



# Distribución y caracterización de las comunidades de *Tillandsia* (Bromeliaceae) en el sur de Perú y su relación con la altitud, pendiente y orientación

G. A. Pauca-Tanco<sup>1,\*</sup>, F. Villasante-Benavides<sup>1,2</sup>, L. Villegas-Paredes<sup>1,2</sup>, C. R. Luque-Fernández<sup>1,2</sup>, J. P. Quispe-Turpo<sup>1,3</sup>

(1) Instituto de Investigación de Ciencia y Gestión Ambiental (ICIGA), Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Calle San Agustín 108, 04003, Arequipa, Perú.

(2) Departamento Académico de Biología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Daniel Alcides Carrión s/n La Pampilla, 04003, Arequipa, Perú.

(3) Universidad Católica San Pablo. Urb. Campiña Paisajista, Quinta Vivanco s/n, 04003, Arequipa, Perú.

\* Autor de correspondencia: G. A. Pauca-Tanco [gpaucat@unsa.edu.pe]

> Recibido el 03 de julio de 2020 - Aceptado el 27 de septiembre de 2020

**Pauca-Tanco, G.A., Villasante-Benavides, F., Villegas-Paredes, L., Luque-Fernández, C.R., Quispe-Turpo, J.P. 2020. Distribución y caracterización de las comunidades de *Tillandsia* (Bromeliaceae) en el sur de Perú y su relación con la altitud, pendiente y orientación. *Ecosistemas* 29(3):2035. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2035>**

Las comunidades vegetales xerofíticas donde predomina *Tillandsia*, en los desiertos costeros de Perú y Chile, son dependientes de la neblina proveniente del océano pacífico, por lo que presentan, a su vez, características únicas que le permiten sobrevivir al singular ecosistema. La distribución de los tillandsiales en el sur de Perú fue evaluada mediante técnicas de teledetección, revisión de herbarios, textos especializados y exhaustivas salidas de campo, así mismo, se relacionó su presencia respecto a la altitud, pendiente y orientación. Se registra seis especies de *Tillandsia*, siendo las más comunes *T. purpurea* y *T. capillaris*, mientras que, *T. latifolia*, *T. paleacea*, *T. landbeckii* y *T. werdermannii* están restringidas a determinadas localidades. Los resultados muestran 94 parches de *Tillandsia*, repartidos en 10 localidades del sur de Perú, abarcando desde 15° 5' S hasta 18° 0' S, con una extensión aproximada de 467 km<sup>2</sup>. Las poblaciones se encuentran desde 450 hasta 1400 msnm y en cuanto a la pendiente y orientación, estos se localizan preferentemente a <8.5° y SO respectivamente. En cuanto a su conservación, actualmente estas comunidades se encuentran amenazadas principalmente por la presión antrópica, modificación de hábitat y el cambio climático.

**Palabras clave:** desierto peruano; ecosistemas; lomas; neblina; teledetección

**Pauca-Tanco, G.A., Villasante-Benavides, F., Villegas-Paredes, L., Luque-Fernández, C.R., Quispe-Turpo, J.P. 2020. Distribution and characterization of the communities of *Tillandsia* (Bromeliaceae) in southern Peru and their relationship with altitude, slope and orientation. *Ecosistemas* 29(3):2035. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2035>**

The xerophytic plant communities where *Tillandsia* predominates, in the coastal deserts of Peru and Chile, are dependent on the fog coming from the Pacific Ocean, so they present, in turn, unique characteristics that allow the unique ecosystem to survive. The distribution of the *Tillandsia* communities in southern Peru was evaluated by means of remote sensing techniques, review of herbaria, specialized texts and exhaustive field trips, as well as their presence with respect to altitude, slope and aspect. Six species of *Tillandsia* have been recorded, the most common being *T. purpurea* and *T. capillaris*, while *T. latifolia*, *T. paleacea*, *T. landbeckii* and *T. werdermannii* are restricted to certain localities. The results show 94 *Tillandsia* patches, distributed in 10 localities in southern Peru, ranging from 15° 5' S to 18° 0' S, with an extension of approximately 467 km<sup>2</sup>. Populations are found from 450 to 1400 masl and in terms of slope and orientation, they are located preferably at <8.5° and SW respectively. As for their conservation, these communities are currently threatened mainly by anthropic pressure, habitat modification and climate change.

**Keywords:** peruvian desert; ecosystems; fog; hills; remote sensing

## Introducción

Los ecosistemas de lomas se localizan en los desiertos costeros de Perú y Chile, desde la latitud 5° S hasta los 29° 55' S (Oka y Ogawa 1984; Rundel et al. 1991), caracterizándose por la presencia de una vegetación efímera. Esta vegetación aparece durante los meses del invierno austral a causa de las neblinas provenientes del océano (Weberbauer 1945; Ferreyra 1993; Rundel et al. 1991; Dillon 2006; Dillon et al. 2011). Las comunidades lomas han sido clasificadas de acuerdo a su vegetación, teniendo en cuenta, por ejemplo, formas de vida, estratos o grupos dominantes

(Aguilar 1973; Brack 1974; Rostworowski 1981; Pefaur 1982; Rauh 1985; Ono 1986). Es así que las lomas de *Tillandsia*, han sido reconocidas como un comunidad de loma perenne (Pinto 2005; Koch et al. 2019), siendo también consideradas como una formación vegetal denominada rosetal (MINAM 2019).

Las comunidades de *Tillandsia*, a las que se les conoce como tillandsiales, están localizadas en la zona costera de Perú y Chile, desde los 6° S hasta los 21° S (Rundel et al. 1997; Pinto et al. 2006; Mostacero et al. 2007). Los mismos se establecen en los llamados "corredores de neblina" (Pinto et al. 2006), donde la humedad llega de manera "intermitente", provocando ciclos de humedad y sequía

(Rundel 1982; Rundel et al. 1991). Las plantas de estas comunidades presentan eficientes adaptaciones a las condiciones áridas de su medio, pues han desarrollado algunas estrategias como carecer de raíces funcionales y, presentar sobre sus tallos y hojas unas pequeñas escamas, las cuales les brindan protección frente a la radiación y ayudan al aprovechamiento de la humedad circundante (Rauh 1985; Ono 1986; Haslam et al. 2003).

En el Perú las comunidades de *Tillandsia* se encuentran formando parches aislados y están localizados a lo largo de la costa, desde Trujillo hasta Tacna (Ono 1986). Algunas veces, estas comunidades son monoespecíficas (p. ej., Intiorko con *T. werdermannii* Harms) (Pinto 2005), sin embargo, en la mayoría de casos es posible hallar dos o más especies del género como *T. purpurea* Ruiz y Pav., *T. capillaris* Ruiz y Pav., *T. latifolia* Meyen, *T. marconae* W. Till y Vitek, *T. paleacea* C. Presl, *T. landbeckii* Phil. y *T. recurvata* (L.) L. (Ono 1986; Rundel et al. 1991; Arakaki y Cano 2003; Pinto et al. 2006; Mostacero et al. 2007; Aponte y Flores 2013).

La distribución altitudinal de los tillandsiales abarca desde los 200 hasta los 1200 msnm, no obstante, se ha observado que éstos presentan dos patrones de acuerdo a su localización geográfica. Es así que, hacia el norte y centro de Perú, éstas comunidades se encuentran cerca del litoral marino desde 200 hasta 400 msnm, en cambio en la zona sur se ubican hacia el interior del territorio y en lugares más elevados (desde 900 hasta 1200 msnm) (Rauh 1985; Ono 1986; Dillon 2006; Hesse 2012). Otras características particulares en la distribución de los tillandsiales (aunque de manera focalizada) son el efecto de la pendiente, la orientación y su disposición sobre la superficie. Este hecho puede deberse a que las comunidades de *Tillandsia* se localizan preferentemente en bajas pendientes, con orientación sur-oeste, encontrando una relación entre la dirección del viento y la humedad procedente del océano (Borthagaray et al. 2010; Hesse 2012; Hesse 2014; Koch et al. 2019).

En cuanto a la forma que las plantas adoptan sobre el suelo, las comunidades de *Tillandsia* presentan dos patrones generales. El primero corresponde a la tendencia a formar montículos hemisféricos o esféricos y el segundo a formar bandas o líneas, lo que

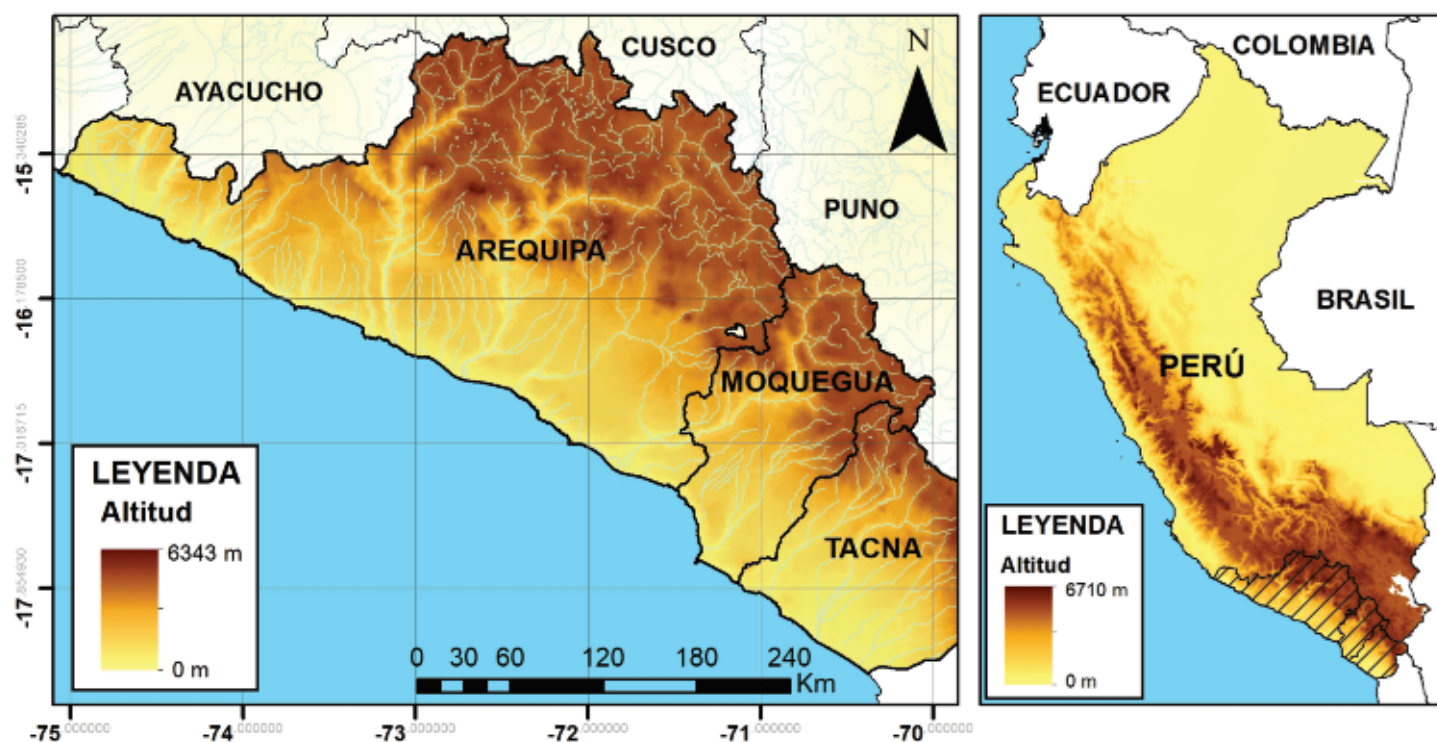
ha motivado su estudio por diversos autores. Se indica que estas disposiciones sobre el suelo responden a una interacción entre la humedad horizontal-unidireccional proveniente del océano, la intercepción de la neblina por parte de la vegetación, pendiente, orientación, reproducción y dispersión de las plantas (Borthagaray et al. 2010; Hesse 2012; Hesse 2014; Koch et al. 2019).

El conocimiento acerca de las comunidades de *Tillandsia* en Perú es limitado, no obstante, ya se tiene algunos avances que tratan de comprender el rol que juegan en su ecosistema (Aponte y Flores 2013; Arévalo y Aponte 2020). Aún se desconoce la biodiversidad real que poseen, a pesar de que se presenta la especie endémica *T. werdermannii* (León et al. 2006) y algunas catalogadas como amenazadas en la legislación peruana (*T. marconae* y *T. werdermannii*). Por otro lado, al ser considerados como indicadores de cambio climático (Rundel et al. 1997; Koch et al. 2019), su permanencia sobre el desierto puede verse comprometida, ya que existe evidencia de que la variación del clima viene afectando la costa desértica de Sudamérica (Schulz et al. 2010). Aún no está claramente establecida cual es la distribución de los tillandsiales en el sur de Perú, y cómo es que algunas variables influyen en su establecimiento, por otro lado, es claro que la humedad proveniente del océano tiene una alta influencia (Rauh 1985). Es por ello, que este estudio busca determinar las especies de *Tillandsia* presentes en el área de estudio y, mediante técnicas de teledetección supervisada, caracterizar la distribución geográfica, además de determinar cómo las variables altitud, pendiente y orientación, inciden en su establecimiento sobre el terreno.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

Se localiza en la zona costera del sur de Perú, en los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna (Fig. 1), desde 15° 05' hasta 18° 00'S y a una altitud que abarca desde 0 hasta 1600 msnm. Esta zona corresponde a una de las más áridas del mundo, caracterizándose principalmente por la presencia de la antigua cordillera de la costa. Así mismo, de valles que en algunos casos con-



**Figura 1.** Área de estudio mostrando los departamentos evaluados de la costa sur del Perú.

**Figure 1.** Study area showing the evaluated departments of the southern coast of Peru

ducen agua desde las zonas alto andinas, y otros que solo se activan durante la época del verano austral; algunas estribaciones andinas que llegan casi al mar, y las extensas pampas de origen gliptogénico. Los suelos son mayormente arenosos y arcillosos, las cumbres de los cerros normalmente no sobrepasan los 1300 msnm. El clima es hiperárido, generalmente con presencia de humedad en forma de neblina durante el invierno austral. No obstante, en algunos años debido a ENSO (El Niño-Oscilación del Sur) la neblina es más frecuente y se pueden presentar eventos de precipitación. Bioclimáticamente la zona se ubica en el piso termotropical y ombroclima ultrahiperárido o hiperárido (Galán de Mera et al. 2009; Galán de Mera et al. 2010).

### Obtención de datos

Con la finalidad de conocer las localidades del litoral costero donde se ha registrado *Tillandsia*, se realizaron revisiones de bibliografía (Smith 1936; Smith y Dows 1977; Oka y Ogawa 1984; Pinto 2005), herbarios locales (HSP y HUSA) y bases de datos digitales ([www.gbif.com](http://www.gbif.com)). Para la identificación de los parches de *Tillandsia*, se obtuvieron 11 imágenes satelitales Sentinel-2A (10 m de resolución) a partir de la plataforma del *United States Geological Survey* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) (Tabla 1). Las imágenes satelitales fueron descargadas teniendo en cuenta el grado de nubosidad para la zona (factor por debajo del 5%) y, que fueran tomadas durante los meses de mayo a diciembre de 2019.

Para el análisis de la distribución altitudinal, orientación y pendiente, se obtuvo los ráster ASTER G-DEM (Aster Global Digital Elevation Model) con una resolución espacial de 30 m, a partir del servidor del MINAM (<http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor>). Finalmente, después de identificar los parches de *Tillandsia*, se realizaron visitas de campo a las localidades halladas. En campo se realizaron búsquedas intensivas, se recolectaron algunos ejemplares de *Tillandsia* (en prensas botánicas y en frascos con una solución de alcohol al 60%) y se tomaron fotografías. En laboratorio los ejemplares fueron determinados usando bibliografía especializada (Smith 1936; Smith y Dows 1977), comparación con muestras de herbario y fotografías de los tipos localizados en <https://plants.jstor.org/>.

### Procesamiento de imágenes satelitales y raster ASTER G-DEM

El programa utilizado fue Q-GIS (v. 3.12.0). Mediante el plugin “semi-automatic classification”, se realizaron las correcciones radiométricas y atmosféricas. Se construyó un mosaico de imágenes, al cual, mediante una capa de curvas de nivel obtenido del servidor

del MINAM (<https://geoservidor.minam.gob.pe/>), se le realizó un recorte abarcando desde 0 hasta 2000 msnm, con el fin de obtener las zonas costeras de Arequipa, Moquegua y Tacna. Posteriormente, la imagen final fue clasificada mediante el plugin “SCP Dock”, usando para el entrenamiento algunos parches de *Tillandsia* previamente identificados. El ráster obtenido con las áreas “potenciales” de presencia (se llama áreas “potenciales” ya que la clasificación puede detectar algunas zonas de suelo desnudo como tillandsial), fue exportado con la extensión .kml para su posterior análisis en Google Earth Pro ver. 7.3.

En el caso de los ráster G-DEM obtenidos, fueron procesados con el mismo programa, realizándose un mosaico y después un recorte con la capa de curvas de nivel teniendo en cuenta la altitud (desde 0 hasta 2000 m). Luego, al ráster G-DEM final, se le generaron los modelos de orientación y pendiente para el análisis posterior.

### Distribución geográfica de los parches de *Tillandsia*, análisis de la altitud, orientación y pendiente

Las áreas de presencia de *Tillandsia*, fueron identificadas con el archivo ráster .kml (área potencial) obtenido durante el proceso de clasificación de las imágenes satelitales. Dicho ráster fue llevado al programa Google Earth Pro, para la verificación de presencia de parches, ya que las imágenes de dicho programa presentan una resolución de 0.4 m suficiente para distinguir la vegetación de las comunidades de *Tillandsia* (Hesse 2012). En los casos en que las áreas del ráster coincidieran con la vegetación de las imágenes de Google Earth Pro, se procedió a generar un polígono que delimitara el parche. Finalmente, las áreas creadas en Google Earth fueron exportadas en formato .kml, y se procedió al cálculo de su áreas respectivas.

Para el análisis de los ráster de altitud, orientación y pendiente, se usó el programa Q-GIS. Las áreas de *Tillandsia* generadas en Google Earth pro, se superpusieron sobre los ráster (altitud, orientación y pendiente) y se realizó un recorte, de tal manera que los ráster finales solo correspondieran a las áreas de la comunidad en estudio. Posteriormente, a los ráster obtenidos, se les realizó una reclasificación. La altitud, se reclasificó en intervalos de 100 m. La orientación de acuerdo a los puntos cardinales (N, NE, E, SE, S, SO, O y NO). Finalmente, la pendiente fue reclasificada teniendo en cuenta los siguientes criterios: de 0-8.5° muy bajo, 8.5-16.7° bajo, 16.7-26.6° medio, 26.6-45° alto y >45° muy alto. Todas las reclasificaciones se realizaron para obtener las áreas de tillandsial correspondientes a los intervalos establecidos, de tal manera que se pueda establecer donde se presenta la mayor área de la comunidad.

**Tabla 1.** Características de las imágenes satelitales usadas para la detección de las comunidades de *Tillandsia* en el sur de Perú.

**Table 1.** Characteristics of the satellite images used for the detection of *Tillandsia* communities in southern Peru.

| Fecha de adquisición | Sensor | Elevación del sol (°) | Hora de imagen (GTM) | ID imagen                          |
|----------------------|--------|-----------------------|----------------------|------------------------------------|
| 30/10/2019           | S2A    | 20.453                | 15:07:21             | L1C_T18LWJ_A013836_20191030T150721 |
| 25/10/2019           | S2A    | 20.819                | 15:13:20             | L1C_T18LWH_A022673_20191025T151320 |
| 25/10/2019           | S2A    | 19.940                | 15:13:20             | L1C_T18LXH_A022673_20191025T151320 |
| 01/12/2019           | S2A    | 22.201                | 15:07:12             | L1C_T18KYG_A023202_20191201T150712 |
| 01/12/2019           | S2A    | 22.543                | 15:07:12             | L1C_T18LYH_A023202_20191201T150712 |
| 01/11/2019           | S2A    | 20.004                | 15:05:43             | L1C_T18KZG_A022773_20191101T150543 |
| 01/11/2019           | S2A    | 20.008                | 15:05:43             | L1C_T18KZF_A022773_20191101T150543 |
| 24/06/2019           | S2A    | 47.749                | 15:02:26             | L1C_T19KBA_A020914_20190624T150226 |
| 03/11/2019           | S2A    | 21.076                | 14:56:05             | L1C_T19KCV_A013893_20191103T145605 |
| 18/11/2019           | S2A    | 21.073                | 14:57:01             | L1C_T19KCA_A023016_20191118T145701 |
| 02/05/2019           | S2A    | 41.339                | 14:52:34             | L1C_T19KCA_A020156_20190502T145234 |



## Resultados

Se detectaron 94 parches de *Tillandsia*, en 12 localidades, ocho provincias, dentro de los departamentos incluidos en el estudio. Se encuentran ubicados desde 15° 5' S hasta 18° 0' S (Fig. 2), con una superficie total de 467 km<sup>2</sup> (Tabla 2).

### Caracterización de las comunidades de *Tillandsia* en el sur de Perú

Se catalogó un total de 6 especies (Fig. 3): *T. latifolia* Meyen, *T. purpurea* Ruiz y Pav., *T. capillaris* Ruiz y Pav., *T. werdermannii* Harms, *T. landbeckii* Phil. y *T. paleacea* C. Presl., siendo *T. purpurea* y *T. capillaris* comunes a lo largo de la costa de sur de Perú. *T. latifolia* presenta una extensión considerable hacia el norte de Arequipa y llega a presentarse ocasionalmente en la provincia de Islay. *T. paleacea* y *T. werdermannii*, se encuentran restringidas hacia el interior de Chala y Tacna, respectivamente. Por último, *T. landbeckii*, se localiza en Tacna y forma pequeños parches, encontrándose solo en las laderas de algunas quebradas. A continuación, se rea-

liza una descripción de las 12 localidades registradas en este trabajo (Tabla 3), y se presenta los mapas de distribución de las comunidades y especies (Figs. 4 y 5).

### Disposición espacial como respuesta a las variables altitud, pendiente y orientación

Los parches se encontraron entre los 10 y 57 km tierra adentro a lo largo de 600 km de costa, a sotavento de los cerros y al interior de algunas quebradas, o más conspicuamente sobre planicies arenosas. Estas comunidades se ubican desde 400 hasta 1400 msnm, siendo las áreas con mayor porcentaje de cobertura las que se localizan desde 700 a 1200 msnm, particularmente en el intervalo 900-1100 msnm (representando el 47.45%) (Fig. 6a). Los tillandsiales prefieren lugares relativamente llanos, ya que un 78.66% de las áreas se encuentran entre los 0-8.5° (Fig. 6b). Las comunidades se localizan preferentemente en las zonas con orientaciones SO, O, S y SE (con un 75.94% de las áreas), donde las predominantes son SO y S, con un 42.23 % de área, por otro lado, las orientaciones NO, N, E y NE representaron solo el 24.16% (Fig. 6c).

**Tabla 2.** Localización y características de las comunidades de *Tillandsia* identificadas en el sur de Perú.

**Table 2.** Location and characteristics of the *Tillandsia* communities identified in southern Peru.

| Departamento | Localidad   | Especies   | Coordenadas        | Área                   |
|--------------|-------------|--|--------------------|------------------------|
| Arequipa     | Bella Unión | - <i>T. purpurea</i><br>- <i>T. latifolia</i>  | 15°12' S, 74°47' O | 21.05 km               |
|              | Yauca       | - <i>T. purpurea</i>   | 15°33' S, 74°31' O | 15.51 km               |
|              | Chala       | - <i>T. purpurea</i><br>- <i>T. paleacea</i><br>- <i>T. capillaris</i>                               | 15°44' S, 74° 9' O | 7.57 km                |
|              | Cháparra    | - <i>T. purpurea</i>   | 15°47' S, 73°55' O | 5.09 km                |
|              | Ocoña       | - <i>T. purpurea</i>   | 16°16' S, 73°10' O | 18.94 km               |
|              | Camaná      | - <i>T. purpurea</i><br>- <i>T. capillaris</i><br>- <i>T. latifolia</i>                              | 16°32' S, 72°33' O | 22.92 km               |
|              | Quilca      | - <i>T. purpurea</i>   | 16°38' S, 72°19' O | 11.72 km               |
|              | Islay       | - <i>T. purpurea</i>   | 16°54' S, 71°55' O | 2.32 km                |
|              | Clemesí     | - <i>T. purpurea</i>   | 17° 6' S, 71°28' O | 24.08 km               |
|              | Hospicio    | - <i>T. purpurea</i><br>- <i>T. capillaris</i>   | 17°36' S, 71° 5' O | 55.28 km               |
| Tacna        | Arrojadero  | - <i>T. werdermannii</i><br>- <i>T. purpurea</i><br>- <i>T. capillaris</i><br>- <i>T. landbeckii</i> | 17°42' S, 70°35' O | 28.72 km               |
|              | Tacna       | - <i>T. werdermannii</i><br>- <i>T. purpurea</i><br>- <i>T. capillaris</i><br>- <i>T. landbeckii</i> | 17°55' S, 70°13' O | 253.80 km              |
| Área total   |             |  |                    | 467.00 km <sup>2</sup> |





**Figura 2.** Comunidades de *Tillandsia*. **A)** y **B)** Tocota, **C)** y **D)** Camaná, **E)** y **F)** Hospicio, **G)** y **H)** Tacna.

**Figure 2.** *Tillandsia* communities. **A)** and **B)** Tocota, **C)** and **D)** Camana, **E)** and **F)** Hospicio, **G)** and **H)** Tacna.





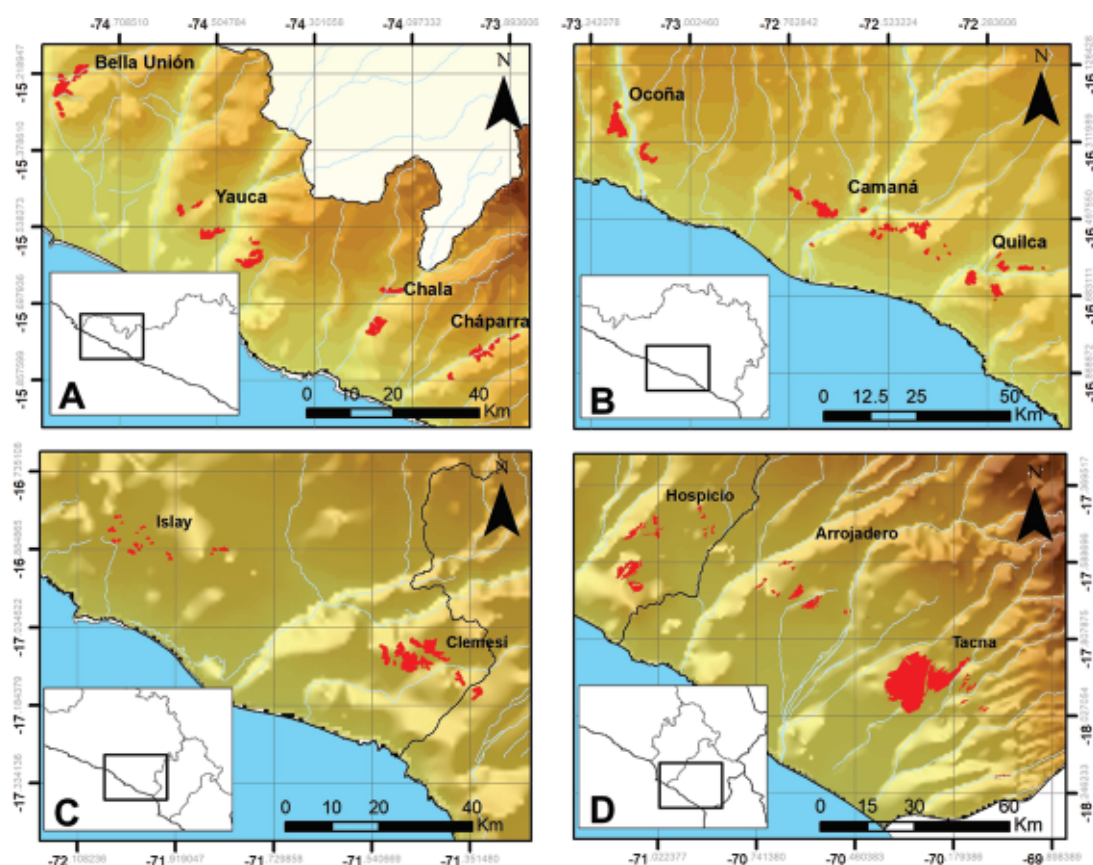
**Figura 3.** Especies de *Tillandsia* en hábitat. A) *Tillandsia capillaris*, B) *T. landbeckii*, C) *T. latifolia*, D) *T. purpurea*, E) *T. paleacea*, F). *T. werdermannii*.

**Figure 3.** *Tillandsia* species in habitat. A) *Tillandsia capillaris*, B) *T. landbeckii*, C) *T. latifolia*, D) *T. purpurea*, E) *T. paleacea*, F). *T. werdermannii*.



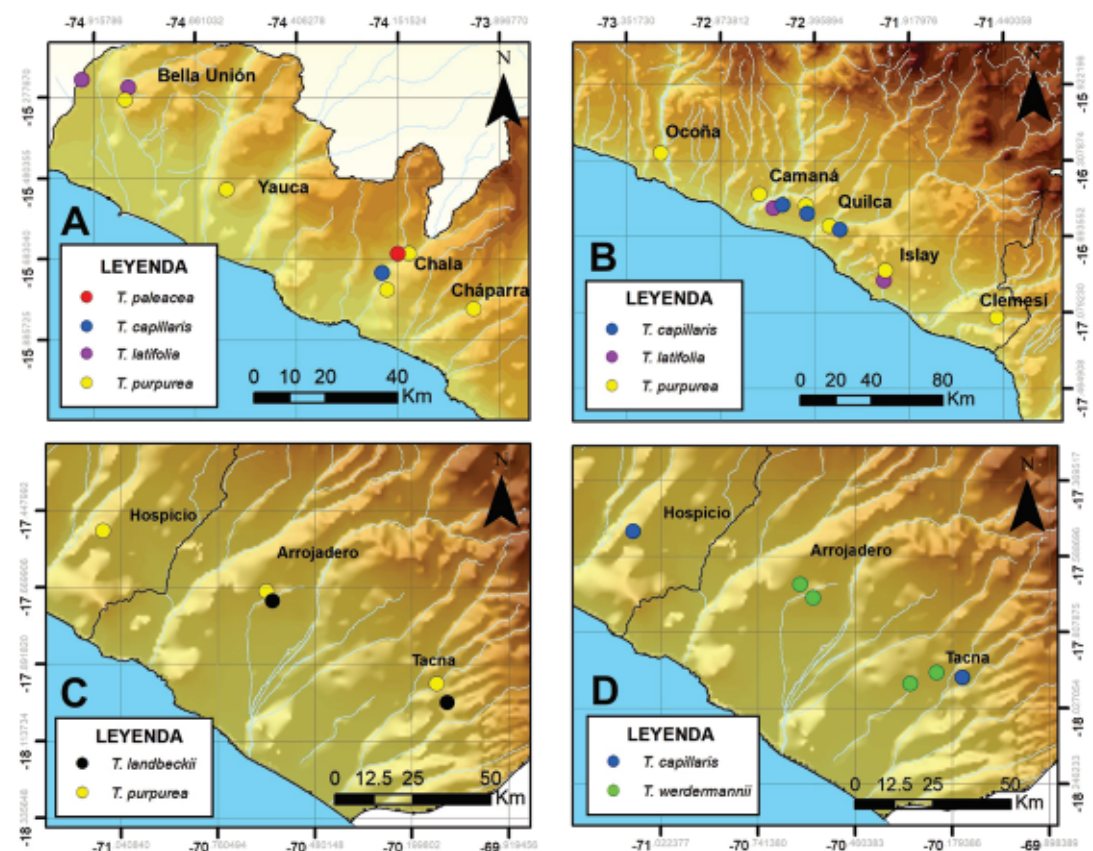
**Tabla 3.** Características de las comunidades de *Tillandsia* evaluadas en el sur de Perú.**Table 3.** Characteristics of the *Tillandsia* communities evaluated in southern Peru.

| Depto.   | Especies comunes   | Localidad   | Localización y descripción del hábitat  | Distancia del océano | Elevación (msnm) |
|----------|--|-------------|---|----------------------|------------------|
| Arequipa | <i>T. latifolia</i>  | Bella Unión | Se localizan hacia el sotavento de las lomas de Jahuay (Bella Unión, Caravelí) y en menor cantidad, cerca del km 499 de la panamericana sur, sobre las laderas de los cerros y más comúnmente sobre planicies arenosas o pequeñas ondulaciones con escasa pendiente.  | 26-48 km             | 680-1060         |
|          | <i>T. purpurea</i>   | Yauca       | Localizados entre las localidades de Atiquipa y Acari (Caravelí), sobre llanuras o terreno ondulado, el suelo es arenoso.   | 11-22 km             | 550-1065         |
|          | <i>T. purpurea</i> ,<br><i>T. paleaceae</i> y<br><i>T. capillaris</i>    | Chala       | Los parches se localizan en la ladera SO de la quebrada de Chala Viejo (15°44' S y 74° 9' O) y las laderas S y SO de la quebrada de Tocota (15°40' S y 74° 7' O), el terreno presenta una pendiente considerable y es mayormente rocoso.  | 12 – 27 km           | 450-1240         |
|          | <i>T. purpurea</i>   | Cháparra    | Laderas del Valle de Cháparra (Caravelí), cerca de las localidades Huancalpa, Achanizo y Cháparra. Aquí es posible notar que la parte baja de los parches de <i>Tillandsia</i> se encuentran muertos, por otro lado, los que se ubican en zonas más altas se encuentran vigorosos.  | 13-31 km             | 630-1310         |
|          | <i>T. purpurea</i>   | Ocoña       | Localizados a ambos márgenes del Valle de Ocoña (Camaná), en las planicies arenosas ubicados en la cima del valle   | 10-23 km             | 670-1330         |
|          | <i>T. purpurea</i> y<br><i>T. capillaris</i>                             | Quilca      | Se localizan hacia ambos márgenes del valle del Quilca, sobre las pampas onduladas y arenosas, muy cercanas al valle y hacia la zona NE de las lomas de Arantas. Preferentemente se localizan sobre suelos arenosos, a veces un tanto rocosos.  | 13-25 km             | 900-1100         |
|          | <i>T. purpurea</i> y<br><i>T. capillaris</i>                             | Islay       | Se presentan parches muy dispersos sobre algunas elevaciones. La mayoría de individuos han muerto, quedando solo algunos vivos en las partes bajas o más altas de los cerros.   | 16-19 km             | 1100-1300        |
| Moquegua | <i>T. purpurea</i>   | Clemesi     | Ubicados hacia el interior de lomas de Jesús (Islay), sobre planicies arenosas, pequeñas ondulaciones o sobre algunas elevaciones. La mayoría de individuos han muerto, quedando solo los rezagos de su actividad (pequeñas acumulaciones de arena, en cuyo interior es posible hallar restos vegetales), solo es posible hallar algunos individuos vivos en las zonas más altas. | 19-27 km             | 850-1300         |
|          | <i>T. purpurea</i> y<br><i>T. capillaris</i>                             | Hospicio    | Se presentan parches de gran extensión muy cercanos a la carretera panamericana sur. Los primeros parches (desde la costa) se ubican sobre planicies arenosas, estos en gran parte están muertos. Las comunidades de las partes altas aún se mantienen vigorosos.   | 16-49 km             | 850-1400         |
| Tacna    | <i>T. purpurea</i> y<br><i>T. werdermannii</i>                           | Arrojadero  | Localizados entre las localidades de Locumba y Sama Grande, sobre planicies arenosas, laderas y cima de los cerros.   | 43-50 km             | 740-1200         |
|          | <i>T. werdermannii</i> ,<br><i>T. purpurea</i> y<br><i>T. capillaris</i> | Tacna       | En su mayoría localizados en los alrededores de la ciudad de Tacna, y considerado el más extenso del sur del Perú (Intiorko). Se desarrollan sobre planicies arenosas, fondo de quebradas, laderas y cimas de los cerros.   | 35-58 km             | 630-1300         |



**Figura 4.** Distribución de las comunidades de *Tillandsia* en el sur de Perú (comunidades en color rojo). **A)** Bella Unión, Yauca, Chala y Cháparra, **B)** Ocoña, Camaná y Quilca, **C)** Islay y Clemenés, y **D)** Hospicio, Arrojadero y Tacna.

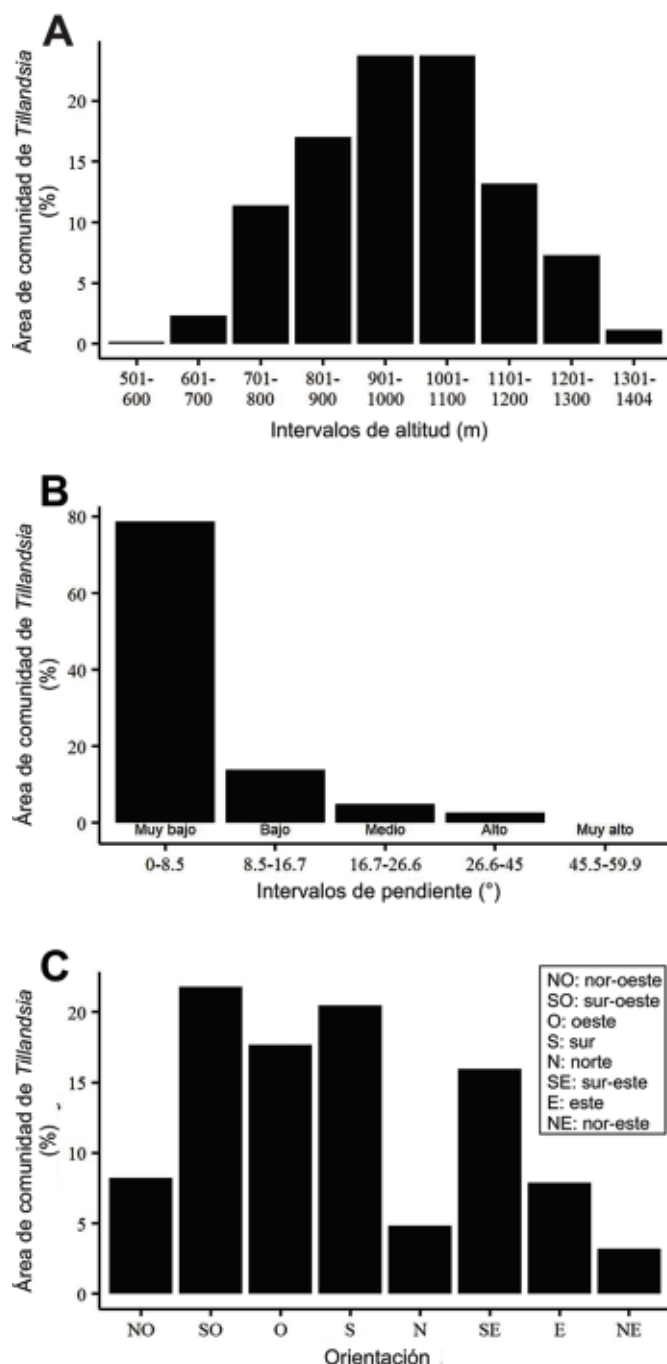
**Figure 4.** *Tillandsia* distribution maps of southern Peru (communities in red). **A)** *Tillandsias* of Bella Unión, Yauca, Chala and Cháparra, **B)** *Tillandsias* of Ocoña, Camaná and Quilca, **C)** *Tillandsias* of Islay and Clemenés, and **D)** *Tillandsias* of Hospicio, Arrojadero and Tacna.



**Figura 5.** Distribución de las especies de *Tillandsia* en el sur de Perú. **A)** *T. paleacea*, *T. capillaris*, *T. latifolia* y *T. purpurea*, **B)** *T. capillaris*, *T. latifolia* y *T. purpurea*, **C)** *T. landbeckii* y *T. purpurea*, **D)** *T. capillaris* y *T. werdermannii*.

**Figure 5.** Distribution of *Tillandsia* species in southern Peru. **A)** *T. paleacea*, *T. capillaris*, *T. latifolia* and *T. purpurea*, **B)** *T. capillaris*, *T. latifolia* and *T. purpurea*, **C)** *T. landbeckii* and *T. purpurea*, **D)** *T. capillaris* and *T. werdermannii*.





**Figura 6.** Área de la comunidad de *Tillandsia* (en porcentaje) de acuerdo a las variables **A)** Altitud, **B)** Pendiente, y **C)** Orientación.

**Figure 6.** Area of the *Tillandsia* community (in percentage) according to variables **A)** Altitude, **B)** Slope, and **C)** Aspect.

## Discusión

### Diversidad de *Tillandsia*

Se han registrado seis especies de *Tillandsia*, las cuales ya se habían reportado anteriormente para la zona de estudio (Smith 1936; Smith y Dows 1977; Brako y Zarucchi 1993). De hecho, en los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna, se manifiesta la presencia de 11 especies (Smith 1936; Smith y Dows 1977; Brako y Zarucchi 1993; Pinto 2005; Montesinos 2015), por lo que la zona de costa presentaría el 55% de la diversidad de *Tillandsia* de estos departamentos. Por otro lado, un aspecto a resaltar en cuanto a los registros de *Tillandsia*, es que algunas de las zonas donde se menciona su presencia, no fue posible encontrarlas. Por ejemplo, *T. paleacea*, es reportada para la zona de Camaná (provincia de Camaná) y Cachendo (provincia de Islay) (Smith 1936;

Smith y Dows 1977), sin embargo, en la visitas realizadas no fue posible hallar algún individuo. Probablemente, *T. paleacea* fue confundida o su población ha sufrido una drástica reducción, ya que en la zona de Cachendo actualmente no existen tillandsiales, no obstante, pobladores locales refieren que hace 40-50 años estos sí existían en la zona, por lo que es posible que *T. paleacea* haya sido más abundante en años anteriores a 1970.

### Distribución de las comunidades de *Tillandsia*

La distribución de *Tillandsia* es netamente americana, si bien se presenta desde el desierto hasta la selva (Smith y Downs 1977), son los tillandsiales localizados en la costa los más conspicuos, llegando a ocupar grandes extensiones en el desierto peruano-chileno (Rauh 1985; Brack y Mendiola 2004; Mostacero et al. 2007). Hasta el momento, existen pocas investigaciones que mencionen la distribución geográfica de las comunidades de *Tillandsia* en Perú (Ono 1986; Pinto 2005). Por otro lado, MINAM (2015) presenta el mapa de coberturas vegetales del Perú, indicando que los tillandsiales en el sur de Perú, solo presentan un área de 71.82 km<sup>2</sup>, lo que difiere ampliamente de nuestra estimación, la cual es aproximadamente 6 veces mayor. Contrariamente, en el caso del departamento de Tacna, Pinto (2005) reporta una superficie aproximada de 441 km<sup>2</sup>, en cambio, en esta investigación se estimó un área de 282.52 km<sup>2</sup>, tal vez Pinto (2005) sobreestimó erróneamente las áreas, ya que sus mapas concuerdan con los presentados en este trabajo. También, es importante mencionar que tal como indican Rauh (1985), Rundel y Dillon (1998) y Mostacero et al. (2007), los tillandsiales en la zona evaluada (sur de Perú), se encuentran generalmente hacia sotavento de los cerros o sobre las pampas del tablazo desértico.

### Patrones asociados a la distribución

Considerando la humedad y altitud en la zona de estudio, en promedio las comunidades de *Tillandsia* se encuentran a 21 km del litoral marino, a diferencia de las lomas propiamente dichas que se encuentran a 6 km, por lo tanto, es evidente que la humedad recibida es menor a la de las lomas (esto debido a que la neblina primero impacta en los cerros con vegetación de lomas, y después se traslada hacia los parches de *Tillandsia*). La distribución altitudinal de las comunidades en estudio, está descrita en diversos trabajos, ya que autores como Weberbauer (1945), Rauh (1985), Ogawa et al. (1986), Ono (1986) y Rundel y Dillon (1998) refieren que éstos se encuentran desde 600 hasta 1200 msnm, lo cual concuerda parcialmente con lo encontrado en esta investigación, y es que al parecer, tal como mencionan Rundel (1982), Rauh (1985) y Rundel et al. (1997), los tillandsiales requieren cierto grado de humedad para subsistir, pues una alta o muy baja humedad terminaría por dañarlas. Otro aspecto a considerar, es que el rango que estas comunidades ocupan, coincide relativamente con la capa de nubes procedentes del océano (600-1200 msnm) (Rauh 1985; Ogawa et al. 1986; Oka y Ogawa 1984; Ferreyra 1993), de tal manera que debe de existir una estrecha relación entre los parches de *Tillandsia*, distancia del océano y las capas de neblina.

En cuanto a la pendiente, los resultados obtenidos, de manera similar que Hesse (2012) y Hesse (2014), muestran que los tillandsiales prefieren pendiente bajas, es decir terrenos relativamente llanos. Otra condición importante, es que estas comunidades se disponen a manera de “montículos” cuando se localizan en zonas relativamente llanas, en cambio cuando se sitúan en pendientes elevadas se disponen en bandas (Fig. 2C). Parece ser que estas conformaciones (montículos y bandas) responden a los requerimientos de humedad, pendiente, orientación, reproducción y dispersión de las plantas (Borthagaray et al. 2010; Hesse 2012; Hesse 2014; Koch et al. 2019). La formación de montículos en zonas llanas, separados por cierta distancia, los hace más eficientes para obtener el agua de la neblina, ya que, si se presentaran estos con forma de bandas en las zonas llanas, la humedad no llegaría a las bandas posteriores, porque la banda anterior cortaría el flujo de neblina. Por otra parte, en lugares con pendiente, la formación de ban-

das si funciona, pues al encontrarse éstas a una diferente altitud, reciben plenamente la humedad procedente del océano. Aún falta comprender el papel que desempeña la pendiente en los ecosistemas de lomas, al parecer tendría una particular importancia (Ogawa et al. 1986; Borthagaray et al. 2010).

En cuanto a la orientación, la posición de los parches de *Tillandsia* parece estar en estrecha relación con la humedad proveniente del océano, al ser su principal fuente de agua, es obvio que su estrategia es recibirla directamente. Si bien también, se presentan algunas áreas de *Tillandsia* en direcciones opuestas a las del viento dominante y humedad, podríamos suponer que la microtopografía juega también un rol importante, sumado a los cortos periodos de viento de retorno. El comportamiento de la neblina sobre la superficie (la cual se asemeja a la de un fluido), sumado a los factores antes mencionados, posiblemente determinarían esta localización; tal vez, es por ello que en ambas laderas de los valles de Chala y Cháparra es posible encontrar comunidades de *Tillandsia*. Al igual que este estudio, otros autores como Hesse (2012) y Hesse (2014), reportan orientaciones dominantes para SO, SE y S.

### Amenazas a su conservación

Según las observaciones realizadas, las comunidades de *Tillandsia* están siendo degradadas por actividades humanas y posiblemente por cambios ambientales. Corroborando lo descrito por Pinto et al. (2006), se ha encontrado un gran impacto provocado por la acumulación de residuos sólidos sobre las plantas (mayormente material de plástico), además, el paso de vehículos de doble tracción sobre estas comunidades, y uno de los problemas más frecuentes (actualmente prohibido), es su uso para formar grandes figuras decorativas sobre las pampas desérticas. Con relación a los cambios ambientales, al parecer, la dinámica de ingreso de los bancos de neblina hacia el continente se está modificando (Rundel et al. 1997; Schulz et al. 2010). Se ha encontrado lugares donde grandes extensiones de tillandsial han muerto (Islay, Hospicio y Clemesí), de manera que, tal como sugiere Rundel et al. (1997), es posible considerar a estas comunidades como indicadoras de cambio climático. En la actualidad, según la legislación peruana, dos especies de *Tillandsia* del desierto costero (*T. marconae* y *T. werdermannii*) presentan amenazas a su conservación, siendo la especie endémica, *T. werdermannii*, la más susceptible (León et al. 2006; Pinto 2005), dado que su población se encuentra muy cercana a la ciudad de Tacna. Urge realizar más estudios sobre estas comunidades, ya que se desconoce sobre su biología y ecología. Es muy probable, que en estas comunidades singulares, existan nuevas especies de insectos, reptiles (Villegas et al. 2020) y otros organismos asociados o especializados, que podrían estar en riesgo, como el liquen *Teloschistes peruensis* (Ach.) J.W. Thomson, el cual crecía abundantemente cerca a los parches de *Tillandsia* de Camaná (Thomson y Iltis 1968) y que en la actualidad, es difícil encontrarlo.

### Conclusiones

Se determinaron seis especies de *Tillandsia*, siendo *T. purpurea* y *T. capillaris*, especies comunes en las localidades evaluadas, por otro lado, *T. latifolia*, *T. paleaceae*, *T. werdermannii*, y *T. landbeckii*, se encuentran restringidas a ciertas zonas. Mediante técnicas de teledetección, se logró identificar que las comunidades de *Tillandsia*, se localizan en 12 localidades, desde 15° 5' S hasta 18° 0' S, ocupando una extensión de 467.00 km<sup>2</sup>. El análisis del ráster GDEM muestra que estas comunidades se encuentran desde 450 hasta los 1400 msnm, encontrándose un 96.35% del área total de la comunidad desde 700 hasta 1300 msnm. En cuanto a la pendiente, un 92.45% del área que ocupan las comunidades de *Tillandsia* se localizan preferentemente en pendientes muy bajas a bajas (0-16.7°), mientras que un 0.01% se localiza en pendientes muy altas. El 21.78%, se localizan en la orientación SO, el 17.67% en O, 20.45% en S y 15.94% en SE. Por último, la conservación de las comunidades de *Tillandsia* estaría comprometida, si es que no se toman las decisiones adecuadas para su protección.

### Agradecimientos

G. A. Pauca-Tanco y colaboradores, reconocen el apoyo financiero del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (Concytec) a través de su unidad ejecutora el Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica (Fondecyt) para este trabajo de investigación. El presente fue financiado por Fondecyt a través del programa ERANet-LAC (ELAC2015/T01-0872). A todos los que colaboraron con esta investigación.

### Referencias

- Aguilar, P. 1973. Apuntes sobre las lomas costeras del Perú. Lima. *Boletín de la sociedad Entomológica del Perú* 7: 18-22.
- Aponte, H., Flores, J. 2013. Densidad y distribución espacial de *Tillandsia latifolia* en el Tillandsial de Piedra Campana (Lima, Perú). *Ecología aplicada* 12(1): 35-43.
- Arakaki, M., Cano, A. 2003. Composición florística de la cuenca del río Ilo-Moquegua y Lomas de Ilo, Moquegua, Perú. *Revista peruana de biología* 10(1): 5-19.
- Arévalo, J., Aponte, H. 2020. Almacenamiento de carbono y agua en *Tillandsia latifolia* Meyen en un sector del Tillandsial de Piedra Campana (Lima / Perú). *Ecología aplicada* 19(1): 9-15. <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v19i1.1441>
- Borthagaray, A., Fuentes, M., Marquet, P. 2010. Vegetation pattern formation in a fog-dependent ecosystem. *Journal of Theoretical Biology* 265: 18-26. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2010.04.020>
- Brack, A. 1974. Los vertebrados de las lomas costeras del Perú. *Anales científicos UNA La Molina* 12:85-92.
- Brack, A., Mendiola, C. 2004. *Ecología del Perú*. Bruño, Lima, Perú.
- Brako, L., Zarucchi, J.L. 1993. Catalogue of the flowering plants and Gymnosperms of Peru. *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden* 45: 265-309.
- Dillon, M.O. 2006. Solanaceae of the lomas formations of coastal Peru and Chile. En: Hollowell, V., Keating, T., Lewis, W., Croat, T. (eds.), *A festschrift for William G. D'Arcy: The legacy of a taxonomist*, pp. 131-155. Missouri Botanical Garden Press, Chicago, Estados Unidos.
- Dillon, M.O., Leiva, S., Zapata, M., Lezama, P., Quipuscoa, V. 2011. Floristic checklist of the peruvian lomas formations. *Arnaldia* 18(1): 7-32.
- Ferreira, R. 1993. Los tipos de vegetación de la costa peruana. *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 40(1): 241-256.
- Galán de Mera, A., Linares, E., Campos de la Cruz, J., Vicente, J.A. 2009. Nuevas observaciones sobre la vegetación del sur del Perú. Del desierto Pacífico al Altiplano. *Acta Botánica Malacitana* 34: 107-144. <https://doi.org/10.24310/abm.v34i0.6904>
- Galán de Mera, A., Linares, E., Trujillo, C., Villasante, F. 2010. Termoclina y humedad en el sur del Perú. Bioclimatología y bioindicadores en el departamento de Arequipa. *Zonas Áridas* 14(1): 71-82.
- Haslam, R., Borland, A., Maxwell, K., Griffiths, H. 2003. Physiological responses of the CAM epiphyte *Tillandsia usneoides* L. (Bromeliaceae) to variations in light and water supply. *Journal of Plant Physiology* 160: 627-634. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00970>
- Hesse, R. 2012. Spatial distribution of and topographic controls on *Tillandsia* fog vegetation in coastal southern Peru: Remote sensing and modelling. *Journal of Arid Environments* 78: 33-40. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.11.006>
- Hesse, R. 2014. Three-dimensional vegetation structure of *Tillandsia latifolia* on a coppice dune. *Journal of Arid Environments* 109: 23-30. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.05.001>
- Koch, M.A., Kleinpeter, D., Auer, E., Siegmund, A., Rio, C.D., Osses, P., et al. 2019. Living at the dry limits: ecological genetics of *Tillandsia landbeckii* lomas in the Chilean Atacama Desert. *Plant Systematics and Evolution* 305: 1041-1053. <https://doi.org/10.1007/s00606-019-01623-0>
- León, B., Sagástegui, A., Sánchez, I., Zapata, M. 2006. Bromeliaceae endémicas del Perú, en: León, B., Roque, J., Ulloa-Ulloa, C., Pitman, N., Jørgensen, P.M., Cano, A. (Eds.), *El libro rojo de las plantas endémicas del Perú*. Revista Peruana de Biología. Número especial 13(2): 193s-219s.
- MINAM 2015. *Mapa nacional de cobertura vegetal. Memoria descriptiva*. Ministerio del Ambiente, Lima, Perú. <http://www.minam.gob.pe/patrimonio-natural/wp-content/uploads/sites/6/2013/10/MAPA-NACIONAL-DE-COBERTURA-VEGETAL-FINAL.compressed.pdf>



- MINAM 2019. *Mapa nacional de ecosistemas del Perú*. Ministerio del Ambiente, Lima, Perú. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-nacional-ecosistemas-peru>
- Montesinos, D. 2015. *Flora Moqueguana. Guía práctica para la identificación de plantas silvestres*. Anglo American, Moquegua, Perú.
- Mostacero, J., Zelada, W., Medina, C. 2007. *Biogeografía del Perú*. Asamble Nacional de Rectores, Lima, Perú.
- Ogawa, H., Oka, S., Ohga, N. 1986. The meso- and local-scale distribution of lomas vegetation and their determining factors in the coastal desert of southern Peru. En: ONO, M. (Ed.), *Taxonomic and ecological studies on the lomas vegetation in the Pacific coast of Peru*, pp. 15-40. Makino Herbarium, Tokyo, Japón.
- Oka, S., Ogawa, H. 1984. The distribution of Lomas vegetation and its climatic environments along the Pacific Coast of Peru. *Geographical reports of Tokyo Metropolitan University* 19: 113-126.
- Ono, M. 1986. Definition, classification and taxonomic significance of the lomas vegetation. En: ONO, M. (Ed.), *Taxonomic and ecological studies on the lomas vegetation in the Pacific coast of Peru*, pp. 5-14. Makino Herbarium, Tokyo, Japón.
- Pefaur, J. 1982. Dynamics of plant communities in the Lomas of southern Peru. *Vegetatio* 49: 169-171. <https://doi.org/10.1007/BF00123840>
- Pinto, R. 2005. *Tillandsia del norte de Chile y del extremo sur del Perú*. FlorAtacama, Santiago, Chile.
- Pinto R., Barria, I., Marquet, P.A. 2006. Geographical distribution of *Tillandsia* lomas in the Atacama Desert, northern Chile. *Journal of Arid Environments* 65(4): 543-552. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.08.015>
- Rauh, W. 1985. The Peruvian-Chilean deserts. En: Evenari, M., Noy-Meir, I., Goodall, D.W. (eds.), *Ecosystems of the World 12 A. Hot deserts and arid shrublands*, pp. 239-267. Elsevier, Amsterdam, Alemania.
- Rostworowski, M. 1981. *Recursos Naturales renovables y pesca siglos XVI y XVII*. Instituto de estudios peruanos, Lima, Perú.
- Rundel, P.W. 1982. Water uptake by organs other than roots. En: Lange, O. L., Nobel, R.S., Osmond, C.B., Zlealer, H. (Eds), *Physiological plant ecology II. Water relations and carbon assimilation*, pp. 111-134. Springer, Berlin, Alemania. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-68150-9\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-642-68150-9_5)
- Rundel, P.W., Dillon, M.O. 1998. Ecological patterns in the Bromeliaceae of the lomas formations of Coastal Chile and Peru. *Plant Systematics and Evolution* 212: 261-278. <https://doi.org/10.1007/BF01089742>
- Rundel, P.W., Dillon, M.O., Palma, B., Mooney, A.H., Gulmon, S.L., Ehleringer, J.R. 1991. The phytogeography and ecology of the coastal Atacama and Peruvian Deserts. *Aliso* 13: 1-50.
- Rundel, P.W., Palma, B., Dillon, M.O., Sharifi, M. R., Boonpragob, K. 1997. *Tillandsia landbeckii* in the coastal Atacama Desert of northern Chile. *Revista chilena de historia natural* 70:341-349.
- Schulz, N., Aceituno, P., Richter, M. 2010. Phytogeographic divisions, climate change and plant dieback along the coastal desert of northern Chile. *Erdkunde* 65: 169-187. <https://doi.org/10.3112/erdkunde.2011.02.05>
- Smith L.B. 1936. Bromeliaceae. Flora of Peru. *Publications of the Field Museum of Natural History, Botanical Series*. 13(1/3): 495-592.
- Smith, L.B. Downs, R.J. 1977. Tillandsioideae (Bromeliaceae). *Flora Neotropica* 14(2): 663-1492.
- Thomson, J.W., Iltis, H.H. 1968. A fog-induced lichen community in the coastal desert of southern Peru. *The Bryologist* 71 (1): 31-34.
- Villegas, L., Huamani-Valderrama, L., Luque-Fernández, C., Gutiérrez, R.C., Quiróz, A.J., Abdala, C.S. 2020. Una nueva especie de *Liolaemus* (Iguania: Liolaemidae) perteneciente al grupo *L. montanus* en las lomas costeras del sur de Perú. *Revista de Biología Tropical* 68(1): 69-86. <https://doi.org/10.15517/RBT.V68I1.34861>
- Weberbauer, A. 1945. *El mundo vegetal de los Andes Peruanos* (Estudio fitogeográfico). Ministerio de Agricultura, Lima, Perú.