



Chloris chilensis

Revista chilena de flora y vegetación

Año 24. N° 1

LAS POBLACIONES DE *PUYA RAIMONDII* DE LA PROVINCIA DE CHUPACA, JUNÍN, PERÚ: PROPUESTA DE UN MÉTODO DE DELIMITACIÓN ESPACIAL Y EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL

THE POPULATIONS OF PUYA RAIMONDII IN CHUPACA PROVINCE, JUNÍN, PERÚ: PROPOSAL OF A SPATIAL DELIMITATION METHOD, AND CURRENT STATE ASSESSMENT

Gerson E. Prado-Aliaga¹, Jean C. Salcedo-Aliaga², Whinny W. Vicuña-Zevallos³, Mery L. Suni-Ninataype⁴

¹ (ORCID: 0000-0003-1755-335X, correo: gerson.prado@unmsm.edu.pe)

Laboratorio de Fisiología Vegetal. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

² (ORCID: 0000-0002-6454-6315, correo: jean.salcedo@unmsm.edu.pe)

Departamento de Etnobotánica y Botánica económica. Museo de Historia Natural. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

³ (ORCID: 0000-0002-3145-7295, correo: whinny.vicuna@unmsm.edu.pe)

Departamento de Etnobotánica y Botánica económica. Museo de Historia Natural. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

⁴ (ORCID: 0000-0003-4064-1497, correo: msunin@unmsm.edu.pe)

Laboratorio de Fisiología Vegetal. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

RESUMEN

Las evaluaciones del estado de las poblaciones de *Puya raimondii* Harms, pese a estar considerada como una especie en peligro de extinción, son escasas. El hallazgo de la especie en la provincia de Chupaca, departamento de Junín, hizo necesario delimitar y evaluar el estado de sus poblaciones. Como idea base del método de delimitación, se propone que para evitar usar unidades subjetivas o arbitrarias, la unidad de las evaluaciones de estado actual debe estar en función del concepto de población. Por estas razones, en este estudio se utiliza el método del recuadro delimitador para

delimitar espacialmente las poblaciones de *Puya raimondii* en la provincia de Chupaca y se evalúa su estado actual con base en los parámetros actuales de tamaño, área, distribución altitudinal y estructura demográfica de sus poblaciones. Producto de esta delimitación espacial, se caracterizaron dos poblaciones: Jarpa y Yanacancha. En la evaluación se determinó que la población de Jarpa tiene 3872 individuos censados y ocupa 4,2 ha, mientras que la de Yanacancha tiene 45 528 individuos estimados y ocupa 72,9 ha. En ambas poblaciones la mayoría de los individuos crecían mayoritariamente entre los 4100 y 4200 m de altitud y las plantas se incluyeron en un intervalo de 0 a 50 cm de alto.

Palabras clave: delimitación espacial de poblaciones, método del recuadro delimitador, estructura demográfica, Yanacancha, Jarpa.

ABSTRACT

Assessments of the status of the populations of Puya raimondii Harms are scarce, despite being an endangered species. The unit of these evaluations should be based on the concept of population, to avoid using subjective or arbitrary units. Particularly in the province of Chupaca in the department of Junín, it was necessary to delimit and evaluate the state of the populations of Puya raimondii present. For these reasons, the present study proposes the bounding box method for the spatial delimitation of the populations of Puya raimondii in the province of Chupaca, and assesses their current state, based on the parameters of size, area, altitudinal distribution and demographic structure. of the populations. Product of this spatial delimitation, the existence of two populations was verified: Jarpa and Yanacancha. In the evaluation it was determined that the population of Jarpa has 3872 registered individuals and occupies 4.2 ha, while the population of Yanacancha has an estimated 45 528 individuals and occupies 72.9 ha. In both populations, most of the individuals were mostly between 4100 and 4200 meters of altitude and belonged to the height range 0 to 50cm.

Keywords: *population spatial delimitation, bounding box method, demographic structure, Yanacancha, Jarpa.*

INTRODUCCIÓN

Pese a haber sido categorizada como en peligro (Lambe, 2009), las evaluaciones de las poblaciones de *Puya raimondii* son escasas. Esta especie, de roseta gigante (Fotografía 1), que se distribuye en Perú y Bolivia (Vadillo, 2011), actualmente crece en doce departamentos en Perú. Sin embargo, los trabajos en los departamentos de Arequipa (Salazar & Villasante, 2012), Moquegua (Montesinos, 2014) y la provincia de Huarochirí en el departamento de Lima (Aquino *et al.*, 2018) constituyen las únicas evaluaciones recientes del estado actual de la especie.

Las evaluaciones del estado de poblaciones en *P. raimondii* deben indicar la definición de población que se ha empleado. Una población es un conjunto de individuos de la misma especie (conespecíficos) aislado genética, demográfica o espacialmente de cualquier otro conjunto de individuos conespecíficos (Wells & Richmond, 1995). Si se llevan a cabo evaluaciones de estado de la especie con base en unidades subjetivas tales como rodales, localidades botánicas, etc., se genera el riesgo de evaluar deficientemente parámetros poblacionales y se dificulta la comparación de las diferentes investigaciones.

Fotografía 1. *Puya raimondii*, estados fenológicos vegetativo y floración. Chiara, Ayacucho (03/11/2018).

Autor: Gerson Enrique Prado Aliaga.



Trabajar con poblaciones requiere delimitarlas previamente. Al respecto, establecemos que una población de *P. raimondii* puede delimitarse espacialmente con base en los individuos detectables en imágenes satelitales submétricas. En el caso de *P. raimondii*, la delimitación espacial de sus poblaciones es posible puesto que sus individuos son rosetas con diámetros de hasta 4,5 metros que contrastan en tamaño con la vegetación común de su entorno, que es generalmente herbácea o arbustiva (Rivera, 1985; Aquino *et al.*, 2019). Estas características de la especie permiten detectar a los individuos juveniles y a los adultos en fotografías aéreas e imágenes satelitales de resolución espacial submétrica (Mallqui, 2017). El acceso libre a estas imágenes puede encontrarse en plataformas como *Google Earth Pro* o *Bing Maps*. No obstante, no existe un método para la delimitación espacial de sus poblaciones.

Particularmente, se hace necesario tener información base del estado actual de las poblaciones de *P. raimondii* de la provincia de Chupaca, del departamento de Junín. Para el departamento de Junín solo se han reportado poblaciones de *P. raimondii* en las provincias de Jauja y Chupaca (Vadillo, 2011); específicamente para la provincia de Chupaca solo se menciona como población a una en la localidad de Huáscar (Vadillo *et al.*, 2007; Vadillo, 2011); sin embargo, en visitas a la provincia se identificaron otros parches de la especie, lo que dejó en evidencia un desconocimiento del número real de las poblaciones existentes. Además, en los años 2009 y 2016 se reportaron incendios que afectaron a centenares de individuos en la provincia de Chupaca (Correo, 2009; Andina, 2016), desconociéndose el impacto en las poblaciones por no conocer sus límites.

El objetivo de este estudio ha sido, por ello, delimitar espacialmente las poblaciones de *P. raimondii* en la provincia de Chupaca, proponer un nuevo método para este fin y evaluar el estado actual de conservación de las poblaciones considerando parámetros poblacionales tales como el tamaño, el área, la distribución altitudinal y la estructura demográfica; con esto se busca generar información base sobre estas poblaciones para así poder monitorear su estado.

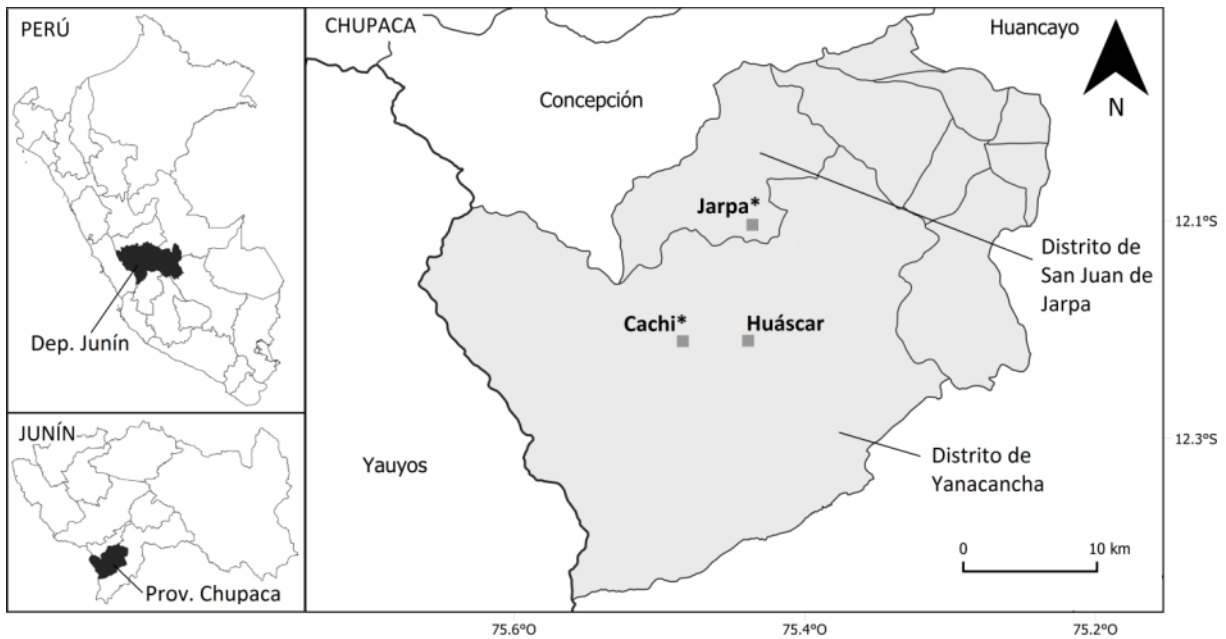
MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se ubica en la provincia de Chupaca, departamento de Junín, en particular en los distritos de San Juan de Jarpa (12°9'9"S, 75°26'9"O) y Yanacancha (12°13'58"S, 75°26'18"O) (Figura 1). Los individuos de *Puya raimondii* se ubicaron en la cuenca alta del río Cunas, en un tipo de ecosistema denominado como "Pajonal de Puna Húmeda" (Minam, 2018). Desde un punto de vista climático, los distritos de San Juan de Jarpa y Yanacancha alcanzan, en promedio, una precipitación anual de 913 y 1034 mm, una temperatura mínima mensual de 3,1 y -1,0 °C y una

temperatura máxima mensual de 15,6 y 14,7 °C, respectivamente (Senamhi, 2020 a, b). Las campañas en terreno San Juan de Jarpa se llevaron a cabo en febrero de 2017, las de Yanacancha, en marzo y julio de 2017 y en marzo de 2018.

Figura 1. Distribución de las poblaciones de *Puya raimondii* en los distritos de San Juan de Jarpa y Yanacancha, de la provincia de Chupaca, departamento de Junín. *: no reportado previamente.



Delimitación espacial de las poblaciones: método del recuadro delimitador

Con el fin de trazar los límites de las poblaciones de *P. raimondii*, se utilizó el método del recuadro delimitador. Este método se basa en que los individuos de *P. raimondii* pueden ser detectados en imágenes satelitales de resolución espacial submétrica (Figura 2), esto debido a sus características morfológicas y al patrón visual que representa la sombra interna formada por las hojas en cada roseta (Figura 3). El método comienza por delimitar con un recuadro los conjuntos de individuos detectados con un marco de aislamiento de un kilómetro (conjuntos llamados “piezas”), los que luego se usarán para establecer los límites de las poblaciones.

Figura 2. Individuos de *P. raimondii* detectables en una imagen satelital submétrica. Arriba: Fotografía de un sector de Yanacancha tomada el 28/02/2017. Abajo: Imagen satelital submétrica de fecha 08/06/2017 y 41 cm de resolución espacial, tomada de *Google Earth Pro*. El cuadro blanco abarca a los mismos seis individuos.

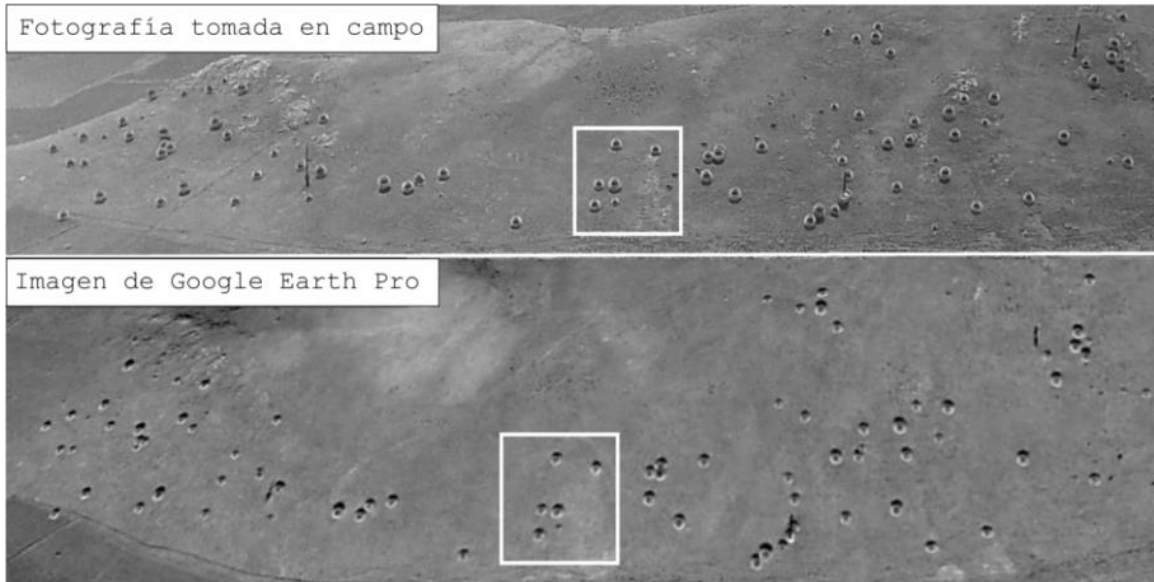
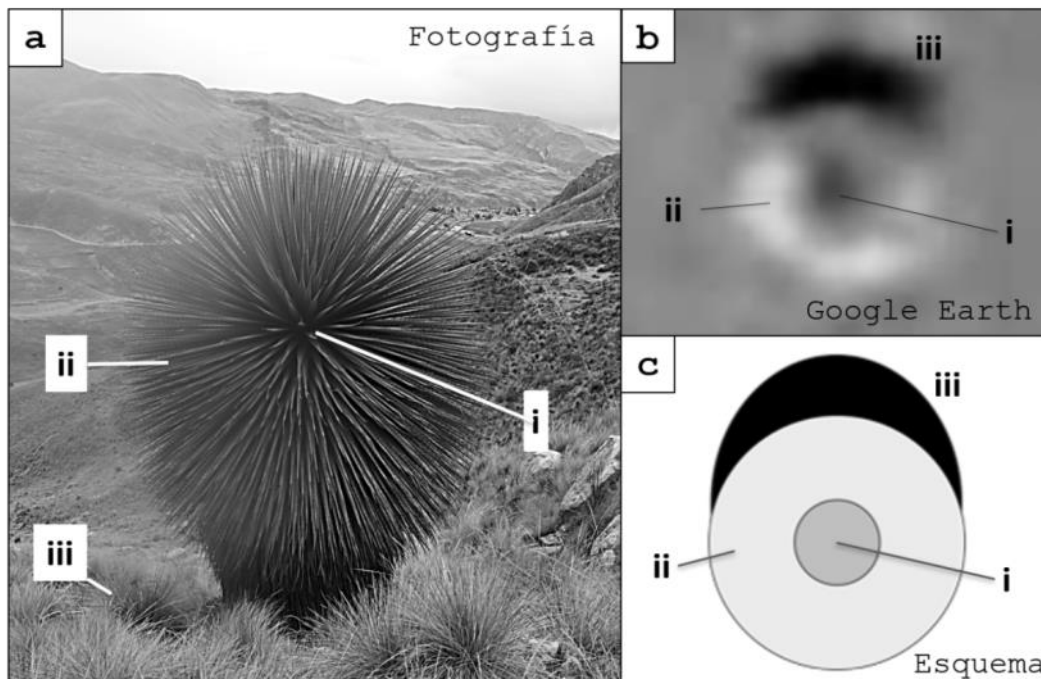
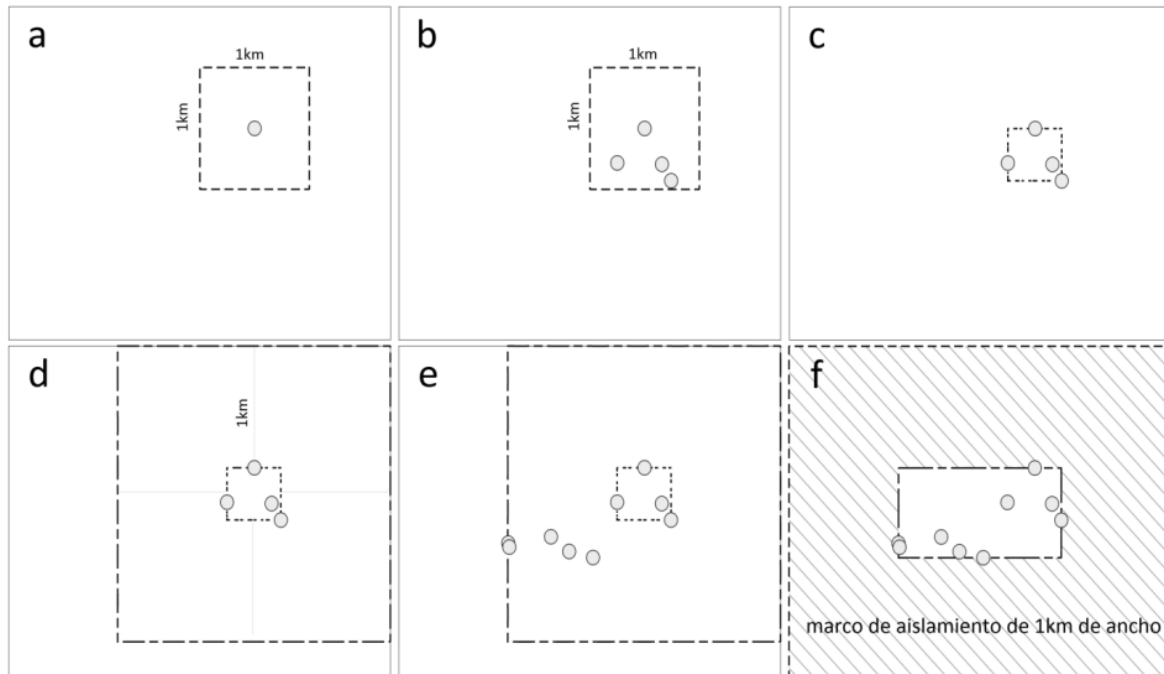


Figura 3. Criterios para identificar un individuo vegetativo de *P. raimondii* en una imagen de *Google Earth Pro*. a. Individuo vegetativo de *P. raimondii*. b. Vista en una imagen satelital. c. Esquema (1: Sombra interna de la roseta o patrón, 2: Roseta vegetativa y 3: Sombra externa de la roseta).



El método del recuadro delimitador tiene dos fases: la primera, se denomina “formación de las piezas” y la segunda fase, llamada “formación de poblaciones”. La primera es una fase exploratoria; se desarrolla en la plataforma de *Google Earth Pro* y se inicia colocando la coordenada inicial de cualquier individuo de *P. raimondii* en el centro de un cuadrado de un kilómetro de lado: el primer recuadro delimitador (Figura 4a). Se procede a georreferenciar a todos los individuos detectables dentro del recuadro delimitador (Figura 4b). El recuadro se ajusta al conjunto de individuos detectados (Figura 4c) y luego se amplía formando un marco de un kilómetro de ancho (Figura 4d), buscando en su área nuevos individuos (Figura 4e). Este recuadro delimitador se ampliará y ajustará sucesivamente hasta que en el marco ampliado ya no se encuentren más individuos, formándose entonces una pieza (Figura 4f). Durante la segunda fase con base en la información espacial, genética o demográfica disponible se determina si la identidad de la pieza corresponde a una población, a una fracción de una población o varias poblaciones.

Figura 4. Método del recuadro delimitador: fase de formación de piezas. a. Coordenada y recuadro delimitador iniciales. b. Búsqueda de individuos. c. Ajuste. d. Ampliación post-ajuste. e. Nueva búsqueda. f. Ajuste y ampliación finales del recuadro delimitador, formando un conjunto de individuos con un marco de aislamiento de un kilómetro.



Para delimitar espacialmente las poblaciones de *P. raimondii* se revisó una imagen satelital de 2016 y se utilizó la información disponible sobre la dispersión de la especie. Específicamente, en la fase de formación de piezas se revisó la imagen satelital del 30 de agosto de 2016, de 0,5 m de resolución espacial disponible en *Google Earth Pro*. Durante la segunda fase, para unir, conservar o separar las piezas y formar poblaciones, se analizó la continuidad espacial de los individuos dentro y entre las piezas formadas, con base en su proximidad y la posible existencia de barreras geográficas entre estos, y luego se hicieron inferencias sobre continuidad genética (intercambio de polen) y demográfica (intercambio de semillas). En base a este análisis y a estas inferencias se sustentaron las poblaciones delimitadas finales.

Sobre lo anterior, es importante mencionar que para *P. raimondii* solo se reportan como polinizadores los colibríes *Aglaeactis cupripennis*, *Colibri coruscans*, *Metallura phoebe*, *Oreotrochilus estella*, *O. stolzmanni* y *Patagona gigas* (Hornung-Leoni *et al.*, 2007; Salinas *et al.*, 2007). Además, *P. raimondii* solo se reproduce sexualmente (Vadillo, 2011) y libera millones de semillas aladas que son dispersadas por el viento (Raimondi, 1874; Vadillo, 2011; Fotografía 3). Este tipo de dispersión de semillas presenta una fase primaria, de la planta fuente al suelo, y una fase secundaria, con movimiento sobre el suelo (Schurr *et al.*, 2005).

Fotografía 2. Dos individuos de *Patagona gigas* posados en una *Puya raimondii* en floración en Canchayllo, Jauja (25/10/2019). Autor: Cesar Armando Quin Candela.



Fotografía 3. Semillas aladas de *Puya raimondii* observadas en el suelo durante la última evaluación en terreno en Yanacancha, Junín (25/07/2017). El color rojizo de las semillas indica su dispersión reciente.

Autor: Gerson Enrique Prado Aliaga.



Estado actual

Para evaluar el estado actual de las poblaciones se consideraron cuatro parámetros. El estado actual de las poblaciones refiere con más frecuencia al tamaño o densidad poblacional (Ranta *et al.*, 2006). En este trabajo, sin embargo, además de evaluar el tamaño poblacional, el estudio se extendió a otros parámetros poblacionales tales como el área, la distribución altitudinal y la estructura demográfica.

a) Área de las poblaciones

En la localidad de Yanacancha el área ocupada por la población de *P. raimondii* se estimó mediante un método remoto, consistente en un *buffer* circular de 10 m; en Jarpa, se utilizó un método de campo denominado “demarcación en campo”. Esta diferencia de métodos se debió al contraste del número de individuos y el área que ocupaban en cada localidad. En el presente trabajo al área poblacional se le considera como “el área real ocupada por los individuos de la población” (Currin *et al.*, 2008).

Descripción de los métodos:

Yanacancha: Método buffer circular-10m

Con el fin de estimar un indicador de área para la población de Yanacancha se aplicó una adaptación del método *buffer* circular (Rivers *et al.*, 2010). Mediante la aplicación del método de delimitación se obtuvo un conjunto de coordenadas de los individuos de la población; con base en dichas coordenadas, con la herramienta *buffer* circular de la aplicación Qgis 3.6, se generó un círculo en torno a cada una de ellas a las que se le asignó el valor arbitrario de diez metros de radio. Con este valor se trata de abarcar el área de los individuos detectados y no detectados en la imagen satelital. De esta manera se obtuvo un objeto vectorial tipo polígono, cuya área representa un indicador del área de la población.

Jarpa: Método de demarcación en campo

En Jarpa se determinó en campo el tamaño del área poblacional; esto debido a que la población de Jarpa era visiblemente pequeña en términos de área y número de individuos. Determinamos su área recorriendo su perímetro con la herramienta *Track* de un equipo *GPS* portátil Garmin 64s. El área del polígono resultante fue considerada el área de la población de Jarpa.

b) Distribución altitudinal de los individuos en la población

La distribución altitudinal de los individuos en cada población se analizó a partir de la información obtenida de los individuos en el proceso de delimitación. La altitud de las poblaciones de *P. raimondii* generalmente se menciona como un solo valor numérico (Vadillo, 2011; Salazar & Villasante, 2012), aun cuando los individuos en la población se distribuyen en un rango altitudinal. En este trabajo se determinó, además del rango y amplitud altitudinal, la frecuencia de individuos en intervalos de altitud. Para este fin se utilizaron las coordenadas de los individuos registrados en el proceso de delimitación y se generaron sus valores de altitud con la función *Look Up Elevations* de la plataforma *GPS Visualizer* (Schneider, 2003); luego, con base en ese conjunto de valores, se estableció la distribución altitudinal calculando la frecuencia de individuos a intervalos de altitud de 100 m.

c) Tamaño de la población

El tamaño poblacional se determinó en campo mediante un censo en Jarpa y un muestreo en Yanacancha. En este trabajo, “tamaño poblacional” refiere al número de individuos de la población. El tamaño poblacional de Jarpa se determinó con un censo de individuos en toda el área demarcada. En Yanacancha, para aproximarse al tamaño poblacional, se extrapolo el número de individuos de las localidades de Cachi y Huáscar, sus parches más grandes, a partir de un muestreo de 30 parcelas

de 50 x 50 m distribuidas aleatoriamente, 22 parcelas en Cachi y 8 en Huáscar. El mayor número de parcelas de evaluación en Cachi se debió a su mayor área.

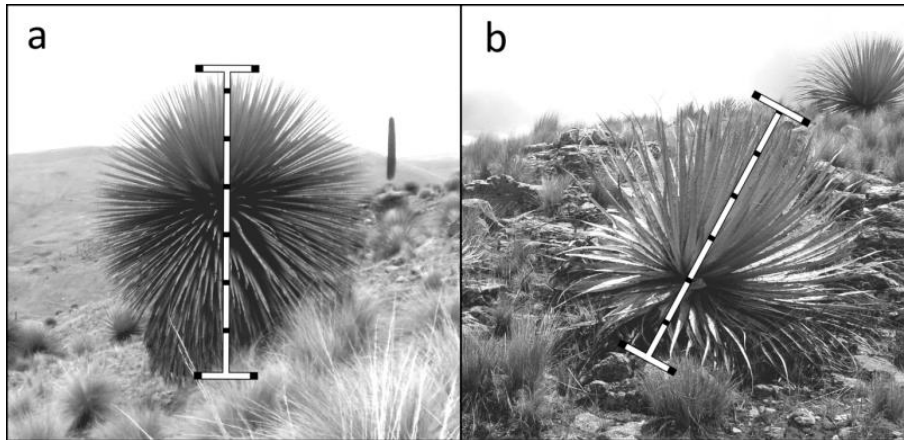
d) Estructura demográfica de la población

La estructura demográfica de las poblaciones se determinó en campo mediante clases determinadas por la altura y por la fenología de los individuos. La estructura poblacional puede ser de tipo genética, ecológica, sexual, por edades, entre otras (Yablokov, 1987). La estructura poblacional por edades en el presente trabajo es denominada “estructura demográfica”. Para determinarla, a cada individuo registrado en el censo o muestreo se le asignó una clase, los vegetativos fueron clasificados en intervalos de altura (Tabla 1) y los reproductivos, en los estados de floración y fructificación. Los intervalos de altura se definieron modificando la clasificación de Salazar & Villasante (2012). La altura de la planta se consideró como la longitud desde el punto central de su base hasta el ápice de la hoja más sobresaliente siguiendo el eje de crecimiento, solucionando los casos de plantas en pendientes (Figura 5A) y con el eje de desarrollo inclinado (Figura 5B).

Tabla 1. Estados fenológicos e intervalos de altura de los individuos en la evaluación de la estructura de edades de las poblaciones.

Estado fenológico	Intervalo de altura (cm)/estado
Vegetativo	(0-50)
	(50-100)
	(100-150)
	(150-200)
	(Más de 200)
Reproductivo	Floración (FL)
	Fructificación reciente o antigua (FR)

Figura 5. Criterios empleados en la medición de la altura de los individuos. a. En pendientes. b. En individuos con eje de desarrollo no vertical. Líneas blancas representan longitudes medidas.



RESULTADOS

Para la provincia de Chupaca se estableció que existen dos poblaciones de *Puya raimondii*, las poblaciones de las localidades de Yanacancha y de Jarpa (Figuras 6 y 7).

Figura 6. Población de *Puya raimondii* de Jarpa, provincia de Chupaca, departamento de Junín, Perú.

a. Ubicación de la población b. Fotografía del parche Jarpa A.

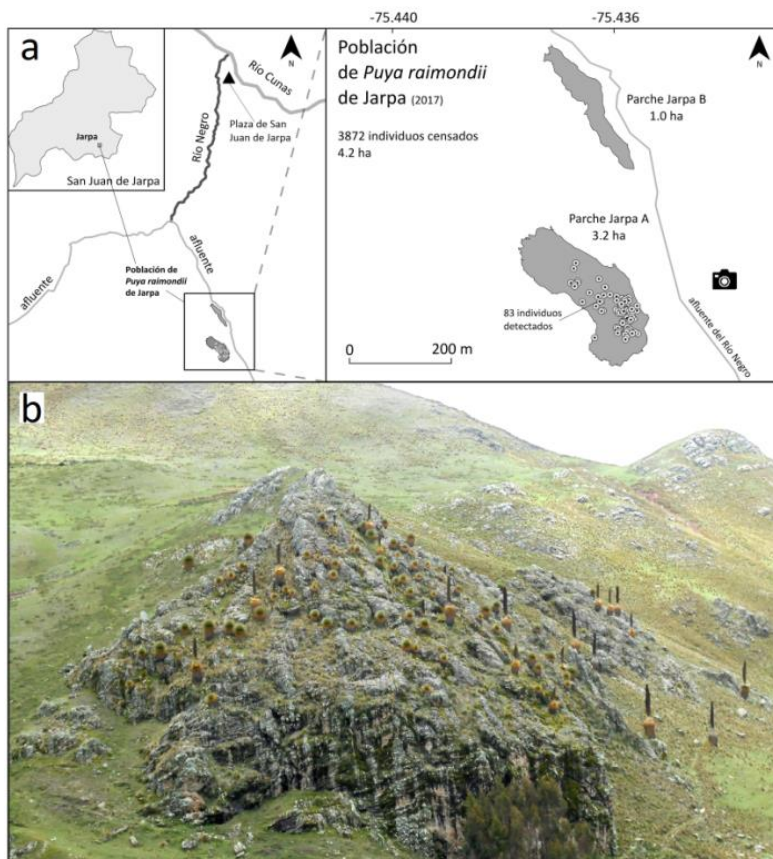
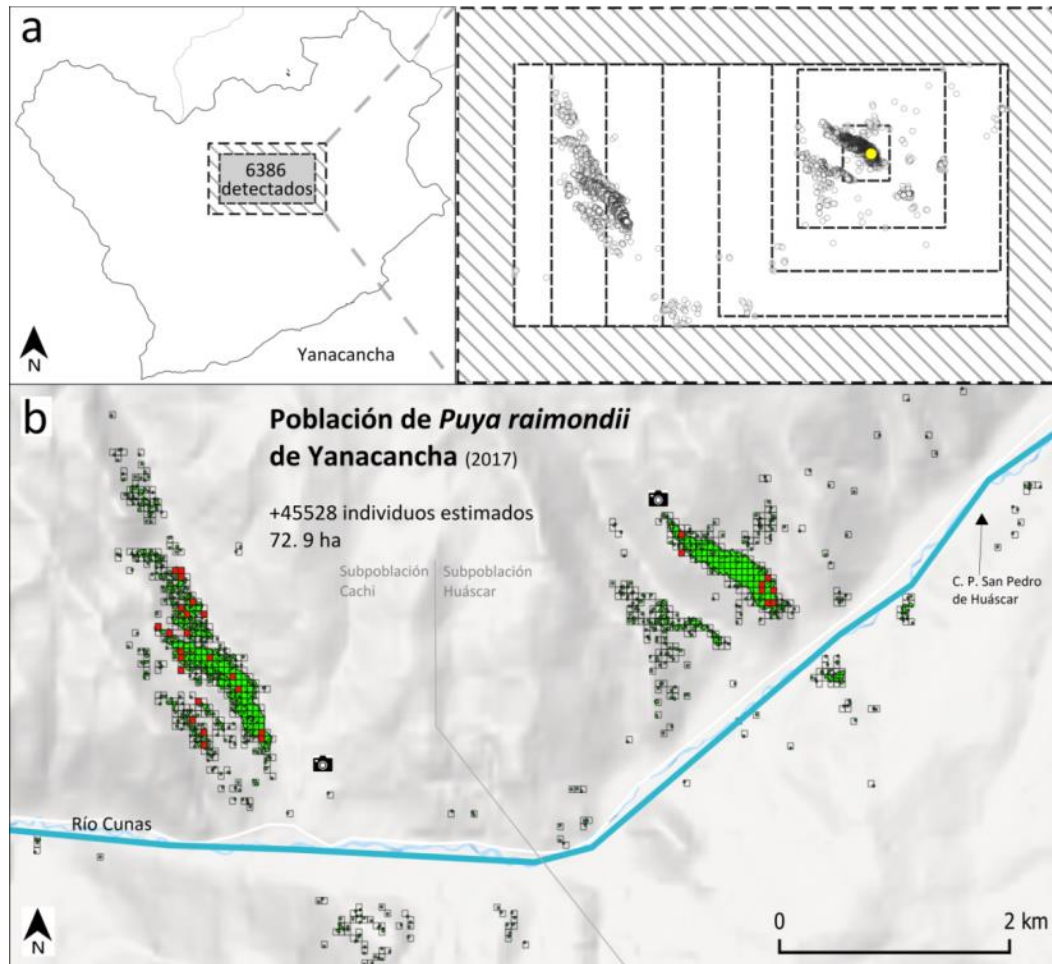


Figura 7. Población de *Puya raimondii* de Yanacancha, provincia de Chupaca, departamento de Junín, Perú. a. Delimitación espacial (solo recuadros post-ajuste). b. Mapa cuadrículado (50 x 50m) de la población de Yanacancha sobre el área resultante del *buffer* circular de 10 m de diámetro (en verde).

Las cuadrículas evaluadas para estimar el tamaño poblacional se muestran en rojo.



En la primera fase del método de delimitación espacial, el recuadro delimitador formó dos piezas. Una pieza de 83 individuos correspondió al parche del distrito de Jarpa; mientras que la pieza de 6386 agrupaba a los de las localidades de Huáscar y Cachi, a parches más pequeños y a individuos aislados que crecían alrededor, todos en el distrito de Yanacancha. En la segunda fase se las consideró como poblaciones independientes (ver discusión).

La población de Jarpa alcanza a 3872 individuos censados y ocupa 4,2 ha, está formada por los parches Jarpa A y B. Se ubica a dos kilómetros de la plaza principal del distrito de San Juan de Jarpa, en la quebrada formada por un afluente del río Negro, en la cuenca alta del río Cunas. Los 83 individuos detectados inicialmente en Jarpa con el método de delimitación crecen en el denominado parche “Jarpa A” (Figura 6). Sin embargo, al momento de determinar en campo el área poblacional

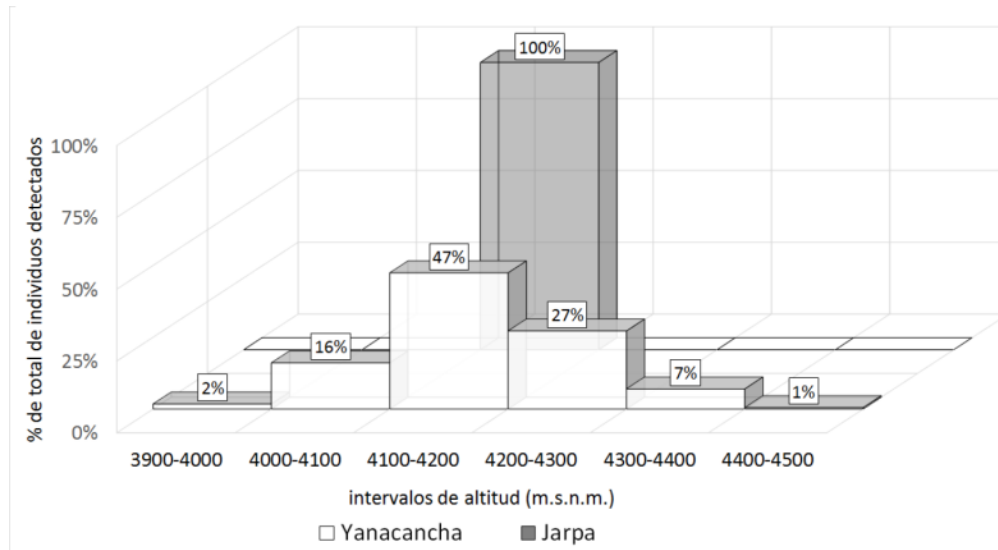
de Jarpa, se evidenció otro parche formado mayormente por individuos del intervalo (0,50] cm no detectados por el método de delimitación espacial aplicado. Este fue denominado como parche “Jarpa B”, y también fue incluido en el censo; los individuos de este parche corresponderían a una sola cohorte producida por un único individuo reproductivo, ya senescente. Los parches Jarpa A y Jarpa B alcanzan a 3,2 y 1,0 ha, respectivamente (Figura 6a) y se encuentran a unos 400 m uno de otro.

La población de Yanacancha tiene un tamaño poblacional estimado en más de 45528 individuos que ocupan 72,9 ha y está formado por las subpoblaciones de Cachi y de Huáscar. Los individuos de la población de Yanacancha están distribuidos entre los centros poblados de San Pedro de Huáscar y Santo Domingo de Cachi, en ambos márgenes del río Cunas, pero con mayor abundancia de individuos en el margen izquierdo de dicho río (Figura 7b). Se consideró a Yanacancha como una población que consta de dos subpoblaciones, Cachi (41,9 ha) y Huáscar (31 ha), las que agrupan a parches grandes, a parches pequeños y a individuos aislados (Figura 7b). En cada subpoblación resalta un gran parche y entre ambos existe una distancia de unos 5 km; estos parches mayores están conectados por otros pequeños y por individuos dispersos, sin barreras geográficas evidentes que impidan el flujo del polen o de las semillas. El número de individuos del parche más grande de la subpoblación Cachi se estimó en 30156, mientras que el parche con más individuos en la subpoblación Huáscar alcanza a 15373.

Distribución altitudinal

En ambas poblaciones, los individuos de *P. raimondii* se distribuyeron mayormente en el intervalo entre los 4100 y los 4200 m de altitud. Los 6386 individuos de la población de Yanacancha se distribuyeron entre los 3905 y los 4464 m de altitud, por lo que la amplitud altitudinal fue de 559 m. La mayor parte (47,4%) de los registros de altitud de los individuos de *P. raimondii* en Yanacancha, se distribuyeron en el intervalo 4100-4200 m (Figura 8). En el caso de la población de Jarpa, los 83 individuos se distribuyeron entre 4109-4157 m de altitud (el 100% en el intervalo 4100-4200 m de altitud), con una amplitud de 48 metros (Figura 8). Resaltamos que en ambas poblaciones el avance de la distribución altitudinal de los individuos no está limitado por la elevación natural del terreno, debido a que en ambas zonas se registran altitudes de hasta 4600 y 4500 m de altitud en Yanacancha y Jarpa, respectivamente.

Figura 8. Distribución altitudinal de individuos en las poblaciones de *Puya raimondii* de las localidades Jarpa (gris) y Yanacancha (blanco), provincia de Chupaca, Junín, Perú.



Estructura demográfica

En el intervalo de altura de 0-50 cm se inscribió un 82,6% de los individuos de la población de la localidad de Jarpa (Figura 9A) y un 43,7% de la de Yanacancha (Figura 9B). En ambas poblaciones el porcentaje de individuos disminuye en la medida que aumenta su altura; de este modo, en el último intervalo de altura, el de 200 cm o más, se incluyó solo a un 0,9% de los individuos de Jarpa y a un 9,1% de los de Yanacancha. Durante los trabajos en terreno no se registraron plantas en floración. Las plantas que fructificaban alcanzaron solo a un 2% en Yanacancha y a un 0,7% en Jarpa. Los datos del estado actual de las poblaciones se resumen en la Tabla 2.

Figura 9. Estructura demográfica de las poblaciones de a. Jarpa. b. Yanacancha, provincia de Chupaca, Junín, Perú.

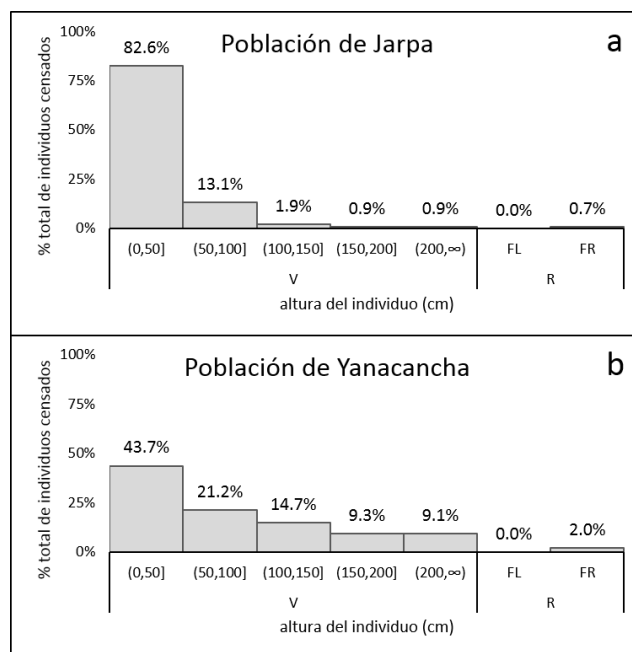


Tabla 2. Resumen de los datos generados para las poblaciones. a. Delimitación, altitud, tamaño y área poblacional. b. Estructura demográfica.

Población	Tamaño de la población		Área de la población		Rango de altitud		
	# individuos	Método	Hectáreas (Ha)	Método	Rango (m s.n.m.)	Amplitud (m)	Intervalo preferido
Jarpa	3872	censo	4,2	demarcación en campo	4109-4157	48	4100-4200 (100%)
Yanacancha	(+)45528		72,9				
subpob. Huáscar	(+)15373	muestreo	31,0	buffer circular 10m	3905-4464	559	4100-4200 (47.4%)
subpob. Cachi	(+)30156		41,9				
Estructura demográfica con base en las alturas de los individuos							
Población	Vegetativas					Reproductivas y muertas	
	% (0,50]cm	%(50,100]cm	%(100,150]cm	%(150,200]cm	%(200,∞)cm	% floración	% fructificación o muertas
Jarpa	82,6	13,1	1,9	0,9	0,9	0,0	0,7
Yanacancha	43,7	21,2	14,7	9,3	9,1	0,0	2,0
subpob. Huáscar	34,2	23,0	16,2	13,0	12,8	0,0	0,7
subpob. Cachi	47,8	20,4	14,1	7,6	7,5	0,0	2,5

DISCUSIÓN

La delimitación de las poblaciones de *Puya raimondii* de Chupaca

¿Los parches de *P. raimondii* de la provincia de Chupaca representan a poblaciones independientes o a una sola población? Antes de este estudio, una población en la localidad de Huáscar había sido reportada como la única de la provincia de Chupaca (Vadillo *et al.*, 2007; Vadillo, 2011). En visitas al distrito de Yanacancha registramos en la localidad de Cachi a otro parche de *P. raimondii*, con numerosos individuos, distanciado 5 km al oeste de Huáscar; además, 8 km al noreste de los parches anteriores existía otro en el distrito de San Juan de Jarpa (Figura 6b). Por ello, para responder la pregunta, las poblaciones fueron delimitadas espacialmente mediante el método del recuadro delimitador. En la primera fase del método se formaron dos piezas, una con 6386 individuos que contenía a las localidades de Huáscar y Cachi (Figura 7a); y otra con 83, que contenía a la Jarpa (Figura 6a). Se procedió a analizar en la segunda fase de la delimitación espacial si estas dos piezas representaban a poblaciones. Al analizar la pieza de 6 386 individuos notamos una posible continuidad espacial entre Cachi y Huáscar: entre los grandes parches se encuentran una cadena de parches pequeños e individuos localmente aislados (Figura 7b), distanciados por 753 metros en promedio ($SD=330$ m) de su vecino más próximo. Inferimos que esta continuidad espacial, sumada a la ausencia de barreras geográficas, permitiría que entre parches cercanos tenga lugar la dispersión, tanto del polen que implica intercambio genético, como de las semillas, lo que implica un intercambio demográfico, y que sea un evento frecuente en generaciones. Por lo anterior, el conjunto de 6386 individuos detectados de Yanacancha fue conservado como una sola pieza (Figura 7b). En el caso de la pieza que representaba a Jarpa, los 83 individuos eran espacialmente cercanos (Figura 6a), con distancias promedio de 8 m ($SD=7$ m); por esta razón, también se la mantuvo como una sola pieza. Sin embargo, aún estaba abierta la pregunta sobre si Yanacancha y Jarpa constituían en realidad una sola población.

La dispersión anemócora de las semillas entre las localidades de Yanacancha y Jarpa, que constituye una forma de intercambio tanto genético como demográfico, no sería un evento frecuente en generaciones. Esta dispersión, encuentra obstáculos tales como la vegetación, la microtopografía (Chambers & MacMahon, 1994) y la topografía de la zona a lo largo de los 8 km sin individuos detectados entre Yanacancha y Jarpa. Así, los pastos y los arbustos actúan como redes o filtros, atrapando semillas en dispersión primaria, y obstaculizan junto a la rugosidad del terreno la dispersión secundaria. Además, el valle y las dos montañas que existen entre Yanacancha y Jarpa actuarían como barreras geográficas para la dispersión de semillas. Además, el hecho de que a

mayor distancia de la planta fuente disminuya la densidad de semillas dispersadas (Soons, 2006) y la baja sobrevivencia de plántulas de la especie, $\leq 0,01\%$, según Vadillo (2011), dificultarían aún más un intercambio demográfico más frecuente y más efectivo.

Entre Yanacancha y Jarpa la dispersión de polen, que constituye una forma de intercambio genético, no es evidente; esta dispersión depende tanto de la capacidad de movimiento de los colibríes como de la viabilidad del polen que transportan. Los colibríes que polinizan a *Puya raimondii*, *Patagona gigas* y *Aglaeactis cupripennis* son especies estacionalmente migratorias (Ortiz-Crespo, 1986; Rappole & Schuchmann, 2003); sin embargo, la dirección o la distancia de su migración son desconocidas. *A. cupripennis*, además, tiene una estrategia alimentaria de tipo territorial, con un pequeño territorio de entre 0,03 y 0,54 ha (Céspedes *et al.*, 2019; Paván *et al.*, 2020) al que estaría circunscrita su actividad de polinización; sobre los demás colibríes que polinizan a *P. raimondii* se carece de información relacionada con sus migraciones o sobre su comportamiento territorial y , sobre este último aspecto se cuenta con poca información referida a los colibríes andinos tropicales (Céspedes *et al.*, 2019). Respecto de la polinización, un evento de dispersión efectiva entre Yanacancha y Jarpa implica transportar polen viable al estigma de individuos situados a uno 8 km de distancia. La viabilidad temporal del polen, que varía entre especies desde minutos hasta meses (Dafni & Firmage, 2000), es desconocida para *P. raimondii*; sin embargo, es conocido que entre los factores ambientales que afectan la viabilidad y la duración de la viabilidad del polen se encuentran la temperatura, la humedad y la radiación (Dafni & Firmage, 2000). Estos factores son extremos en las altitudes entre Yanacancha y Jarpa (>4000 m de altitud) y mayores tiempos de exposición en las rutas de polinización reducirían la viabilidad y duración del polen. Relacionado con esto, ningún polinizador reportado es exclusivo de *P. raimondii*, y en su ruta podría visitar otras especies ocasionando la pérdida del polen por contacto (Restrepo, 2015). Por lo tanto, concluimos que la información sobre el movimiento de los polinizadores y sobre la viabilidad del polen de *P. raimondii* es escasa y que se necesita mayor investigación; por ello se propone que el intercambio genético entre las poblaciones de Yanacancha y Jarpa estaría limitado por su distanciamiento espacial. Por ello, al estar espacialmente separadas y sin evidencia de intercambio genético o demográfico frecuente, se considera a las poblaciones de Yanacancha y Jarpa como independientes.

Implicancias de la delimitación espacial de poblaciones

Es necesario delimitar las poblaciones, de este modo se asegura trabajar con la unidad completa y no con una fracción; solo así se estudiarán unidades naturales, cuyos cambios en sus parámetros dependan de sus procesos poblacionales. Por ejemplo, los mapas de distribución de individuos y densidades de *P. raimondii* en Calipuy (La Libertad) y Cajamarquilla (Ancash) (Mallqui 2017;

Zavaleta, 2017; Zuschlag, 2017) no representan a poblaciones naturales. Esto porque se basan en límites arbitrarios como son un área natural protegida (Calipuy) o el territorio de una comunidad (Cajamarquilla); por lo que no estaría considerada la influencia en los parámetros poblacionales de los individuos fuera de estos límites arbitrarios. En el método de delimitación espacial propuesto en este trabajo, los límites de la población están determinados por sus individuos.

Aunque el método propuesto busca obtener unidades naturales, su primera fase es arbitraria. Esto por usar un valor arbitrario de un kilómetro en el ancho del marco de aislamiento de un conjunto de individuos para considerarlo como una pieza. El objetivo de la segunda fase es precisamente relevar a esta arbitrariedad; en dicha fase se unen, separan o mantienen las piezas de la primera fase para formar poblaciones con base en la información disponible sobre la polinización y la dispersión de la especie.

Estado actual de las poblaciones (2017-2018)

El tamaño de las dos poblaciones de Chupaca, estimado en más de 49 400 individuos evidencia diferencias con los resultados obtenidos mediante otros métodos en trabajos anteriores. Las poblaciones de Arequipa (n=6), Moquegua (n=5) y Huarochirí (n=5) alcanzan a 5 106, 6 040 y 11 600 individuos, respectivamente (Salazar & Villasante, 2012; Montesinos, 2014; Aquino *et al.*, 2018); las diferencias reportadas estarían relacionadas con los métodos empleados para contabilizarlas. Salazar & Villasante (2012) y Aquino *et al.* (2018) hicieron un censo mediante fotografías, un método adaptado de Goñi *et al.* (2006); dicho método, sin embargo, subestima el tamaño de las poblaciones al no registrar a muchos individuos que se sitúan en el intervalo de altura de 0-50 cm, que pueden estar ocultos dentro o en la base de los pastos altos como el *ichu*, los arbustos y las rocas; esos individuos representan un porcentaje importante en las poblaciones de Yanacancha y Jarpa; además, al no haber delimitado las poblaciones previamente en los anteriores trabajos se habrían evaluado solo parcialmente a las poblaciones.

El tamaño de la población de Yanacancha supera los 45 528 individuos. A ese valor se llegó estimando el número de individuos en los parches más grandes, por ello el número podría incrementar si se incluyera la parte restante de la población (Figura 7b). Sumado a esto, el número de plantas podría incrementarse también por la emergencia de plántulas en años a partir las semillas dispersadas en 2017 por los individuos en fructificación reciente, vistos en gran cantidad en las subpoblaciones de Huáscar y Cachi, lo que tendría también efectos en la estructura demográfica en los años siguientes a esta evaluación; por lo que es necesaria continuar con una nueva evaluación en Yanacancha que considere esos aspectos.

En relación con la metodología para calcular el área de poblaciones de *P. raimondii*, a la luz de estos resultados, se recomienda utilizar el método del *buffer* circular con el valor de radio fijo de 10 m, especialmente en aquellas poblaciones formadas por numerosos individuos. Con esto tendremos un indicador del área de la población que no comprenda demasiada área sin individuos y que varíe debido a la aparición o desaparición de sus individuos detectables, permitiéndonos monitorear y comparar este parámetro en diferentes poblaciones y momentos. Este método, a diferencia del método de poligonización de parches en *Google Earth* (Salazar & Villasante, 2012; Aquino *et al.*, 2018), o del método de demarcación en campo aplicado en Jarpa, evita trabajar con una superficie muy grande carente de plantas y se ajusta más a la definición de área seguida en este trabajo (Currin *et al.*, 2008). Por ejemplo, el plan maestro del parque nacional Huascarán menciona 1200 ha para la población de Pumapampa (Sernanp, 2017), valor que contrasta con las 169,5 ha que se obtiene con el método *buffer* circular de 10m.

En cuanto a la estructura demográfica, las poblaciones Yanacancha y Jarpa tienen los mayores valores reportados en cualquier población de la especie para el intervalo de los 0-50 cm de altura (43,7% y 82,6%, respectivamente). Estas no siguen la tendencia encontrada en poblaciones de Arequipa, Moquegua o Huarochirí (Salazar & Villasante, 2012; Montesinos, 2014; Aquino *et al.*, 2018), en donde los porcentajes de individuos en el intervalo 0 a 50 cm de altura (Salazar & Villasante, 2012, Aquino *et al.* 2018) o de diámetro (Montesinos, 2014), fluctúan de 7% - 27%, poblaciones que se reporta estarían con sus estructuras en colapso, según el criterio de Salazar & Villasante (2012). Las diferencias con estas poblaciones pueden deberse tanto al impacto de las condiciones particulares de cada población en la demografía, como al método empleado para determinarla, que, en los trabajos anteriores, subestima el número de individuos del intervalo de altura 0 a 50 cm.

La altitud de las poblaciones no debe ser representada por un solo valor. Los individuos en una población se distribuyen en un cierto rango de altitud, en donde pueden aparecer preferencias por determinados intervalos de un rango. Por ejemplo, los individuos en Yanacancha y Jarpa se distribuyeron en el rango de 3905 a 4464 m y de 4109 a 4157 m, respectivamente, pero en ambas poblaciones se concentraron en el de 4100 a 4200 m, con un 47,4% en Yanacancha y un 100% en Jarpa. Esta preferencia en altitud en las poblaciones de Chupaca difiere de la encontrada en la población de Calipuy (La Libertad), en donde los individuos se concentraron en el intervalo 3800-3900 m de altitud (47,3%) (Zuschlag, 2017). Esta información de preferencia altitudinal, sumada a la delimitación espacial, permitiría diseñar mejor los muestreos poblacionales.

El método propuesto de delimitación espacial es práctico y permite asegurarse de trabajar con una unidad completa. Junto con los parámetros evaluados de las poblaciones de Chupaca representan un

punto de partida para su monitoreo en el tiempo. Por este motivo se recomienda aplicarlo a las demás poblaciones de *Puya raimondii*, realizar investigaciones al nivel poblacional y generar información base para las acciones concretas que lleven a la mejora del estado de conservación de esta especie emblemática categorizada como *en peligro*.

ANEXOS

En el link: <http://www.chlorischile.cl/24-1-web/Chupaca-Puya-SIG/Chupaca-Puya-SIG/> están disponibles los siguientes archivos SIG asociados a este artículo:

n	Nombre del archivo	Descripción
1	jarpa_A&B	Polígonos de proceso de demarcación en campo que representan el área de la población de Jarpa
2	p_jarpa_29082016_27092019	Individuos detectados de la población de Jarpa en el proceso de delimitación espacial
3	buffer10m_YanacanchaPOB	Polígonos resultante del método buffer circular 10m que representan un indicador del área de la población de Yanacancha.
4	p_yanacancha_29082016_25022020	Individuos detectados de la población de Yanacancha en el proceso de delimitación espacial
5	cuadrículas_YanacanchaPOB	Población de Yanacancha cuadriculada en cuadrículas de 50mx50m
6	parcelasEVALUADAS_Cachi	Cuadrículas 50m x50m evaluadas en Cachi
7	parcelasEVALUADAS_Huáscar	Cuadrículas 50m x50m evaluadas en Huáscar

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Úrsula Arieta, Analí Velit, Liscely Tumi y José Suárez por su apoyo durante la evaluación en Cachi. A la Mg. Giovana Vadillo por su aporte en el diseño de la evaluación demográfica. Al Dr. Asunción Cano por su apoyo con material de campo. A las municipalidades y comunidades de Yanacancha y San Juan de Jarpa por el apoyo con hospedaje y transporte local durante las evaluaciones. Finalmente, a la familia Hinostroza de San Juan de Jarpa por el alojamiento durante parte de la evaluación en dicha localidad.

Roles:

GEPA, JCSA, MLSN, WWVZ: participaron en la conceptualización y diseño metodológico; MS: proporcionó materiales para el desarrollo del estudio; GP, JS, WV: recolectaron datos; GP, JS, MS, WV: analizaron de los datos; GP, JS, MS, WV: redactaron y revisaron el manuscrito.

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Fuente de financiamiento: El estudio no presentó financiamiento fuera de los recursos de los autores.

Número de autorización: Resoluciones de Dirección General 038-2017, 140-2017 y 115-2018-SERFOR-DGGSPFFS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDINA, 2016. Junín: desconocidos queman bosque de Puyas de Raimondi. Agencia Peruana de Noticias. Publicado el 02 de junio de 2016. Perú.
- AQUINO, W., F. CONDO, J. ROMERO & R. YLLACONZA. 2018. Distribución geográfica y poblacional de *Puya raimondii* Harms en el distrito de Huarochirí, provincia de Huarochirí, Lima, Perú. *The Biologist* 16 (1): 25-33.
- AQUINO, W., F. CONDO, J. ROMERO, R. YLLACONZA, M.I. LA TORRE. 2019. Flora y vegetación asociada a los rodales de *Puya raimondii* de Huarochirí, Lima, Perú. *Revista Peruana de Biología* 26(1): 009 - 020. doi: <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v26i1.14551>
- CÉSPEDES, L.N., L.I. PAVÁN, J.A. HAZLEHURST & J.E. JANKOWSKI J.E. 2019. The behavior and diet of the Shining Sunbeam (*Aglaeactis cupripennis*): A territorial high-elevation hummingbird. *The Wilson Journal of Ornithology* 131(1): 24-34. doi: <https://doi.org/10.1676/18-79>
- CHAMBERS, J.C. & J.A. MAC MAHON. 1994. A day in the life of a seed: movements and fates of seeds and their implications for natural and managed systems. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 25: 263–292. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.es.25.110194.001403>
- CORREO, 2009. Comuneros queman centenar de puyas. *Diario Correo*. Publicado el 19 de octubre de 2009. Perú.
- CURRIN, R., M. CARR & R. MEINKE. 2008. Developing population density estimates for nine rare Willamette Valley prairie species. Report prepared for U.S. Fish and Wildlife Service, Region 1, Portland, Oregon. Oregon Department of Agriculture, Salem, Oregon.
- DAFNI, A. & D. FIRMAGE. 2000. Pollen viability and longevity: Practical, ecological and evolutionary implications. *Pl Syst Evol* 222: 113–132. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00984098>
- GOÑI, D., M.B. GARCÍA & D. GUZMÁN. 2006. Métodos para el censo y seguimiento de plantas

rupícolas amenazadas. Pirineos: 161, 33–58.

HORNUNG-LEONI C.T., V. SOSA & M. LÓPEZ. 2007. Xylose in the nectar of *Puya raimondii* (Bromeliaceae), the queen of the puna. Biochemical Systematics and Ecology: 35, 554–556.

LAMBE, A. 2009. *Puya raimondii*. The IUCN Red List of Threatened Species 2009:

e.T168358A6482345. doi: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2009-2.RLTS.T168358A6482345.en>

MALLQUI, H.E. 2017. Conteo de individuos de *Puya raimondii* mediante técnicas geomáticas en territorio de la comunidad campesina Cajamarquilla, Ancash. Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña 2: 79-86. doi: <https://doi.org/10.36580/rgem.i2.79-86>

MINAM, 2018. Mapa Nacional de Ecosistemas. Memoria descriptiva. Ministerio del Ambiente del Perú.

MONTESINOS-TUBÉE, D.B. 2014. Inventario y estado de conservación de *Puya raimondii* (Bromeliaceae) en el departamento de Moquegua, Perú. Chloris Chilensis 17: 1–9.

www.chlorischile.cl.

ORTIZ-CRESPO, F.I. 1986. Consideraciones sobre las migraciones de dos picaflores neotropicales. Hornero 12(4): 298-300

PAVÁN, L.I., J.E. JANKOWSKI & J.A. HAZLEHURST. 2020. Patterns of territorial space use by Shining Sunbeams (*Aglaeactis cupripennis*), tropical montane hummingbirds. J. Field Ornithol. 91: 1-12. doi: <https://doi.org/10.1111/jofo.12321>

RAIMONDI, A. 1874. El Perú. Parte Preliminar (Tomo I), Imprenta del Estado, Lima. Pág. 295-297.

RANTA, E., P. LUNDBERG & V. KAITALA. 2006. Ecology of populations. Cambridge University Press, Cambridge.

RAPPOLE, J.H., K.L. SCHUCHMANN. 2003. Ecology and evolution of Hummingbird population movements and migration. In: Berthold P., Gwinner E., Sonnenschein E. (eds) Avian Migration. Springer, Berlin, Heidelberg. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-662-05957-9_3

RESTREPO, M. 2015. Mecanismos de la reproducción sexual relacionados con la coexistencia de *Puya trianae* y *Puya nitida* (Bromeliaceae) en el parque nacional Natural Chingaza. Tesis de maestría. Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de Magíster en Ciencias – Biología. Universidad Nacional de Colombia

RIVERA, C.A. 1985. *Puya raimondii* Harms. Boletín de Lima 7(38): 85-91.

- RIVERS, M., S. BACHMAN, T. MEAGHER, E. LUGHADHA & N. BRUMMITT. 2010. Subpopulations, locations and fragmentation: applying IUCN red list criteria to herbarium specimen data. *Biodiversity and Conservation* 19(7): 2071-2085.
doi: <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9826-9>.
- SALAZAR, J. & F. VILLASANTE. 2012. Distribución geográfica y situación actual de *Puya raimondii* Harms en la Región de Arequipa-Perú. Octubre 2009–Marzo 2011. *Quad. Bot. Amb. Appl.*, 23: 31-39
- SALINAS, L., C. ARANA & M. SUNI. 2007. El néctar de especies de *Puya* como recurso para picaflores altoandinos de Ancash, Perú. *Revista Peruana de Biología* 14(1): 129-134. doi: <https://doi.org/10.15381/rpb.v14i1.2166>
- SCHNEIDER, A. 2003. GPS Visualizer. GPS Visualizer Base. Portland, Oregon, United States of America.
- SCHURR, F.M., W.J. BOND, G.F. MIDGLEY & S.I. HIGGINS. 2005. A mechanistic model for secondary seed dispersal by wind and its experimental validation. *Journal of Ecology*, 93: 1017-1028. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2005.01018.x>
- SENAMHI, 2017a. Datos históricos de la estación “Laive” de Yanacancha, Chupaca, Junín. Periodo 2011-2014. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Disponible en: https://www.senamhi.gob.pe/mapas/mapa-estaciones/_dat_esta_tipo.php?estaciones=000642 (Consulta en julio 2017).
- SENAMHI, 2017b. Datos históricos de la estación “San Juan de Jarpa” de San Juan de Jarpa, Chupaca, Junín. Periodo 2011-2014. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Disponible en: https://www.senamhi.gob.pe/mapas/mapa-estaciones/_dat_esta_tipo.php?estaciones=000594 (Consulta en julio 2017).
- SERNANP, 2017. Plan maestro del parque nacional del Huascarán 2017-2020. Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado. Perú.
- SOONS, M.B. 2006. Wind dispersal in freshwater wetlands: knowledge for conservation and restoration. *Applied Vegetation Science*, 9(2): 271–278. <https://doi.org/10.1111/j.1654-109X.2006.tb00676.x>
- VADILLO, G., M. SUNI & W. ROCA. 2007. Evaluación de la diversidad genética y morfológica de *Puya raimondii*. Serie de publicaciones de flora y fauna silvestre. Instituto Nacional de Recursos Naturales, Lima, Perú: 1-13.
- VADILLO, G. 2011. Bases para la conservación de *Puya raimondii* Harms (Bromeliaceae). Tesis de Maestría en Botánica Tropical. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

WELLS, J. & M. RICHMOND M. 1995. Populations, metapopulations, and species populations: What are they and who should care? *Wildlife Society Bulletin* (1973-2006), 23(3): 458-462.

YABLOKOV, A.V. 1987. *Populyatsionnaya biologiya* (Population Biology), Moscow: Vysshaya Shkola.

ZAVALETA E.H. 2017. *Puya raimondii* Harms del Santuario Nacional de Calipuy. *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña* 3: 113-119. doi: <https://doi.org/10.36580/rgem.i3.113-119>

ZUSCHLAG S.F. 2017. *Puya raimondii*: A study in the National Sanctuary of Calipuy in the Andes Mountains of northern Peru. A project in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Forestry. Oregon State University.

Citar este artículo como:

Prado-Aliaga, G.E., J.C. Salcedo-Aliaga, W.W. Vicuña-Zevallos, M.L. Suni-Ninataype. 2021. Las poblaciones de *Puya raimondii* de la provincia de Chupaca, Junín, Perú: propuesta de un método de delimitación espacial y evaluación del estado actual. *Chloris Chilensis*, Año 24 N°1. 94-118.

URL: www.chlorischile.cl.
