002).

En la Estepa Magallánica Seca, al sur de Patagonia, los períodos secos y húmedos del suelo están regidos por la combinación de un clima frío (temperatura media anual 6-7°C) y precipitaciones distribuidas a lo largo del año (200-300 mm anuales) (Oliva et al. 2001). El suelo se recarga anualmente en otoño, debido a las bajas temperaturas que permiten que las pequeñas lluvias humedezcan el perfil (Ferrante et al. 2014). Los períodos secos ocurren en el verano entre los meses de enero y marzo, cuando la evaporación es alta. En este ambiente la superficie del suelo permanece congelada durante el invierno y luego del deshielo el suelo se mantiene húmedo hasta fines de primavera. En un pastizal de la Estepa Magallánica Seca, se instaló un ensayo manipulativo de lluvias con la hipótesis de que el riego durante el verano evitaría que el suelo se seque y los períodos de sequía serían muy breves, mientras que las parcelas con intercepción de lluvias tendrían un período seco más intenso y más prolongado en el tiempo.

El objetivo general de este trabajo fue evaluar los cambios en la dinámica hídrica en la superficie del suelo en un ensayo manipulativo de lluvias.

Los objetivos específicos fueron:

1. Describir la distribución estacional de los eventos de precipitaciones según tamaño y frecuencia.
2. Cuantificar el efecto de los tratamientos impuestos en la humedad del suelo.
  - 2.1. Cuantificar la residencia temporal de cada evento de riego realizado en el verano.
  - 2.2. Definir inicio y fin del período seco en cada tratamiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del sitio de estudio

El sitio de estudio se encuentra en la Estepa Magallánica Seca, un área ecológica que comprende 1,17 millones de hectáreas, y abarca la región comprendida entre las isohietas de 170-300 mm en el sur de Santa Cruz (Oliva et al. 2001). El área presenta una precipitación anual de 200 mm que, si bien se distribuye a lo largo de todo el año, presenta un máximo estival. El promedio anual de temperatura varía de 6 a 7°C (Oliva et al. 2001). Los vientos predominantes son del suroeste y presentan una velocidad media anual de 27 km/h. El ensayo está ubicado a unos 100 km al oeste de la localidad de Río Gallegos, Santa Cruz, Argentina, en el Campo experimental “Potrok Aike” (Figura 1) de INTA Santa Cruz (-51.91603° LS - 70.4074444° LO).

La vegetación corresponde a la Unidad Fisonómica Florística Estepa Graminosa Xérica, representada por *Festuca gracillima* con *Nardophyllum bryoides*. La especie dominante, *F gracillima*, alcanza una cobertura de 40% y entre sus matas se presenta un estrato de pequeñas gramíneas, graminoides y hierbas: *Rytidosperma virescens*, *Poa spiciformis*, *Carex andina*, *Viola maculata*, *Calceolaria uniflora*, *Azorella fueguina*, entre otras, siendo *Poa spiciformis* (ex *Poa dusenii*) la de mayor cobertura en este estrato (León et al. 1998).

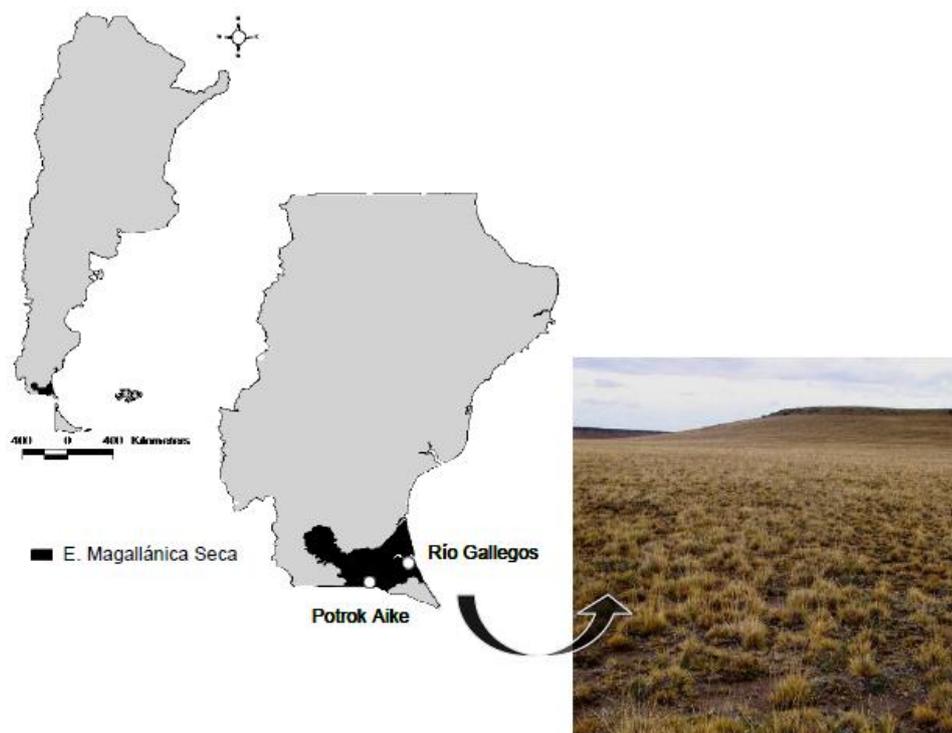
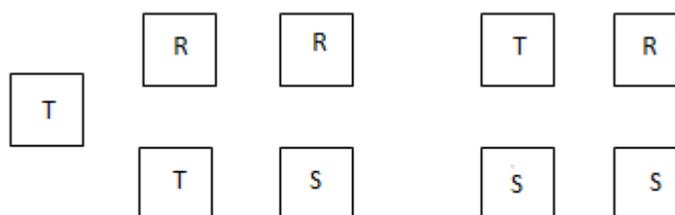


Figura 1. Ubicación de la Estepa Magallánica seca y el sitio de estudio Potrok Aike. Fuente: Ferrante, 2011.

### Descripción del ensayo

Se establecieron nueve parcelas de 2x2 m (4 m<sup>2</sup>), las cuales fueron divididas en tres tratamientos de disponibilidad hídrica, como se detalla a continuación:

- 50% de intercepción de lluvia (nueve canaletas de acrílico que obstruyen el 50% de la superficie de la parcela, generando un 50% de intercepción de las lluvias).
- Tratamiento de riego (50% más de lluvia en verano). Adición de un 50% del volumen de lluvia (60 mm) distribuidos en eventos de 10 mm. Las fechas de riego fueron las siguientes: 23/12/19, 22/01/20, 14/02/20 y 06/03/20. El riego se realizó con regadera, manualmente.
- Sin intervención (testigo). Situación normal.



T: tratamiento testigo R: tratamiento riego S: tratamiento sequia

Figura 2. Croquis de la ubicación de las parcelas y los distintos tratamientos.

### Variables climáticas

Se obtuvieron datos de precipitación y temperatura del aire de la Estación Meteorológica Potrok Aike, para el período 2018 a 2020 para caracterizar la distribución anual de las precipitaciones y evaluar si el año correspondiente al ensayo fue un año húmedo, seco o normal. Para este período se cuenta con registros mensuales.

Se instaló además en el sitio experimental un pluviómetro (Decagon device ECRN-100). Cada parcela contó con un sensor de potencial hídrico mátrico (Decagon MPS-6) y temperatura de suelo (Decagon ECT), ambos a 10 cm de profundidad. Todos los sensores fueron conectados a data logger Decagon EM50 con frecuencia de registro horaria. Estos datos disponibles en el período octubre 2018 - diciembre 2020 se utilizaron para describir la frecuencia y tamaño de los eventos de lluvia.

Se cuantificaron los días secos en cada uno de los tratamientos. Se consideró un día seco a aquellos que presentaron valores de potencial hídrico menores a -5 MPa. Este umbral fue definido en función de que, en el mismo sitio, el potencial hídrico foliar en gramíneas durante la estación de verano mostró valores de entre -4 MPa y -6 MPa (*Ferrante 2011*).

### Análisis estadístico

Para analizar el efecto de los tratamientos sobre la disponibilidad hídrica del suelo (potencial hídrico y días con sequía), los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente mediante análisis de varianza con el software Infostat. Se utilizó ANOVA de un factor, Test de Tukey con nivel de significancia de 0,05.

## **RESULTADOS**

### Variables climáticas

#### *Precipitaciones*

Las precipitaciones anuales de los años 2018, 2019 y 2020 fueron de 196, 291 y 289 mm respectivamente. Los últimos dos años se consideraron años húmedos porque las lluvias fueron claramente superiores a la media anual.

En el año 2020, los registros máximos mensuales fueron en enero, marzo y mayo, con valores de 66,8, 45,2 y 54,6 mm respectivamente, mientras que los mínimos ocurrieron en febrero y agosto con un valor de 2,8 mm, seguido de 5,4 mm en septiembre y 7,8 mm en abril (Figura 3).

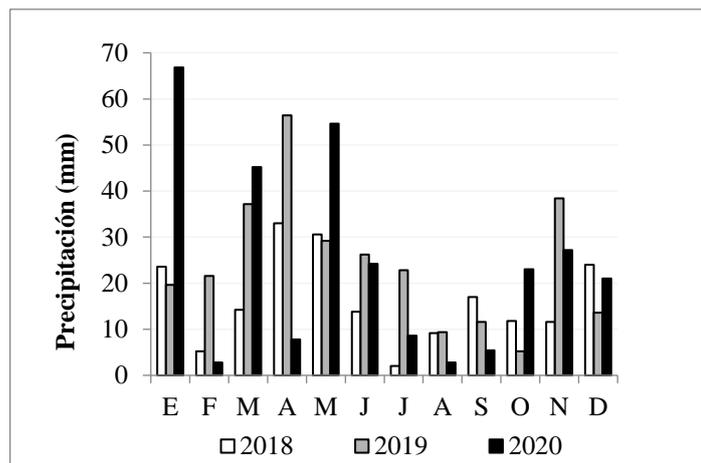


Figura 3. Precipitaciones mensuales registradas en Potrok Aike del año 2018 al 2020.

En verano del año 2020 se registraron valores mayores de precipitación (90,8 mm) respecto a los dos años anteriores (43,0 mm en 2018 y 77,4 mm en 2019). El 73,6% de la lluvia estival ocurrió en enero, donde se registraron dos eventos >10 mm de los tres que ocurrieron en esa estación.

#### *Temperatura del Suelo vs Precipitación*

La temperatura del suelo promedio en verano en el año 2020 fue de 12,6°C, llegando a valores máximos de 13,1°C en el mes de febrero, período en el cual las precipitaciones fueron las menores en todo el año (2,8 mm) (Figura 4). Hubo períodos secos en febrero y abril asociados a las altas temperaturas y bajas precipitaciones.

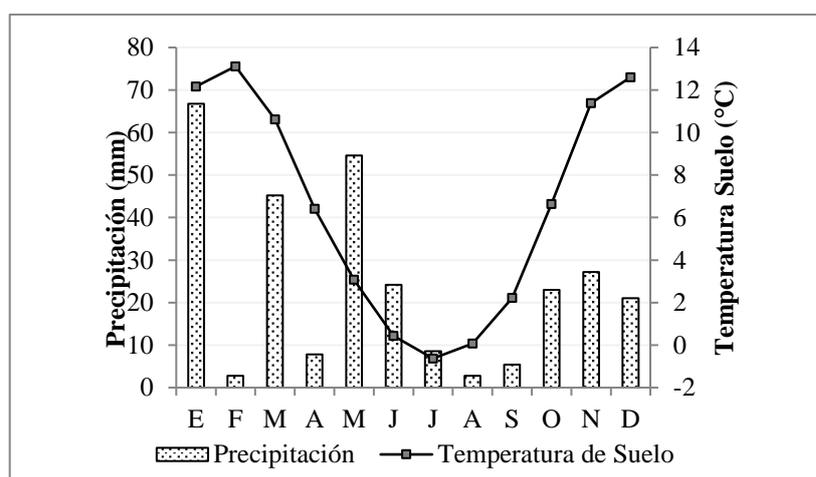


Figura 4. Precipitaciones y temperatura del suelo para el año 2020 en Potrok Aike.

#### *Frecuencia y tamaño de eventos de lluvias*

En el año 2020, el 95,9% de los eventos de lluvias fueron menores a 5 mm y la frecuencia o distribución entre estaciones fue muy similar. En volumen o cantidad representaron el 42,7%

de las lluvias de la temporada de crecimiento y 45,0 % de las lluvias totales. Valores similares se registraron en el año 2019, con 94,5% de lluvias menores a 5 mm (datos no mostrados). Se registraron ocho eventos entre 5 y 10 mm (2,20%) de los cuales cinco (62,5%) ocurrieron en otoño. Los eventos mayores a 10 mm fueron siete (1,90%) de los cuales tres (42,8%) sucedieron en verano y fueron importantes para humedecer el perfil del suelo aportando el 48,0% de la lluvia en esa estación (Figura 5). Los eventos de mayor volumen fueron de 16,8 y 16,6 mm en verano y otoño respectivamente. Durante el año 2019, los máximos eventos fueron de 17,8 mm y 12,0 mm y ocurrieron en primavera y otoño respectivamente.

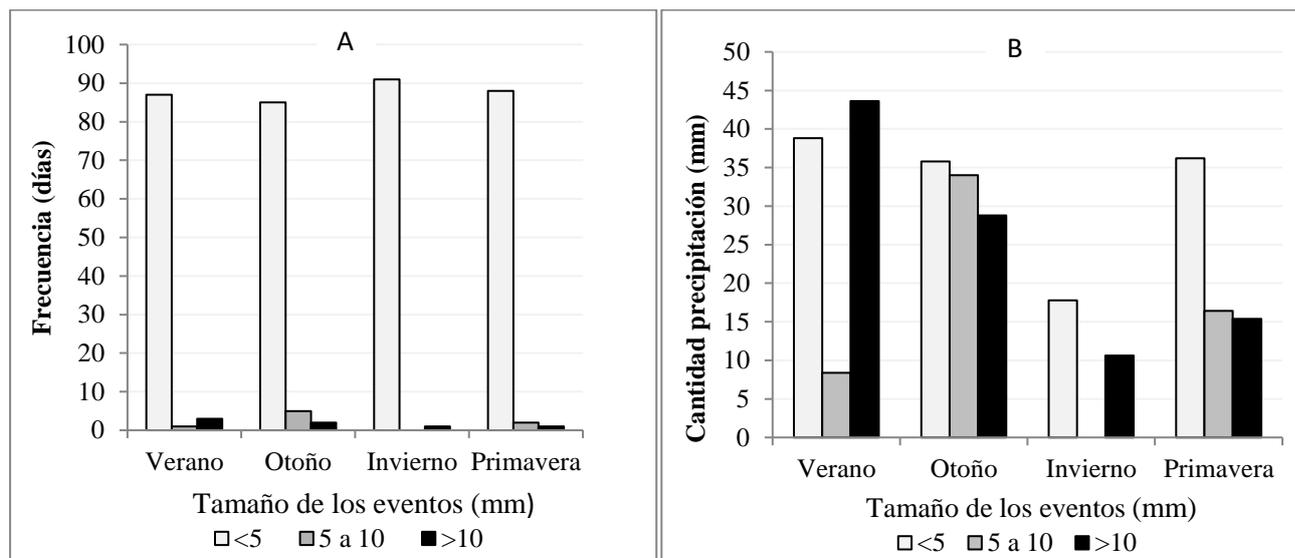


Figura 5. A) Distribución de eventos expresado como frecuencia según la estación del año y B) distribución del tamaño de los eventos en volumen para el año 2020 en Potrok Aike.

### Potencial hídrico

El incremento de la evapotranspiración de las plantas relacionado al aumento de las temperaturas y las bajas precipitaciones en febrero y abril influyó probablemente en el potencial hídrico del suelo observándose una disminución de sus valores respecto a los meses de diciembre y enero en los tratamientos sequía y testigo (Figura 5).

El potencial hídrico del suelo en diciembre y enero se ubicó entre -1,3 y -3,7 MPa (suelo húmedo) en los tres tratamientos. No obstante, en diciembre los tratamientos riego y testigo mostraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

En febrero y marzo el perfil se saturó con valores cercanos a capacidad de campo en el tratamiento riego, mientras que en el de sequía y testigo disminuyeron paulatinamente llegando a valores de -7,8 MPa y mostraron diferencias significativas con el tratamiento de riego.

En abril y mayo el potencial hídrico del suelo en el tratamiento sequía se diferenció significativamente respecto a los tratamientos testigo y riego. Respecto de los meses anteriores, el tratamiento sequía disminuyó bruscamente alcanzando valores de -31,3 MPa, el testigo se humedeció y el riego se mantuvo constante encontrándose estos dos últimos

tratamientos en capacidad de campo. En junio el tratamiento sequía se recuperó notablemente encontrándose saturados los tres perfiles hasta fines de noviembre (Figura 6).

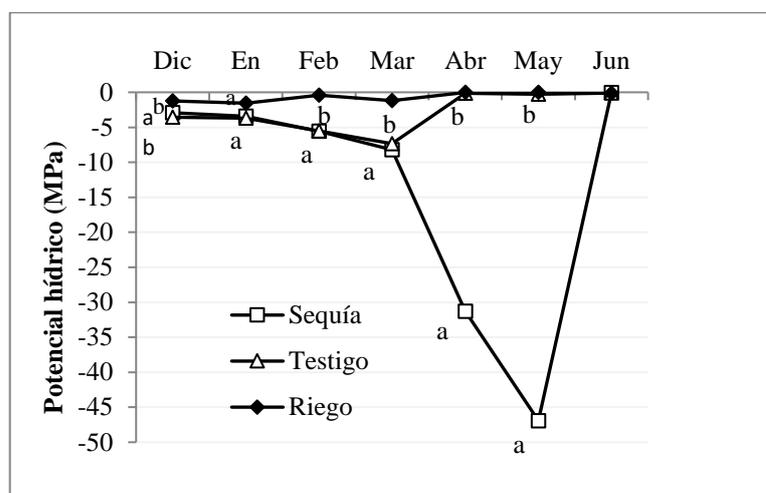


Figura 6. Potencial hídrico (MPa) del suelo de los tratamientos sequía, testigo y riego para el año 2020 en Potrok Aike. Potenciales hídricos con letras distintas son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

#### Días secos

El tratamiento sequía, tal como se esperaba, presentó mayor frecuencia de días secos (potencial  $< -5$  MPa) respecto a los tratamientos testigo y riego, con un valor promedio de 100 días y fue significativa estadísticamente (Figura 7).

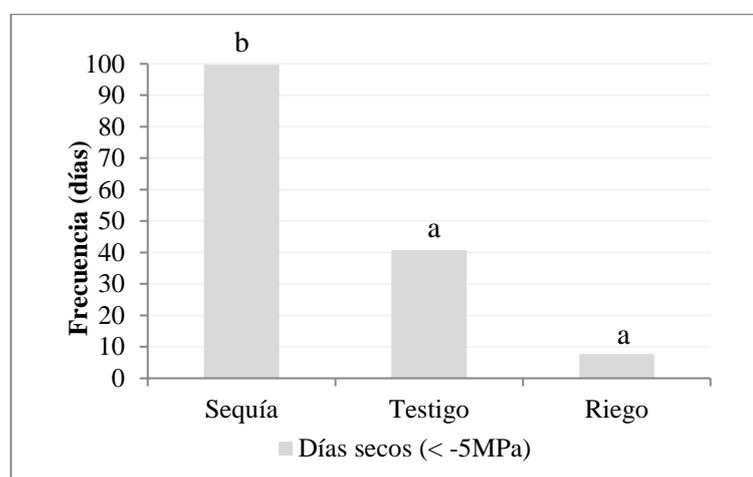


Figura 7. Distribución de días secos ( $< -5$  MPa) para los tratamientos sequía, testigo y riego en Potrok Aike, año 2020. Frecuencias con letras distintas son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

En verano la cantidad de días secos (42 días) fue similar entre los tratamientos sequía y testigo. El tratamiento riego presentó menor frecuencia de días secos (7 días).

En otoño, el tratamiento sequía fue el que más días secos tuvo (62 días) mientras que en los otros dos tratamientos no hubo días con potencial hídrico tan bajo. En invierno no se registraron días secos. En primavera, fueron pocos y similares entre tratamientos (Figura 8).

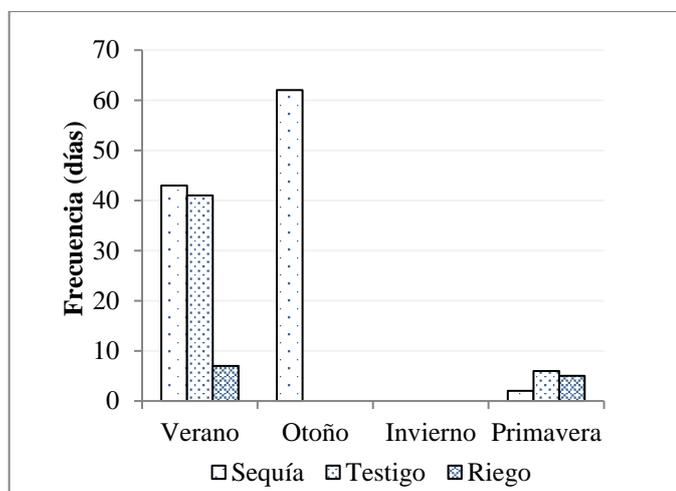


Figura 8. Distribución de días secos ( $<-5\text{ MPa}>$ ) según estación del año y tratamiento en Potrok Aike, año 2020.

#### *Residencia temporal de los eventos de riego*

En verano, se aplicaron cuatros riegos:

- Riego 1: 23/12/19

Antes del primer riego, el suelo presentaba un potencial hídrico de  $-3,9\text{ MPa}$ . Posterior al riego, el perfil logró humedecerse manteniéndose alrededor de  $-1,5\text{ MPa}$  por 8 días, donde comenzó a secarse llegando a  $-9,3\text{ MPa}$  el día 04/01/20. Durante este período, hubo siete lluvias de  $0,20\text{ mm}$  y una de  $2,8\text{ mm}$ .

- Riego 2: 22/01/20

Al momento del riego, el perfil del suelo se encontraba saturado y luego del riego ocurrieron dos eventos de  $2,3\text{ mm}$  que permitieron que continúe húmedo el suelo hasta el próximo riego.

- Riego 3: 14/02/20

El perfil se encontraba saturado anterior al riego. La incorporación de agua le permitió extender el estado de saturación unos 8 días que comenzó a secarse paulatinamente hasta llegar a  $-5,3\text{ MPa}$  el día 06/03/20.

- Riego 4: 06/03/20

El último riego humedeció el perfil del suelo y sumado a las lluvias posteriores al mismo, sobre todo la del día 11/03/20 de  $13,2\text{ mm}$ , se recargó el perfil. Durante otoño e invierno el suelo se mantuvo saturado hasta fines de noviembre (Figura 9).

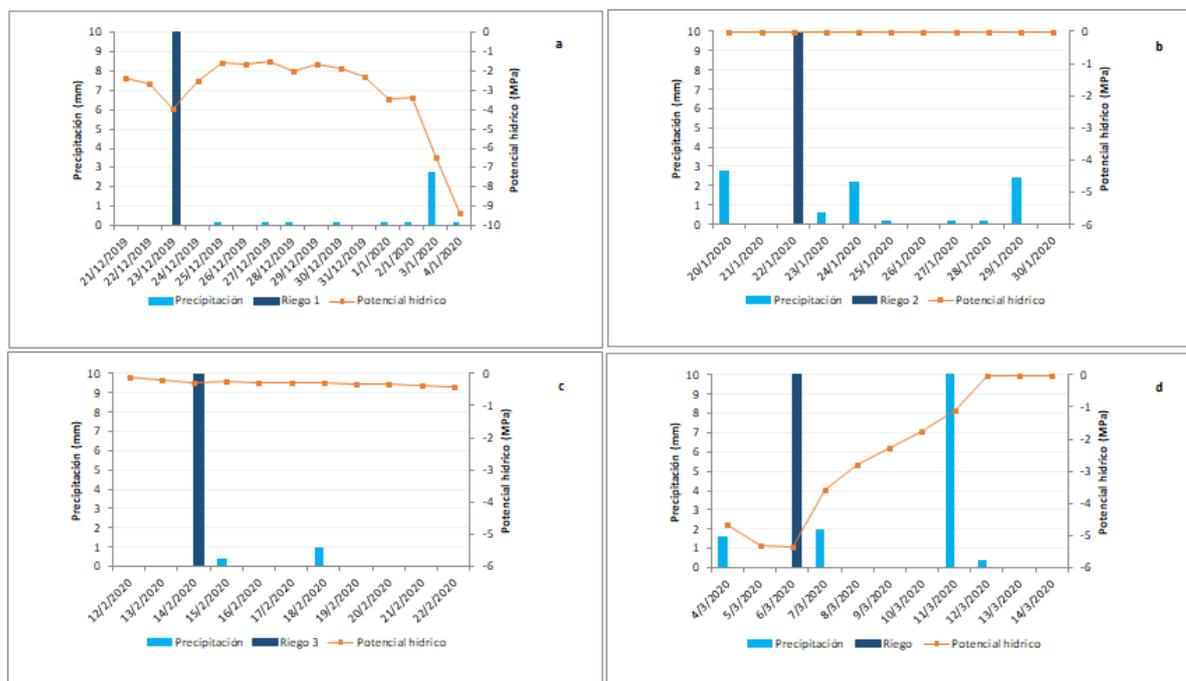


Figura 9. Riegos realizados durante el verano en Potrok Aike en el año 2020. a. Riego 1; b. Riego 2; c. Riego 3; d. Riego 4.

### Precipitaciones, Riegos y Potencial hídrico

A fines de diciembre y principios de enero el tratamiento testigo estuvo más seco respecto a los otros dos tratamientos. Desde el 23 de diciembre de 2019 al 7 de enero de 2020 el tratamiento testigo estuvo por debajo de -5 MPa, pero con las lluvias de enero, sobre todo las mayores a 10 mm, todos los tratamientos se humedecieron y el suelo a 10 cm de profundidad alcanzó la capacidad de campo. A principios de febrero el tratamiento sequía comenzó a secarse, también lo hizo el tratamiento testigo a mediados de ese mes encontrándose con valores por debajo del tratamiento sequía. No obstante, con la lluvia de 13,2 mm del 11 de marzo el tratamiento testigo se recuperó manteniéndose a capacidad de campo hasta fines de noviembre. El tratamiento sequía presentó valores semejantes de potencial hídrico hasta mediados de abril que decayó abruptamente llegando a valores de -95 MPa el 15 de mayo. Lluvias posteriores permitieron que se humedezca el suelo llegando -2,5 MPa el 22 del mismo mes. Luego de dos días, la lluvia de 16,6 mm permitió que el tratamiento sequía finalmente se sature, permaneciendo así hasta fines de noviembre. El tratamiento riego se mantuvo siempre húmedo, excepto del 3 al 7 de enero y el 5 y 6 de marzo que estuvo seco (<-5 MPa) y fines de noviembre que comienzan a secarse los tres tratamientos luego de varios meses saturados (Figura 10).

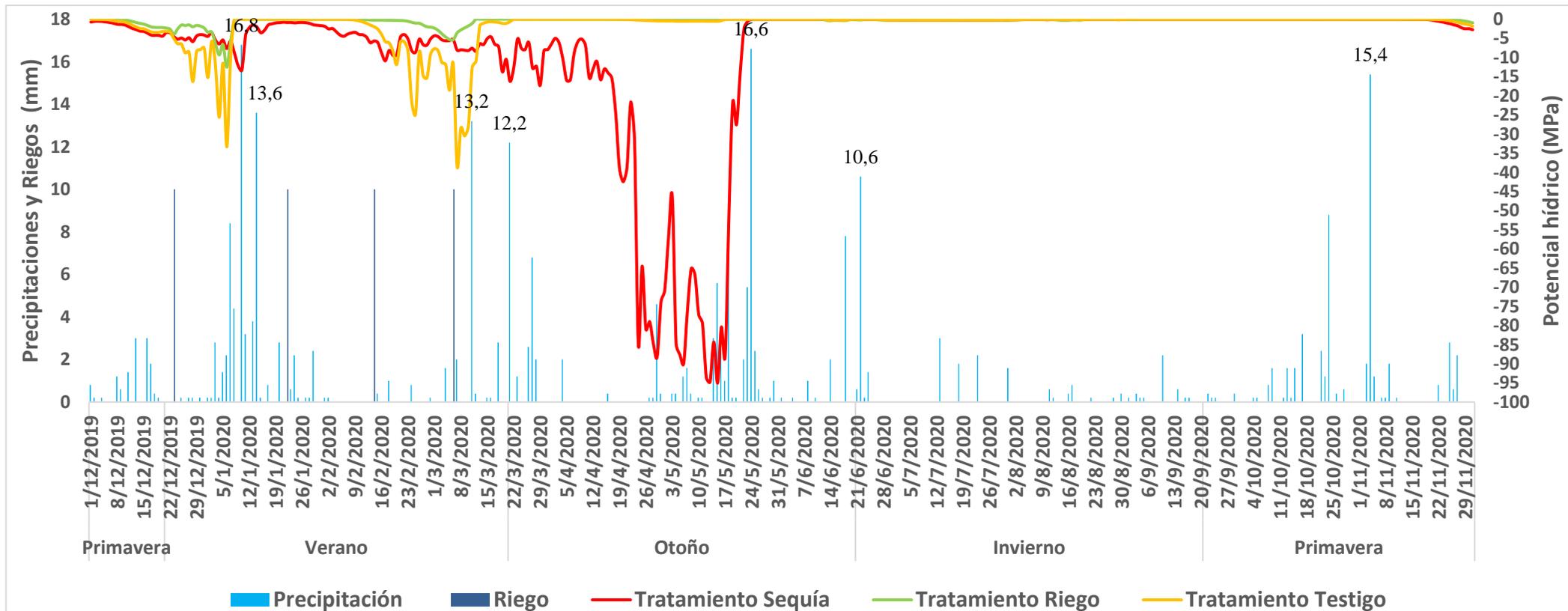


Figura 10. Dinámica diaria del potencial hídrico del suelo en tres tratamientos diferentes: sequía, riego y testigo. Precipitaciones y riegos (mm) en Potrok Aike, período diciembre 2019- diciembre 2020.



## DISCUSIÓN

La distribución de eventos de lluvias en el sitio analizado se caracterizó por eventos pequeños menores a 5 mm durante todo el año (Figura 5). Esta distribución de eventos es típica de los ambientes áridos como menciona Sala y Lauenroth (1982) para el centro-norte de Colorado (EEUU), en donde la frecuencia de lluvias menores a 5 mm representa el 72% durante la estación de crecimiento. En el presente estudio, la frecuencia de eventos pequeños fue más elevada (95,2%). Ferrante (2011) analizó una secuencia de lluvias de 11 años en el mismo sitio de nuestro ensayo y menciona que 90% de los eventos fueron menores a 5 mm. La tendencia de una fuerte distribución de pequeñas lluvias es evidente para nuestro sitio de estudio.

En general, los eventos mayores de 10 mm suelen ocurrir en años húmedos (Sala et al. 1992) y están asociados a la ocurrencia de tormentas (Golluscio et al. 1998). En la distribución de lluvias para la región árida de Colorado se detectaron eventos de hasta 30 mm en 33 años de estudio (Sala et al. 1992). En los tres años analizados, dos fueron húmedos (Figura 3) y sólo se registraron cinco y siete eventos mayores a 10 mm durante el año 2019 y 2020 respectivamente (Figura 10), y el máximo valor registrado fue de 17,8 mm en el año 2019 y 16,8 mm en el año 2020. Ferrante 2011 registró para Potrok Aike el máximo evento de 27,4 mm en un período de 11 años y siete eventos promedio >10 mm por año. Remarcando que los eventos grandes son escasos en nuestro sitio de estudio.

Los eventos pequeños (<5 mm) tienen un tiempo de residencia corto, ya que sólo humedecen unos pocos cm del suelo que están sujetos a la evaporación. Sala y Lauenroth 1982 calcularon para el centro-norte Colorado (EEUU) que un riego de 5 mm al segundo día posterior al riego el suelo ya comenzó a secarse (precipitación media anual 311 mm; temperatura media anual 8,7°C). En el sitio de estudio los riegos de 10 mm tuvieron una permanencia de 8 días dependiendo de las condiciones de humedad previas y de las lluvias posteriores a la fecha del riego (Figura 9). En el mismo sitio, Ferrante et al. 2014 mostraron que los eventos pequeños pueden recargar el perfil hasta los 60 cm de profundidad del suelo si ocurren de manera continua y cuando las temperaturas son bajas. La importancia de los eventos de poco volumen estaría de esta manera relacionada con las condiciones de humedad previas en el suelo y con la secuencia con la que ocurren (Reynolds et al. 2004).

Los eventos de mayor tamaño percolan en el suelo y recargan las capas más profundas. Las capas del suelo en superficie suelen humedecerse por breves períodos pero de manera frecuente. Es una capa muy variable en humedad de suelo y está asociada a la evaporación. Sala et al. (1992) mostró que la capa que tiene más probabilidad de humedecerse, independientemente de cuanto llueva, es la capa de 0-15 cm de suelo. El sensor instalado en el presente ensayo se encuentra entre 5-10 cm de profundidad, y debería captar las variaciones de humedad y sequía en esta capa que es la más variable. La humedad en estas profundidades afecta especialmente a las gramíneas que tienen sus raíces concentradas entre los 0 a 20 cm de profundidad (Ferrante et al. 2014). Estas formas de vida son las más expuestas a la sequía pero tienen la oportunidad de aprovechar los pequeños pulsos de agua que humedecen esta porción del suelo.

La hipótesis planteada en este trabajo no fue aceptada. Nuestra hipótesis asumía que el riego durante el verano evitaría que el suelo se seque y los períodos de sequía serían muy breves. Sin embargo, el riego durante los meses de enero y febrero evitó que el suelo se seque dependiendo de las condiciones de humedad preexistentes en el suelo y de las precipitaciones

en los períodos entre los riegos. Por ejemplo, cuando el riego se realizó sobre suelo seco, este permaneció más húmedo pero sin llegar a la capacidad de campo (Figuras 9 a). Y cuando los riegos se efectuaron estando el suelo húmedo, se mantuvo a capacidad de campo, y no se generaron períodos secos (Figura 9 b y c). La segunda parte de la hipótesis asumía que las parcelas con intercepción de lluvias tendrían un período seco más intenso en el verano y más prolongado en el tiempo. El período seco en estas parcelas fue más prolongado e intenso, pero esto ocurrió en los meses de otoño (Figuras 6 y 8.)

## CONCLUSIÓN

Las lluvias en la Estepa Magallánica Seca ocurrieron como eventos de poco volumen (<5 mm) y los eventos mayores a 10 mm fueron escasos.

El efecto del riego durante el verano, varió según las condiciones de humedad preexistentes en el suelo y de las precipitaciones que ocurrieron entre los eventos de riego. Los riegos de 10 mm no generaron un efecto de humedad continuo, ya que en ausencia de lluvias el suelo se secó luego de 8 días.

La humedad en la capa superficial del suelo es muy variable y afecta sobre todo a las formas de vida gramíneas que concentran sus raíces en los primeros centímetros de profundidad del perfil del suelo.

El tratamiento de sequía mostró diferencias significativas respecto a los tratamientos testigo y riego, ya que mostró un período seco más intenso y más prolongado en el tiempo, tal como se esperaba, pero no sucedió en verano sino en el otoño.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está enmarcado en un proyecto de investigación más amplio, PI 29/A408: Productividad primaria y eficiencia de uso de la radiación de gramíneas y subarbustos, en un gradiente de precipitación en el sur de Patagonia., del Instituto de Cs. del Ambiente, Sustentabilidad y Recursos Naturales (ICASUR), Universidad de la Patagonia Austral. Tiene por objetivo evaluar el efecto de la sequía sobre la eficiencia del uso de la radiación en gramíneas y leñosas.

Los autores agradecen a Vanesa Torres por la colaboración en las salidas de campo y obtención de datos.

## BIBLIOGRAFÍA

- ADLER, P. B., MILCHUNAS, D. G., LAUENROTH, W. K., SALA, O. E., & BURKE, I. C. (2004). Functional traits of graminoids in semi-arid steppes: a test of grazing histories. *Journal of Applied Ecology*, 41(4), 653-663. <https://doi.org/10.1111/j.0021-8901.2004.00934.x>
- AUSTIN, A., YAHDJIAN L. y SCHAEFFER S. M. (2004). Water pulses and biogeochemical cycles in arid and semiarid ecosystems. *Oecologia* 141:1-15. <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1519-1>



- CHESSON, P., R. L. GEBAUER, S. SCHWINNING, N. HUNTLY, K. WIEGAND, M. S. ERNEST, A. SHER, A. NOVOPLANSKY, y J. F. WELTZIN. (2004). Resource pulses, species interactions, and diversity maintenance in arid and semi-arid environments. *Oecologia* 141 236-253. <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1551-1>
- DE FINA, A., A. GARBOSKY, F. GIANETTO, y L. SABELLA. (1968). Difusión geográfica de cultivos índices en la Provincia de Santa Cruz. INTA, Buenos Aires.
- FERRANTE, D. (2011). Distribución del agua en el suelo y su relación con la estructura radical y producción de biomasa de tres tipos funcionales, en un pastizal de la Estepa Magallánica seca, Santa Cruz (Doctoral dissertation, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires).
- FERRANTE, D; OLIVA, G & FERNÁNDEZ, R. (2014). Soil water dynamics, root systems, and plant responses in a semiarid grassland of Southern Patagonia. *Journal of Arid Environments* 104 (2014) 52e58. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.01.009>
- GOLLUSCIO, R., O. Sala, y W. LAUENROTH. (1998). Differential use of large summer rainfall events by shrubs and grasses: a manipulative experiment in the Patagonian Steppe. *Oecologia* 115:17-25. <https://doi.org/10.1007/s004420050486>
- HOOVER, D. L., WILCOX, K. R., & YOUNG, K. E. (2018). Experimental droughts with rainout shelters: a methodological review. *Ecosphere*, 9(1), e02088. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2088>
- LEÓN, R; BRAN, D; COLLANTES, M; PARUELO, J y SORIANO, A. (1998). Grandes unidades de vegetación de la Patagonia extra andina. *Ecología Austral* 8:125-144.
- LOIK, M. E., D. D. BRESHEARS, W. K. LAUENROTH, y J. BELNAP. (2004). A multi-scale perspective of water pulses in dryland ecosystems: climatology and ecohydrology of the western USA. *Oecologia* 141:269-281. <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1570-y>
- NOY-MEIR. (1973). Desert ecosystems: environment and producers. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4:25-51. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000325>
- OLIVA, G; GONZÁLEZ, L; RIAL, P y LIVRAGHI, E. (2001). El ambiente en la Patagonia Austral. Pages 40-45 in P. Borrelli y G. Oliva, editors. *Ganadería ovina sustentable en la Patagonia Austral. Tecnología de Manejo extensivo*. ErreGé & Asociados, Buenos Aires.
- PARUELO J, y O SALA. (1995). Water losses in the Patagonian steppe: a modelling approach. *Ecology* 76:510-520. <https://doi.org/10.2307/1941209>
- REYNOLDS, J. F., P. R. KEMP, K. OGLE, y R. J. FERNÁNDEZ. (2004). Modifying the "pulse-reserve" paradigm for deserts of North America: precipitation pulses, soil water; and plant responses. *Oecologia* 141:194-210. <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1524-4>
- SALA, O. E., y W. K. LAUENROTH. (1982). Small Rainfall Events: An Ecological Role in Semiarid Regions. *Oecologia* 53:301-304. <https://doi.org/10.1007/BF00389004>
- SALA, O. E., W. K. LAUENROTH, y W. J. PARTON. (1992). Long term soil water dynamics in the shortgrass steppe. *Ecology* 73 (4):1175-1181. <https://doi.org/10.2307/1940667>
- SALA, O. E., W. K. LAUENROTH, y R. A. GOLLUSCIO. (1997). Plant functional types in temperate semi-arid regions. Pages 217-233 in T. M. Smith, H. H. Shugart, y F. I. Woodward, editors. *Plant functional types - their relevance to ecosystem and global change*. Cambridge University Press, Cambridge
- SCHWINNING, S., B. I. STARR, y J. EHLERINGER. (2005). Summer and winter drought in a cold desert ecosystem (Colorado Plateau) part I: effects on soil water and plant water uptake. *Journal of Arid Environments* 60:547-566. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.07.003>

SNYDER K. y S. TARTOWSKY (2006). Multi-scale temporal variation in water availability: Implications for vegetation dynamics in arid and semi-arid ecosystems. *JAE*65:219. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.06.023>

YAHDJIAN, L., & SALA, O. E. (2002). A rainout shelter design for intercepting different amounts of rainfall. *Oecologia*, 133(2), 95-101. <https://doi.org/10.1007/s00442-002-1024-3>

