



# Efecto de la bioforma de arbustos sobre la tasa de evaporación en la Puna Austral de la Argentina

*Effect of the bioform of shrubs on the rate of evaporation in the southern Puna of Argentina*

MARIO ANDRES HERRERA MORATTA<sup>1,\*</sup>, ANA LAURA NAVAS ROMERO<sup>2</sup>  
Y EDUARDO MARTINEZ CARRETERO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Argentino de Investigaciones en Zonas Áridas,  
CONICET-Mendoza, CP:5500, Argentina.

<sup>2</sup>Instituto de Ingeniería Química; Facultad de Ingeniería (UNSJ);  
Grupo Vinculado al PROBIEN (CONICET-UNCuyo),  
San Juan, Argentina.

\*maherrera@mendoza-conicet.gob

## RESUMEN

Las zonas de alta montaña se caracterizan por la rigurosidad de sus condiciones climáticas. En este sentido el viento, es considerado el principal agente modulador de los procesos fisiológicos y ecológicos. En este trabajo evaluamos el efecto de la morfología de dos arbustos pulvinado vs no pulvinado en la tasa de evaporación, siendo el viento el principal agente modulador. Se extrajeron 5 ejemplares de cada morfología y se los expuso a un flujo de viento en túnel escala laboratorio. Para medir su efecto en la tasa de evaporación se utilizó la técnica de cuerpos libre de evaporación. La morfología pulvinada disminuyó la tasa de evaporación, mientras que la morfología no pulvinada no tuvo efecto. Las diferentes aerodinámicas, así como su intercambio de temperatura con el ambiente explicarían estos efectos.

## ABSTRACT

*The high mountain areas are characterized by the severity of their climatic conditions. In this sense, the wind is considered the main modulating agent of physiological and ecological processes. In this work we evaluated the effect of the morphology of two pulvinated vs. non-pulvinated shrubs on the evaporation rate, being the wind the main modulating agent. 5 specimens of each morphology were extracted and exposed to a laboratory-scale tunnel wind flow. To measure its effect on the evaporation rate, the evaporation free body technique was used. The*

*pulvinated morphology decreased the evaporation rate, while the non-pulvinated morphology had no effect. The different aerodynamics, as well as its temperature exchange with the environment, would explain these effects.*

---

**Palabras clave:** Tasa de evaporación; biofísica, arbustos pulvinados, arbustos de copa abierta

---

---

**Key words:** *Evaporation rate; biophysics, pulvinate shrubs, open crown shrubs*

---

## INTRODUCCIÓN

Las zonas de altas montañas se caracterizan por la rigurosidad de las condiciones climáticas. Las principales características de estos hábitats son las bajas temperaturas del aire y del suelo, los fuertes vientos, la inestabilidad del sustrato, la escasez de nutrientes y la corta duración del periodo favorable para el crecimiento (Hashim et al., 2020; Chabot & Billings 1972). Muchas de estas características climáticas cambian con el aumento de la altitud, de modo que la riqueza de especies y la diversidad de formas de vida disminuyen con la altura (Billings 1974; Billings & Mooney 1968; Grabherr 1994; Varricchione et al., 2021). Por lo que el espectro de especies y las formas de vida que son capaces de tolerar tales condiciones de viento y temperatura es muy limitado (Squeo et al., 1991; Squeo et al. 1996; Rada et al., 2019).

A mayores altitudes las plantas tienden a crecer más cerca del suelo, evadiendo los efectos del fuerte viento y las bajas temperaturas del aire (Cavieres et al., 1998; Rada et al., 2019). Hagger & Faggi (1990) han registrado disminuciones de hasta un 99% en la velocidad del viento en el interior de las plantas con crecimiento compacto y hemisférico (plantas pulvinadas o en cojín). Este fenómeno permite disminuir la pérdida de calor por convección, logrando que la temperatura del

aire en la superficie del cojín sea mayor que en el ambiente que las rodea (Körner & Larcher, 1988; Schulze, 1982). Por otro lado, esta estructura permite evitar el efecto desecante del viento, disminuyendo la evapotranspiración, permitiendo así mantener una mayor humedad en su interior (Hager & Faggi, 1990; Pysek & Liska, 1991; Rada et al., 2019). Sin embargo, las plantas pulvinadas no son las únicas que habitan los ambientes de altura. En estos ecosistemas dominan también arbustos de copa abierta, que se adaptan muy bien a estos sistemas distribuyéndose ampliamente incluso como acompañantes de las plantas pulvinadas. Las estrategias y la ecología que presenta cada una de estas especies para persistir y coexistir en ambientes de altas rigurosidades climáticas (fuertes vientos y bajas temperaturas) son escasamente conocidos.

En América del Sur, y en Argentina en particular en la región fitogeográfica de la Puna dos especies se pueden asociar a estas morfologías. *Baccharis tola* ssp. *tola* un arbusto pulvinado y *Senecio oreophyton* un arbusto no pulvinado (copa abierta). La ecología de ambas especies, así como sus efectos en las condiciones ambientales son escasamente conocidos. La hipótesis de este trabajo es que la morfología de la planta incide en las condiciones microambientales del interior de la canopia. Esto se debería a

que plantas con diferentes morfologías modificarían en diferente grado las condiciones ambientales incidiendo sobre la evaporación en su interior. La canopia de *B. tola* ssp. *tola* (arbusto pulvinado) produciría un mayor efecto en la tasa de evaporación que la de *S. oreophyton* (arbusto no pulvinado) debido a que la primera posee una morfología compacta que permite un menor intercambio de energía con el ambiente. El objetivo del presente trabajo fue determinar la interacción entre la morfología vegetal y la tasa de evaporación en condiciones controladas de túnel de viento.

## MATERIAL Y MÉTODO

### Colecta de ejemplares

Durante la estación de máxima expresión vegetativa (verano) se extrajeron 5 ejemplares de *S. oreophyton* y 5 de *B. tola* ssp. *tola* de la reserva privada de Usos Múltiples “Don Carmelo” ubicada en la precordillera andina de la provincia de San Juan, Argentina (30°54'18.63" S; 69° 4'27.14" W) a 3700 m s.n.m. En este sitio las comunidades de arbustos como *S. oreophyton* y *B. tola* ssp. *tola* son dominantes. Ambas pertenecen a la familia Asteraceae y comparten una similar distribución a lo largo de la cordillera de los Andes. El arbusto *S. oreophyton* (J. Rémy) posee una copa abierta densamente ramoso de 10 a 60 cm alto, con hojas caducas. Mientras que *B. tola* ssp. *tola* (Phil.) es un arbusto de copa cerrada, de 30-75 cm de alto, donde numerosas hojas perennes formando un cojín (Herrera Moratta, 2019). Los ejemplares fueron de tamaño y forma similar, de acuerdo a las proporciones del túnel de viento en laboratorio. Las plantas se sacaron completas (raíz, tallo, hojas) y se trasladaron a un

invernáculo. Una vez en invernáculo se trasladaron a envases de arcilla y se los acondiciono en condiciones contraladas de humedad y temperatura por 2 meses. Posteriormente los ejemplares se trasladaron para las mediciones en el túnel de viento.

Para determinar la evaporación potencial dentro de cada bioforma se trabajó en laboratorio en túnel de viento. Se utilizó un túnel de viento de circuito abierto. El túnel posee un filtro submicrónico a la entrada del soplador que evita el ingreso de partículas a la sección de medición. La sección de prueba, túnel propiamente dicho, posee una longitud de 1000 mm, una altura de 645 mm y un ancho de 210 mm. La velocidad utilizada durante las mediciones fue de aproximadamente 10 m/s, que es la máxima velocidad a la que se puede trabajar sin riesgo de levantar la planta del sustrato (grava).

La evaporación se determinó empleando cuerpos libres de evaporación. Cada cuerpo libre de evaporación consistió en un molde realizado con agua y agar-agar (5 gr de agar cada 100 gr de agua). Se realizaron un total de 180 moldes de 0.05 m de diámetro. Los moldes se distribuyeron de la siguiente manera: (a) seis en el centro de la vegetación, (b) seis fuera de la vegetación, en la periferia, y (c) seis de control. Las ubicaciones a) y b) corresponden a posiciones dentro del túnel de viento, con una velocidad constante de 10 m/s. La posición c) se corresponde con una posición fuera del túnel de viento en situación de calma (0 m/s). Transcurridos 20 minutos desde el inicio del experimento se procedió a pesar cada molde con una balanza digital (marca Kern Acj – modelo acs 220/4) de 0.0001 gr de precisión. El experimento por ejemplar duro un periodo total de



**Figura 1.** Disposición de los modelos de agar alrededor de la vegetación  
*Figure 1. Arrangement of agar patterns around the vegetation*

120 minutos. La evaporación potencial se midió sobre cada cuerpo cada 20 minutos en un período de 120 minutos de experimento. Conociendo el peso del molde colocado inicialmente y el peso al final del período, se obtuvo el porcentaje de peso seco remanente (PSR) para cada tiempo y forma biológica (Figura 1).

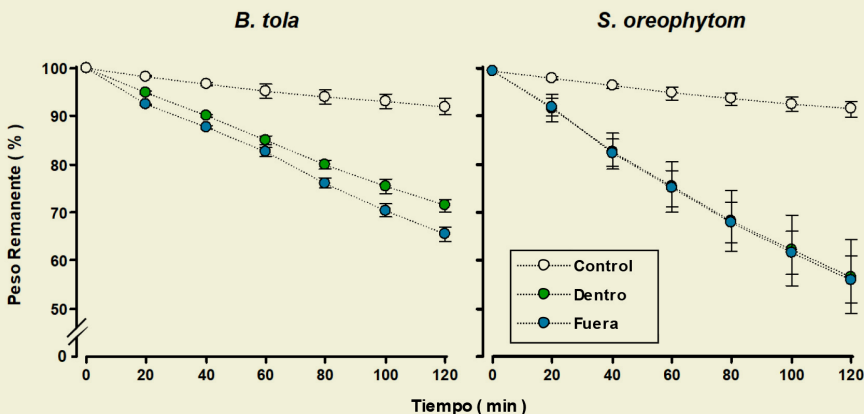
Se estimó las tasas de evaporación potencial como las pendientes de las funciones exponenciales negativas para el PSR al aumentar el tiempo de incubación (Swift, Heal, and Anderson 1979). Se evaluó si los PSR cumplían con los supuestos de una distribución normal. Las pendientes de las curvas de descomposición para los diferentes tratamientos se compararon por medio de una ANOVA de medidas repetidas. Todos los análisis se realizaron con el programa Insfostat v2018 (Di Rienzo et al., 2018).

## RESULTADOS

La pérdida del peso de los modelos de agar-agar bajo la influencia de *S. oreophyton* presentó un mayor valor que

los modelos utilizados bajo la influencia de *B. tola* ssp. *tola*. A los 20 minutos de experimentación el porcentaje de evaporación dentro de *S. oreophyton* fue 1.5 veces mayor que dentro de *B. tola* ssp. *tola*, y 4 veces mayor que en el control. A los 60 minutos la diferencia entre tratamientos fue de 1.6 veces y 5 veces respectivamente. Al finalizar el experimento, luego de 120 minutos, la pérdida de peso bajo *S. oreophyton* fue del 44%, en *B. tola* ssp. *tola* fue del 28%, mientras que en el tratamiento control fue de 8.5%. Cada bioforma afectó también la pérdida de peso de los modelos de agar fuera de la vegetación, siendo la diferencia al final de un 10 %.

La pérdida de peso se ajustó significativamente a funciones exponenciales negativas para la influencia de *B. tola* ssp. *tola* y *S. oreophyton*; y sus pendientes fueron diferentes significativamente (Figura 2). Se observó mayor pérdida de peso bajo la influencia de *S. oreophyton* que en *B. tola* (ANOVA de medidas repetidas,  $F=7.04$ ;  $p<0,001$ ;  $n=90$ ).



**Figura 1.** Pérdida de peso de los modelos de agar-agar (como porcentaje de peso remanente) bajo la influencia de *B. tola ssp tola* y *S. oreophyton* respectivamente, después de 20, 40, 60, 80, 100, y 120 minutos de experimentación (n = 6). Las funciones negativas de decaimiento exponencial de la forma  $y = A^{(-k \cdot x)}$  son:  $PR_{\text{dentro-Bacc}} = 100.38^{(-2.8 \times 10^{-3} \times \text{día})}$ ,  $PR_{\text{fuera-Bacc}} = 100.38^{(-3.5 \times 10^{-3} \times \text{día})}$ ,  $PR_{\text{dentro-Sen}} = 100.53^{(-4.8 \times 10^{-3} \times \text{día})}$ ,  $PR_{\text{fuera-Sen}} = 100.53^{(-2.8 \times 10^{-3} \times \text{día})}$ ,  $PR_{\text{Control}} = 100.05^{(-7 \times 10^{-4} \times \text{día})}$

**Figure 1.** Weight loss of agar-agar models (as percentage of remaining weight) under the influence of *B. tola ssp tola* and *S. oreophyton* respectively, after 20, 40, 60, 80, 100, and 120 minutes of experimentation (n = 6). The negative exponential decay functions of the form  $y = A^{(-k \cdot x)}$  are:  $PR_{\text{in-Bacc}} = 100.38^{(-2.8 \times 10^{-3} \times \text{day})}$ ;  $PR_{\text{out-Bacc}} = 100.38^{(-3.5 \times 10^{-3} \times \text{day})}$ ;  $PR_{\text{within-Sen}} = 100.53^{(-4.8 \times 10^{-3} \times \text{day})}$ ;  $PR_{\text{out-Sen}} = 100.53^{(-2.8 \times 10^{-3} \times \text{day})}$ ;  $PR_{\text{Control}} = 100.05^{(-7 \times 10^{-4} \times \text{day})}$

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

La tasa de evaporación fue mucho menor en *B. tola ssp. tola* que en *S. oreophyton*, a su vez, ambos valores resultaron mayores a los encontrados en ausencia de viento. Los fuertes vientos producen mayores tasas de transpiración y, por lo tanto, mayor estrés hídrico (Daubenmire, 1959; Sergey, 2012). Soriano (1953), estudió el efecto del viento a 14 km/h y 33,5 km/h sobre la tasa de transpiración de *Helianthus annuus*, *Bryophyllum calcinum*, *Datura sp*, *Nicotiana glauca*, *Poa pratensis* y *Larrea tridentata* y encontró que el viento influye de manera sensible

afectando la tasa de transpiración de las diferentes especies. Nuestros resultados indican que las diferentes morfologías de las plantas generan diferentes microclimas bajo su canopia. La morfología compacta, pulvinada, de *B. tola ssp. tola* genera condiciones más favorables de humedad para el establecimiento de organismos. La forma compacta de arbustos pulvinados ofrece una mayor respuesta aerodinámica a vientos de características laminar con respecto a la forma abierta, que permitiría evadir los efectos desecantes del viento debido al menor intercambio de energía con el ambiente.

## BIBLIOGRAFÍA

- BELCHER, S.E., I.N. HARMAN & J.J. FINNIGAN, 2012. The Wind in the Willows: Flows in Forest Canopies in Complex Terrain. *Annual Review of Fluid Mechanics* 44(1): 479–504.
- BILLINGS, W.D., 1974. Adaptations and Origins of Alpine Plants. *Arctic and Alpine Research* 6(2): 129.
- BILLINGS, W.D. & H.A. MOONEY, 1968. The Ecology of Arctic and Alpine Plants. *Biological Reviews* 43(4): 481–529.
- BLISS, L.C., 1971. Arctic and Alpine Plant Life Cycles. *Annual Review of Ecology and Systematics* 2(1): 405–38.
- CAVIERES, L., A. PEÑALOZA, C. PAPIĆ & M. TAMBUTTI, 1998. Efecto Nodrizo de *Laretia Acaulis* (Umbelliferae) En Plantas de La Zona Alto-Andina de Chile Central. *Revista Chilena de Historia Natural* 71: 337–47.
- CHABOT, B.F. & W. D. BILLINGS, 1972. Origins and Ecology of the Sierran Alpine Flora and Vegetation. *Ecological Monographs* 42(2): 163–99.
- DAUBENMIRE, R.F., 1959, *Plants and Environment*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- GRABHERR, G., M. GOTTFRIED & H. PAULI, 1994. Climate effects on mountain plants. *Nature*: 369- 448. [Google Scholar] [CrossRef].
- HAGER, J. & A.M- FAGGI, 1990. Observaciones Sobre Distribución y Microclima de Cojines Enanos de La Isla de Creta y Del Noroeste de La Patagonia. *Parodiana* 6: 109–27.
- HASHIM, A.M., B.M ALHARBI, A.M. ABDULMAJEED, A. ELKELISH, W.N. HOZZEIN & H. HASSAN, 2020. Oxidative stress responses of some endemic plants to high altitudes by intensifying antioxidants and secondary metabolites content. *Plants* 9(7): 869.
- KÖRNER, C. & W. LARCHER, 1988. *Plant Life in Cold Climates*. *Plants and Temperature*: 25–57.
- MACARTHUR, R.H.. 1972. *Geographical Ecology. Patterns in the Distribution of Species*. New Jersey: Pinceton University Press.
- PYSEK, P. & J. LISKA, 1991. Colonization of *Sibbaldia-Tetrandra* Cushions on Alpine Scree in the Pamiro-Alai Mountains, Central-Asia. *Arctic and Alpine Research* 23(3): 263–72.
- RADA, F., A. AZÓCAR & C. GARCÍA-NÚÑEZ, 2019. Plant functional diversity in tropical Andean paramos. *Plant Ecology & Diversity*, 12(6): 539-553
- SCHULZE, E., 1982. Plant Life Forms and Their Carbon, Water and Nutrient Relations. In: Lange O.L., Park S. Nobel, C.B. Osmond, and H. Ziegler (eds.), *Physiological Plant Ecology II. Water Relations and Carbon Assimilation* New York, NY. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 181–230.
- SERGEY, S., 2012. *Plant Stress Physiology*. Hobart, Australia: CABI Publishing.
- SORIANO, A., 1953. Observaciones experimentales sobre el efecto del viento en las plantas. *Revista de Investigaciones Agrícolas* 7. Buenos Aires.
- SQUEO, F.A., F. RADA, A. AZOCAR & G. GOLDSTEIN, 1991. Freezing Tolerance and Avoidance in High Tropical Andean Plants: Is It Equally Represented in Species with Different Plant Height? *Oecologia* 86(3): 378–82.
- SQUEO, F.A., H. Veit, G. Arancio, J.R. Gutierrez, M.T.K. Arroyo & N Olivares, 1993. Spatial Heterogeneity of High Mountain Vegetation in the Andean Desert Zone of Chile. *Mountain Research and development* 13(2): 203–209.
- SQUEO, F.A., F. Rada, C. García, M. Ponce, A. Rojas & A. Azócar, 1996. Cold Resistance Mechanisms in High Desert Andean Plants. *Oecologia* 105(4): 552–555.
- SWIFT, M.J., O.W. HEAL & J.M. ANDERSON, 1979. *Decomposition in Terrestrial Ecosystems. Review Literature And Arts Of The Americas* 5. University of California press.

VARRICCHIONE, M., DI CECCO, V., SANTOIANI, L.A., A. STANISCI, M. DI FEBBRARO, L. DI MARTINO & M.L. CARRANZA, 2021. Diagnostic Species Diversity Pattern Can Provide Key Information on Vegetation Change: An Insight into High Mountain Habitats in Central Apennines. *Journal of Zoological and Botanical Gardens* 2(3): 453-472.

Recibido: 09/2022

Aceptado: 11/2022