

Artículo original

Patrón de distribución espacial de *Polylepis rugulosa* Bitter (queñoa) en diferentes exposiciones de ladera, Tacna (Perú)

[Spatial distribution pattern of *Polylepis rugulosa* Bitter (queñoa) in different hillside slope exposures, Tacna (Peru)]

Angel Canales-Gutiérrez^{*1}, Ivon Rocio Gutierrez-Flores²

1. Universidad Nacional del Altiplano de Puno (UNAP). Facultad de Ciencias Biológicas. Programa de Ecología. Av. Floral N° 1153, Puno, Puno, Perú. Correo electrónico: acanales@unap.edu.pe

(A. Canales-Gutiérrez * Autor para correspondencia).

2. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna (UNJBG). Facultad de Ciencias Agropecuarias. Av. Miraflores s/n., Tacna, Tacna, Perú. Correo electrónico: igutierrezf@unjbg.edu.pe (I. R. Gutierrez-Flores).

Resumen

Son pocos los estudios de distribución espacial de los bosques de queñoa que consideren diferentes condiciones ambientales, a pesar de ser ecosistemas amenazados por diversas actividades antrópicas. Por ello, el objetivo de este estudio fue determinar el patrón de distribución espacial de *Polylepis rugulosa* bajo diferentes exposiciones de ladera en la localidad de Ticaco de la región Tacna (Perú), para contribuir con información para la conservación de este tipo de vegetación. La evaluación se realizó en laderas Este y Oeste, en 56 parcelas de 10 x 10 m (100 m²) distribuidas aleatoriamente, dentro de las cuales se contabilizaron los individuos adultos de la especie. En ambas laderas, el patrón de distribución fue contagioso, siendo más acentuada en la ladera de exposición Oeste (Índice de dispersión = 5,4). La densidad poblacional fue mayor en la ladera de exposición Oeste con 20,92 individuos en 0,01 ha, mientras que en la ladera de exposición Este se registraron 8,35 individuos en 0,01 ha. En el área de estudio el patrón de distribución de *P. rugulosa* se explica principalmente por las condiciones ambientales y tipo de regeneración predominante. Por lo tanto, el patrón de distribución espacial de *P. rugulosa*, resultó ser contagioso en ambas laderas de la quebrada Queñoa en la región Tacna.

Palabras clave: Distribución contagiosa, Densidad poblacional, Exposición Oeste, Exposición Este.

Abstract

There are few studies about the spatial distribution of queñoa forests that consider different environmental conditions, despite the fact these ecosystems are being threatened by anthropogenic activities. Therefore, the goal of this study was to determine the spatial distribution pattern of *Polylepis rugulosa* in different hillside slope exposures in Ticaco town, Tacna region (Perú), to contribute with information for the conservation of this type of vegetation. The assessment was carried out in randomly distributed plots. 56 plots of 10 x 10 m (100 m²) in which the adult individuals of the species were counted. The evaluation was carried out on hillside slopes with different light intensity, western and eastern exposure hillside slopes. On both slopes, the distribution pattern was contagious, being more pronounced on the western exposure slope (Dispersion index = 5,4). Population density was higher on the western exposure slope with 20,92 individuals/ha, while 8,35 individuals/ha were recorded on the eastern exposure slope. In the study area, the distribution pattern of *P. rugulosa* is mainly explained by environmental conditions and type regeneration. Therefore, the spatial distribution pattern of *P. rugulosa* was found to be contagious on both slopes of the Queñoa stream in the Tacna region.

Keywords: Contagious distribution, Population density, Western exposure, Eastern exposure.

INTRODUCCIÓN

El patrón de la distribución espacial, es el estudio del comportamiento de una especie frente a la disponibilidad de nutrientes y espacio, donde se contabiliza número de individuos a través de cuadrantes aleatorios (Canales, 2011). Muchos estudios se han realizado respecto a los factores que influyen en los patrones de distribución espacial de las especies, generalizándose tres patrones de distribución espacial: aleatorio, contagioso y regular (Heltshe y Ritchey, 1984). Estos patrones de distribución dependen del tiempo, ubicación y escala de evaluación (Haase *et al.*, 1997; Moustakas *et al.*, 2008). Los patrones no aleatorios (regulares y contagiosos) implican la existencia de algunas limitaciones (Ludwig y Reynolds, 1988) como de nutrientes o espacio. El patrón de distribución contagioso es más común en especies con dispersión eólica y a nivel de plántulas (Padien y Lajtha, 1992; Lan *et al.*, 2009), acentuándose en condiciones áridas y semi - áridas (Tirado y Pugnaire, 2003). Las plántulas conforme van creciendo y aumentando la competencia por los recursos, cambian la distribución a regular (Lan *et al.*, 2009), ya que empiezan a sufrir el efecto de la mortalidad denso-dependiente (Kenkel *et al.*, 1997; Lan *et al.*, 2009). Entonces, en una etapa adulta, el patrón de distribución es más regular. Sin embargo, este patrón de distribución puede ser afectado por las condiciones ambientales o por el tipo de regeneración de las especies (Peterson y Squires, 1995). Se ha encontrado que frente a una regeneración vegetativa de individuos, el patrón de distribución es más contagioso con el tiempo (Peterson y Squires, 1995), en lugar de ser regular.

Las condiciones ambientales de los hábitats de las especies cambian según la latitud, la altitud (Rusch, 1993) o la exposición de una ladera (Rundel *et al.*, 2003, Bennie *et al.*, 2006). Considerando la exposición de una ladera hay una variación del ángulo de los rayos del sol (Yohannes *et al.*, 2015); de modo que, la intensidad solar, la humedad y la temperatura (Huang *et al.*, 2015) cambian. Los estudios sobre cómo

afecta la orientación de una ladera en la regeneración, cobertura, biomasa o diversidad de especies son diversos. Por ejemplo, se ha encontrado que en laderas de mayor exposición solar y con menor humedad tienen una mayor diversidad de especies (Chmura, 2008; Badano *et al.*, 2005), composición de plantas diferente (Gallardo-Cruz *et al.*, 2009), menor disponibilidad de nutrientes (Huang *et al.*, 2015), menor biomasa de árboles y de hojarasca (Yohannes *et al.*, 2015) y patrón de establecimiento de plántulas contagioso (Elliott y Kipfmüller, 2010).

En el Perú, uno de los ecosistemas altoandinos de importancia son los bosques de *Polylepis*. El Perú alberga la mayor diversidad de especies de este género (19 especies), siendo cinco de ellas endémicas (Mendoza y Cano, 2011). No obstante, son uno de los ecosistemas más amenazados, fragmentados y poco estudiados, debido a las condiciones y altitudes en las que crece (Purcell *et al.*, 2004; Benham *et al.*, 2011). Las especies de este género se distribuyen mayormente en zonas de laderas que en planicies (Kessler, 2002; Ridbäck, 2008). Pero ¿cómo es la distribución espacial dentro de estos hábitats? y ¿la orientación de la ladera afecta en el patrón de distribución? Generar información respecto a los aspectos ecológicos de una especie ayuda a plantear estrategias de conservación (Segovia *et al.*, 2018). Particularmente, los estudios de los patrones de distribución espacial de las especies son fundamentales para comprender el efecto de sucesos pasados. Además, la distribución espacial de la vegetación tiene implicaciones importantes, no solo para las plantas mismas; sino también, para otros organismos que interactúan con ellas, como los herbívoros, los polinizadores y animales para los cuales las plantas proporcionan un hábitat (Dale, 1999).

En la región Tacna se ha reportado tres especies del género *Polylepis*, siendo una de ellas *P. rugulosa* (Mendoza y Cano, 2011). Esta especie se caracteriza por tener foliolos muy rugosos en la superficie superior, de 1,1-2,3 cm de longitud, redondos a ovalados; los frutos suelen tener varias espinas de color marrón (Kessler y Schmidt-Lebuhn, 2006). Estudios de distri-

bución espacial de esta especie son limitados, más aún en diferentes condiciones ambientales, como los que representa las diferentes exposiciones de ladera. De este modo, el objetivo de esta investigación fue determinar el patrón de distribución espacial de *P. rugulosa* en diferentes exposiciones de ladera en la localidad de Ticaco de la región Tacna (Perú).

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio

La investigación se realizó en la quebrada Queñoa del distrito Ticaco, departamento Tacna, ubicado en las coordenadas 389677 m de latitud Sur y 8076356 m de longitud Oeste y a una altitud de 3882 metros sobre el nivel del mar. De acuerdo al sistema de clasificación de Thornthwaite, el clima en el área de estudio corresponde a Lluvioso Semifrío (de Tundra), en el que las temperaturas medias anuales son de 7°C (SENAMHI, 2020). Las precipitaciones se enmarcan al verano, entre diciembre a marzo. El invierno se caracteriza por la ausencia de lluvias. Otra característica importante es la baja humedad relativa, sobre todo en los meses de invierno. En el área de estudio no se registró indicios de perturbación por pastoreo o tala que pudieran afectar la distribución espacial de la especie en estudio, pues la localidad más cercana (Ticaco) se ubica a 6,2 km aproximadamente. Los muestreos iniciaron cuando la cobertura de *Polylepis* fue homogénea, tanto en la ladera de exposición Este como Oeste. La especie que se evaluó fue *P. rugulosa*, cuyo dosel puede alcanzar hasta los 5 m de altura (Morales-Aranibar *et al.*, 2019). En el área de estudio, *P. rugulosa* se encuentra acompañada por la especie *Chusqueira spinosa* principalmente. La ubicación de las parcelas de muestreo se realizó con un GPS Garmin Oregon 650. El mapa se realizó en el programa Qgis 3.16.

Diseño de estudio del patrón de distribución espacial

La evaluación se realizó en 56 parcelas de 10 x 10 m, 28 de las cuales se ubicaron en la ladera de exposición Oeste y las otras 28 parcelas

en la ladera de exposición Este. Las parcelas se ubicaron de forma aleatoria, alejándose de la influencia de quebradas o caminos. Dentro de cada parcela se contabilizó el número de individuos adultos mayores a 0,50 cm de *P. rugulosa*. La ubicación espacial de las parcelas se muestra en la Figura 1 y sus coordenadas en la Tabla 1. No se hizo el proceso de herborización, la identificación se basó en el estudio de Morales-Aranibar *et al.* (2019), quién identificó la especie como *P. rugulosa*.

Análisis de datos

Previo al análisis, los datos fueron ordenados de manera ascendente. Para la determinación del tipo de patrón de distribución espacial, se calculó el Índice de Dispersión (ID) propuesto por Clapham (1936) en el que se relaciona la varianza y la media de una muestra ($ID = s^2/\bar{X}$) (Eq-1).

$$\text{Media } (\bar{X}) = \frac{\sum x_i f_i}{\sum f_i} \quad (\text{Eq-2});$$

$$s^2 = \frac{1}{\sum f_i} \left[\sum x_i^2 f_i - \frac{(\sum x_i f_i)^2}{\sum f_i} \right] \quad (\text{Eq-3})$$

Dónde: X_i = número de individuos en cada parcela, f_i = número de parcelas que contienen X_i individuos.

Luego, el índice de dispersión fue analizado con la prueba con Ji-cuadrado (X^2) con $n-1$ grados de libertad, partiendo de la hipótesis nula de una distribución aleatoria. La distribución es aleatoria cuando X^2 cae en los valores tabulados de Ji-cuadrado entre los niveles de probabilidad de 0,975 y 0,025 ($P > 0,05$), que significa que $s^2 = \bar{X}$. Por otra parte, valores de X^2 menores al nivel de probabilidad de 0,975 sugiere una distribución regular ($s^2 < \bar{X}$), mientras que si los valores de X^2 son mayores que el nivel de probabilidad de 0,025 sugiere un patrón contagioso ($s^2 > \bar{X}$).

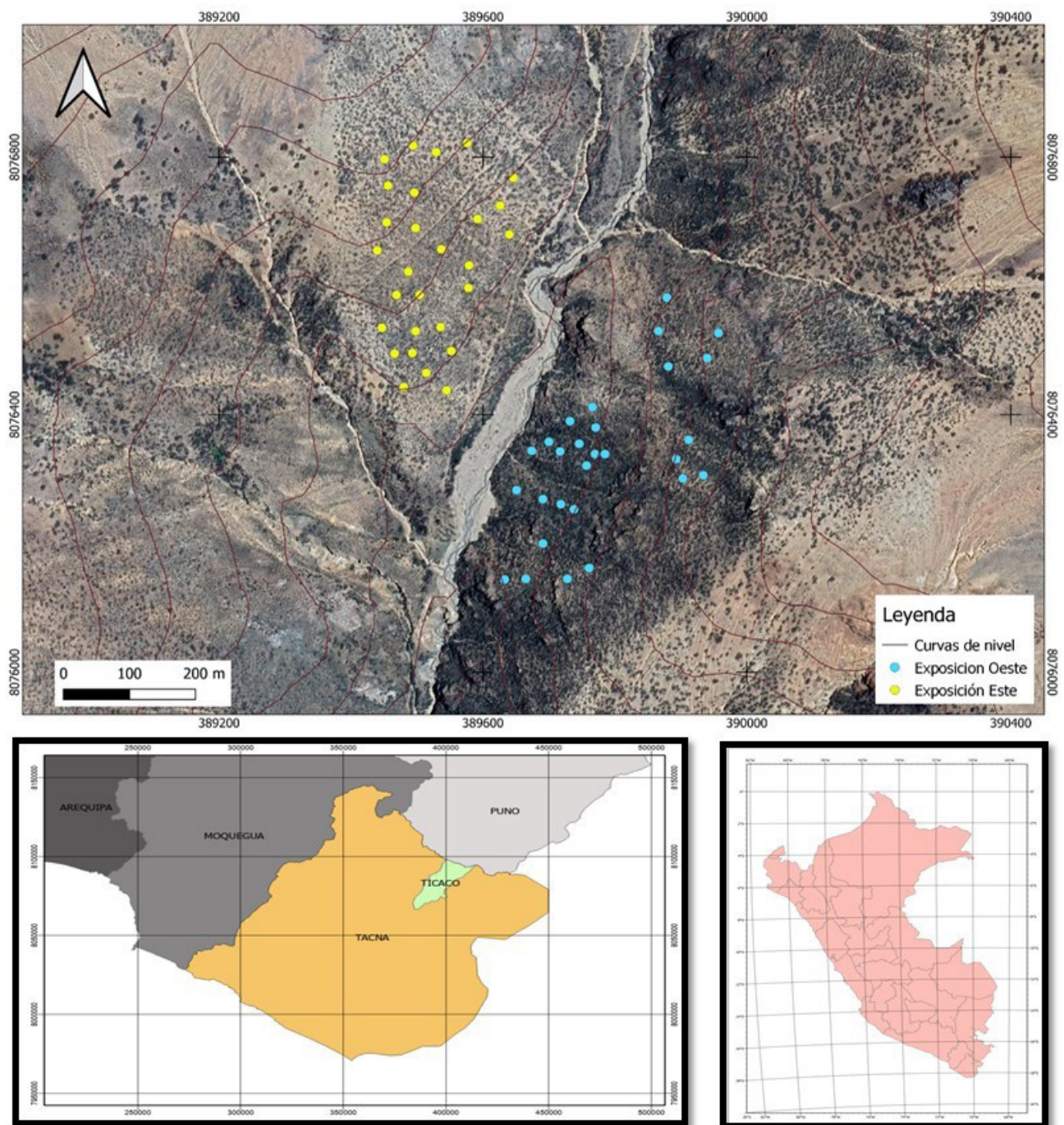


Figura 1. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo en el área de estudio, que corresponde al estudio de la distribución espacial de *P. rugulosa* en el Distrito de Ticaco, Tacna, Perú.

Tabla 1. Ubicación de las parcelas de muestreo de *P. rugulosa* en la quebrada Queñoa, en coordenadas UTM, zona 19 Sur, Tacna (Perú).

Nº parcela	Exposición	Este	Norte	Exposición	Este	Norte
1	Este	389545	8076438	Oeste	389633	8076144
2		389480	8076443		389665	8076145
3		389514	8076465		389691	8076200
4		389493	8076496		389728	8076145
5		389466	8076495		389761	8076162
6		389552	8076499		389718	8076261
7		389536	8076536		389691	8076269
8		389498	8076530		389651	8076283
9		389447	8076535		389738	8076253
10		389469	8076586		389674	8076344
11		389504	8076586		389700	8076358
12		389578	8076597		389717	8076343
13		389487	8076622		389757	8076321
14		389579	8076632		389770	8076339
15		389537	8076657		389746	8076355
16		389440	8076655		389732	8076390
17		389640	8076680		389785	8076339
18		389592	8076704		389771	8076380
19		389626	8076725		389766	8076412
20		389646	8076768		389903	8076301
21		389498	8076690		389893	8076331
22		389454	8076699		389912	8076361
23		389496	8076745		389934	8076306
24		389456	8076756		389881	8076475
25		389451	8076797		389866	8076530
26		389529	8076808		389879	8076582
27		389576	8076822		389940	8076488
28		389494	8076818		389957	8076527

RESULTADOS

En la ladera de exposición Este (Figura 2) se registró una media de $8,35 \pm 4,02$ individuos en 0,01 ha, con un rango de 2 a 18 individuos en 0,01 ha. La altura promedio de los individuos fue $1,60 \pm 0,79$ m. La mayoría de los individuos de esta ladera tenían troncos monopódicos. El índice de dispersión (ID) fue 1,9, de modo que X^2 calculada fue 76,21. Entonces, X^2 calculado fue mayor que X^2 tabulado (40,11), indicando una distribución contagiosa.

En la ladera de exposición Oeste (Figura 3) se registró una media de $20,92 \pm 10,65$ individuos en 0,01 ha, con un rango de 11 a 56 individuos en 0,01 ha. La altura promedio de los individuos fue $1,41 \pm 0,51$ m. La mayoría de los individuos de esta ladera tuvieron un aspecto achaparrado, con predominancia de troncos simpódicos. El ID fue 5,4, de modo que X^2 calculada fue 396,09. Entonces, X^2 calculado fue mayor que X^2 tabulado (73,35), indicando una distribución también contagiosa.

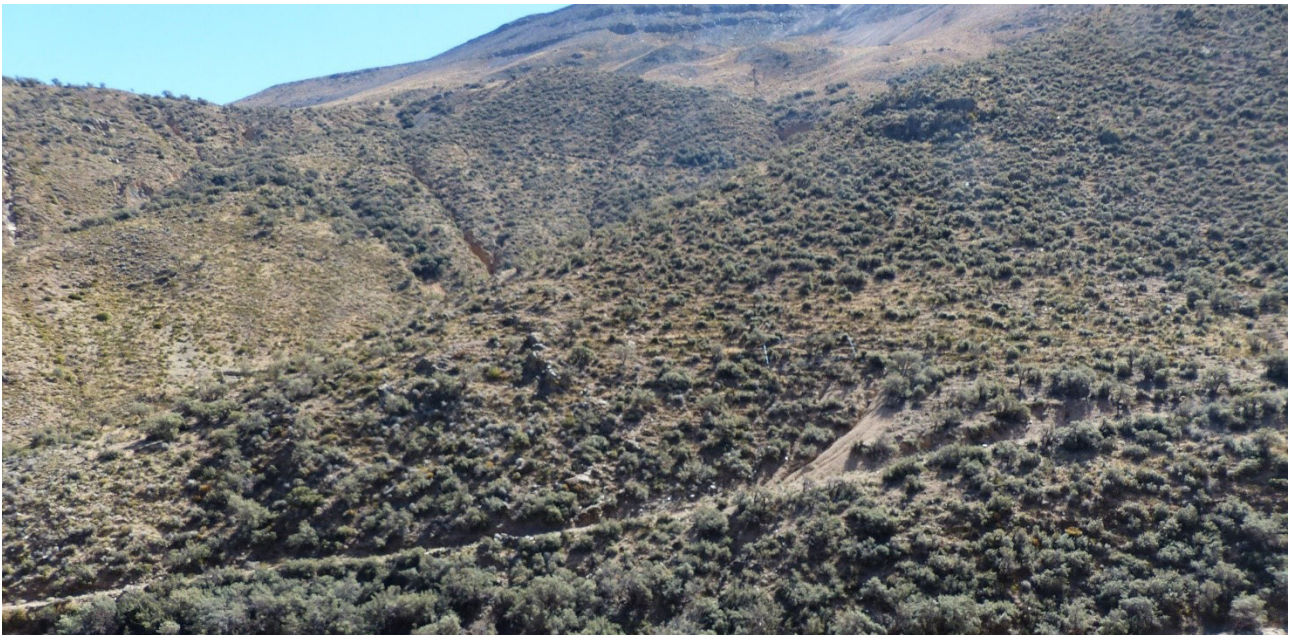


Figura 2. Bosque de *P. rugulosa* en la ladera de exposición Este en el que el patrón de distribución espacial fue contagioso, en Tacna, Perú.



Figura 3. Bosque de *P. rugulosa* en la ladera de exposición Oeste, en el que el patrón de distribución espacial fue contagioso, aunque más acentuado que la ladera de exposición este, en Tacna, Perú.

DISCUSIÓN

En ambas laderas el patrón de distribución espacial fue contagioso o agregado. Sin embargo, fue en la ladera de exposición Oeste donde el patrón de distribución fue más contagioso, ya que el índice de dispersión resultó 5,4. En cambio, en la ladera de exposición Este, si bien el patrón de distribución resultó contagioso, fue menos marcado ($ID = 1,9$), tendiendo a un patrón más bien aleatorio. El índice de dispersión se aproxima a la unidad conforme se incrementa la aleatoriedad y a cero cuando la uniformidad es máxima (Krebs, 1985).

El patrón de distribución espacial encontrado, va acorde con otras investigaciones realizadas en este tipo de ecosistemas, en el que condiciones xéricas conllevan a una distribución espacial contagiosa (Padien y Lajtha, 1992; Tirado y Pugnaire, 2003; Elliott y Kipfmüller, 2010). Sin embargo, Rodríguez (2018) encontró una distribución aleatoria para *P. rugulosa*. Esto puede deberse a la diferencia en la geomorfometría y calidad de los hábitats entre las áreas de estudio. Por ejemplo, Toivonen *et al.* (2017) encuentra un efecto de la exposición y altitud en la preferencia de establecimiento de los bosques de *Polylepis*.

Por otra parte, se pudo observar que en la ladera de exposición Este había una predominancia de regeneración por semilla; en cambio, en la ladera de exposición Oeste había una predominancia de regeneración vegetativa. Entonces, la regeneración vegetativa predominante de esta especie en condiciones áridas (Peterson y Squiers, 1995; Cierjacks *et al.*, 2007; Elliott y Kipfmüller, 2010) pudo haber influido en la distribución contagiosa más acentuada en la ladera de exposición Oeste. La predominancia de regeneración vegetativa está asociado a condiciones ambientales más severas de humedad (Padien y Lajtha 1992; Rundel *et al.*, 2003; Elliott y Kipfmüller, 2010; Toivonen *et al.*, 2011), siendo una estrategia efectiva de reclutamiento en estas condiciones (Rada *et al.*, 2011). Además, en condiciones de baja humedad es limitada la presencia de biomasa microbiana (Huang *et al.*,

2015), que limita la disponibilidad de nutrientes para las plántulas emergidas por semilla. Por lo tanto, al ser predominante la regeneración vegetativa en la ladera de exposición Oeste, el patrón de agrupamiento aumentó debido a la individualización de las ramas a individuos independientes (Peterson y Squiers, 1995). Del mismo modo, la dispersión eólica de las semillas, es otro factor que pudo haber influido en el patrón de distribución contagioso registrado en ambas laderas (Ludwig y Reynolds, 1988). Esta forma de distribución posibilita la creación de un hábitat más favorable para la sobrevivencia de los individuos (Ludwig y Reynolds, 1988).

La densidad de individuos fue menor en la ladera de exposición Este (8,35 individuos en $0,01 \text{ ha}^{-1}$) que con respecto a la ladera de exposición Oeste (20,92 individuos en $0,01 \text{ ha}^{-1}$). Similares densidades fueron reportadas por Morales-Aranibar *et al.* (2019). La diferencia de la densidad encontrada en este estudio, está en correspondencia con la regeneración vegetativa predominante en la ladera de exposición Oeste, donde las ramas rápidamente llegan a individualizarse (Peterson y Squiers, 1995) y llegan a ser adultos. Los individuos de la ladera con mayor radiación solar (exposición Este) tuvieron una mayor altura en comparación a la ladera con menor radiación solar (exposición Oeste), similar a lo reportado en otros estudios (por ejemplo: Chmura, 2008; Kessler *et al.*, 2007). Esto puede deberse al efecto positivo de la radiación solar en zonas de alta elevación (Chmura, 2008; Toivonen *et al.*, 2011).

En el área de estudio, el patrón de distribución espacial estaría influenciado por las condiciones ambientales y topográficas, y no tanto por perturbaciones antrópicas como se sugiere en otras áreas de estudio de la región Tacna (por ejemplo: Morales-Aranibar *et al.*, 2019). Esto debido a que en el área de estudio no se evidenció indicios de perturbaciones antrópicas. Este estudio, aunque de manera incipiente muestra los patrones de distribución de *P. rugulosa* bajo diferentes condiciones ambientales, es un primer paso para comprender aspectos ecológicos de la especie.

Aunque los resultados necesitan mayores evaluaciones, por ejemplo, considerar otros factores topográficos como la pendiente o índice de protección morfométrica (Toivonen *et al.*, 2017), factores estructurales de la misma vegetación y evaluaciones en diferentes y mayores escalas (Haase *et al.*, 1997; Marcora *et al.*, 2008), se sugiere que el mayor aglomeramiento en la ladera de exposición Oeste, estaría influido por las condiciones meteorológicas y por la predominancia de regeneración vegetativa, siendo motivo de futuras investigaciones.

CONCLUSIONES

El patrón de distribución espacial de *P. rugulosa*, resultó ser contagioso en ambas laderas de la quebrada Queñoa en la región Tacna. La densidad poblacional, en ambas laderas fue diferente, siendo menor en la ladera de exposición este con una densidad de 8,35 individuos en 0,01 ha, mientras que en la ladera de exposición oeste presentó una densidad de 20,92 individuos en 0,01 ha.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Badano, E., Cavieres, L., Molina-Montenegro, M., Quiroz, C. (2005) Slope aspect influences plant association patterns in the Mediterranean matorral of central Chile. *Journal of Arid Environments*, 62 (1): 93–108. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.10.012>
- Benham, P., Beckman, E., DuBay, S., Flores, L., Johnson, A., Lelevier, M., Witt, C. (2011) Satellite imagery reveals new critical habitat for Endangered bird species in the high Andes of Peru. *Endangered Species Research*, 13: 145–157. <https://doi.org/10.3354/esr00323>
- Bennie, J., Hill, M., Baxter, R., Huntley, B. (2006) Influence of slope and aspect on long-term vegetation change in British chalk grasslands. *Journal of Ecology*, 94 (2): 355–368. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2006.01104.x>
- Canales, A. (2011) *Bioestadística. Herramienta para la investigación*. Editorial Corporación Merú E.I.R.L. Puno.
- Chmura, D. (2008) The slope aspect affects the heterogeneity and growth of ground vegetation in deciduous temperate forest. *Polish Journal of Ecology*, 56 (3): 463–470.
- Cierjacks, A., Ruhr, N., Wesche, K., Hensen, I. (2007) Effects of altitude and livestock on the regeneration of two tree line forming *Polylepis* species in Ecuador. *Plant Ecology*, 194: 207–221. <https://doi.org/10.1007/s11258-007-9285-x>
- Dale, M. (1999) Spatial Pattern Analysis in Plant Ecology. *Spatial Pattern Analysis in Plant Ecology*. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511612589>
- Elliott, G., Kipfmüller, K. (2010) Multi-scale influences of slope aspect and spatial pattern on ecotonal dynamics at upper treeline in the southern rocky mountains, U.S.A. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 42 (1): 45–56. <https://doi.org/10.1657/1938-4246-42.1.45>
- Gallardo-Cruz, J., Pérez-García, E., Meave, J. (2009) β -Diversity and vegetation structure as influenced by slope aspect and altitude in a seasonally dry tropical landscape. *Landscape Ecology*, 24 (4): 473–482. <https://doi.org/10.1007/s10980-009-9332-1>
- Haase, P., Pugnaire, F., Clark, S., Incoll, L. (1997) Spatial pattern in *Anthyllis cytioides* shrubland on abandoned land in southeastern Spain. *Journal of Vegetation Science*, 8 (5): 627–634. <https://doi.org/10.2307/3237366>
- Heltsh, J., Ritchey, T. (1984) Spatial pattern detection using quadrat samples. *Biometrics*, 40: 877–885.

- Huang, Y., Liu, D., An, S. (2015). Effects of slope aspect on soil nitrogen and microbial properties in the Chinese Loess region. *Catena*, 125: 135–145. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.09.010>
- Kenkel, N., Hendrie, M., Bella, I. (1997) A long-term study of *Pinus banksiana* population dynamics. *Journal of Vegetation Science*, 8 (2): 241–254. <https://doi.org/10.2307/3237353>
- Kessler, M. (2002). The *Polylepis* problem: Where do we stand ? *Ecotropica*, 8: 97–110.
- Kessler, M., Böhner, J., Kluge, J. (2007). Modeling tree height to assess climatic conditions at tree lines in the Bolivian Andes. *Ecological Modelling*, 207 (2–4): 223–233. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.05.001>
- Lan, G., Zhu, H., Cao, M., Hu, Y., Wang, H., Deng, X., Song, J. (2009) Spatial dispersion patterns of trees in a tropical rainforest in Xishuangbanna, southwest China. *Ecological Research*, 24 (5): 1117–1124. <https://doi.org/10.1007/s11284-009-0590-9>
- Ludwig, J., Reynolds, J. (1988) *Statistical Ecology: A Primer on Methods and Computing*. Wiley-Interscience Pub., New York.
- Marcora, P., Hensen, I., Renison, D., Seltsmann, P., Wesche, K. (2008) The performance of *Polylepis australis* trees along their entire altitudinal range: implications of climate change for their conservation. *Diversity and Distributions*, 14: 630–636. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2007.00455.x>
- Mendoza, W., Cano, A. (2011). Diversidad del género *Polylepis* (Rosaceae, Sanguisorbeae) en los Andes peruanos. *Revista Peruana de Biología*, 18 (2): 197–200.
- Morales-Aranibar, L., de la Puente, E., Costa, J. (2019). Ecology of *polylepis* spp forests, and proposal for its conservation in the Andean region of Tacna, Peru. *Vide. Tehnologija. Resursi - Environment, Technology, Resources*, 1: 180–186. <https://doi.org/10.17770/etr2019vol1.4105>
- Moustakas, A., Wiegand, K., Getzin, S., Ward, D., Meyer, K., Guenther, M., Mueller, K. (2008) Spacing patterns of an *Acacia* tree in the Kalahari over a 61-year period: How clumped becomes regular and vice versa. *Acta Oecologica*, 33 (3): 355–364. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2008.01.008>
- Padien, D., Lajtha, K. (1992). Plant spatial pattern and nutrient distribution in pinyon-juniper woodlands along an elevational gradient in northern New Mexico. *International Journal of Plant Sciences*, 153 (3): 425–433. <https://doi.org/10.1086/297048>
- Peterson, C., Squiers, E. (1995). An Unexpected Change in Spatial Pattern Across 10 Years in an Aspen-White Pine Forest. *The Journal of Ecology*, 83 (5): 847–855. <https://doi.org/10.2307/2261421>
- Purcell, J., Brelsford, A., Kessler, M. (2004) The World ' s Highest Forest. A better understanding of the properties of Andean *queñua* woodlands has major implications for their conservation. *American Scientist*, 92: 454–461. <https://doi.org/10.1511/2004.49.940>
- Rada, R., García, C., Rangel, S. (2011) Microclimate and regeneration patterns of *Polylepis Sericea* in a treeline forest of the Venezuelan Andes. *Ecotrópicos*, 24 (1): 113–122.
- Ridbäck, U. (2008). *A floristic study of Polylepis forest fragments in the central Ande of Ecuador*.
- Rundel, P., Gibson, A., Midgley, G., Want, S., Palma, B., Kleier, C., Lambrinos, J. (2003) Ecological and ecophysiological patterns in a pre-altiplano shrubland of the Andean Cordillera in northern Chile. *Plant Ecology*, 169: 179–193. <https://doi.org/10.1023/A>

- Rusch, V. (1993) Altitudinal variation in the phenology of *N. othofagus pumilio* in Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural*, 66: 131–141.
- Segovia, M., Domic, A., Boza, T. (2018) Implicancias para los estudios ecológicos, la conservación y la restauración de sus bosques. *Ecología Austral*, 28: 188–201.
- Tirado, R., Pugnaire, F. (2003) Shrub spatial aggregation and consequences for reproductive success. *Oecologia*, 136 (2): 296–301. <https://doi.org/10.1007/s00442-003-1264-x>
- Toivonen, J., Gonzales-Inca, C., Bader, M., Ruokolainen, K., Kessler, M. (2017) Elevational shifts in the topographic position of *polylepis* forest stands in the Andes of Southern Peru. *Forests*, 9 (1): 1–10. <https://doi.org/10.3390/f9010007>
- Toivonen, J. M., Kessler, M., Ruokolainen, K., & Hertel, D. (2011). Accessibility predicts structural variation of Andean *Polylepis* forests. *Biodiversity and Conservation*, 20 (8), 1789–1802. <https://doi.org/10.1007/s10531-011-0061-9>
- Yohannes, H., Soromessa, T., Argaw, M. (2015) Carbon Stock Analysis along Slope and Slope Aspect Gradient in Gedo Forest: Implications for Climate Change Mitigation. *Journal of Earth Science & Climatic Change*, 06(9): 1–6. <https://doi.org/10.4172/2157-7617.1000305>

Conflicto de interés

Los autores ACG e IRGF, declaran que esta investigación y publicación, no tiene conflicto de interés de ninguna índole.