

## ANÁLISIS DE VIABILIDAD Y ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN PARA UNA POBLACIÓN DE *Astrocaryum perangustatum* (*Arecaceae*) A PARTIR DE MODELOS MATRICIALES

VIABILITY ANALYSIS AND CONSERVATION STRATEGIES FOR A POPULATION  
OF *Astrocaryum perangustatum* (ARECACEAE) AUSING MATRIX MODELS

Héctor Aponte<sup>1,2</sup>, Arturo Cama<sup>2</sup>

### RESUMEN

*Astrocaryum perangustatum* es una palmera endémica del Perú, que se distribuye en los valles interandinos del centro del país. Las poblaciones de esta especie se encuentran en permanente contacto con las actividades agrícolas y ganaderas realizadas por la población local, lo cual pone en riesgo su subsistencia. Con la finalidad de discutir el devenir de esta especie en las zonas boscosas y pastizales de una de sus localidades (Pozuzo, Pasco), se prepararon modelos estructurados matriciales de naturaleza determinista y estocástica. En cada modelo determinista se halló la tasa de crecimiento poblacional ( $\lambda$ ), la estructura estable de estadios y se hizo un análisis de sensibilidad de las variables de la matriz de transición. En los modelos estocásticos se hicieron simulaciones con diferentes niveles de variabilidad, analizando la tasa de crecimiento poblacional estocástica ( $\lambda_{st}$ ) y

la probabilidad de extinción. Finalmente, se realizaron simulaciones de estrategias de restauración de la población en pastizales mediante la reintroducción de plántulas y juveniles, y mediante el aumento de la supervivencia de los estadios más jóvenes. Los resultados obtenidos con los modelos propuestos muestran que las poblaciones en las zonas boscosas crecen bajo condiciones deterministas y estocásticas con baja variabilidad, mientras que las poblaciones en los pastizales presentan poca viabilidad en todos los escenarios, con probabilidades de extinción que superan incluso el 30%. Las simulaciones realizadas y el análisis de sensibilidad muestran que las mejores estrategias de restauración para la población en los pastizales consisten en el aumento de la supervivencia de los estadios más jóvenes (plántulas y juveniles 1) al mismo tiempo, así como la mantención de la supervivencia de los adultos. Se discute la factibilidad de las estrategias propuestas y el futuro de estas poblaciones.

<sup>1</sup> MUSEO DE HISTORIA NATURAL, UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS.

<sup>2</sup> ÁREA DE ECOLOGÍA, COORDINACIÓN CURSOS BÁSICOS. UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR.

**Palabras clave:** palmeras, dinámica de poblaciones, restauración, Pozuzo, modelamiento.

## ABSTRACT

*Astrocaryum perangustatum* is an endemic palm of Peru, distributed in the interandean valleys of this country. The populations of this species are constantly threaten by farming and livestock activities carried out by the local citizens. In order to discuss the future of this species in one of their locations (Pozuzo, Pasco), it was prepared deterministic and stochastic matrix models (structured populations models). In each model, the deterministic population growth rate ( $\lambda$ ) was found, along with the stable age structure and the sensitivity of the variables. In the case of the stochastic models, the stochastic growth rate ( $\lambda_{st}$ ) and the probability of extinction were calculated. Restoration scenarios (reintroduction and increase of seedlings and juvenile survival) were tested using the deterministic and stochastic models prepared. The results obtained show that the population grows in forest areas under deterministic and intermediate stochastic scenarios, but this changes with the increase of the stochasticity. The population in pasture areas has low viability with extinction probabilities even over the 30%. Simulations and sensitivity analyzes show that the best strategies to recover the population in pastures consist in increasing of the survival of the earlier stages (seedlings and juveniles 1) simultaneously, and the maintenance of adult survival. The feasibility of the proposed strategies and the future of these populations are discussed.

**Key words:** palms, population dynamics, restoration, Pozuzo, modeling.

## I. INTRODUCCIÓN

La familia de las palmeras (Arecaceae) es uno de los grupos más importantes de los boques tropicales (1). Esta familia se caracteriza por sus múltiples formas de crecimiento (desde palmeras pequeñas y multicaules, hasta muy grandes y monocaules), lo que les permite ocupar la mayor parte de los nichos disponibles en los bosques (2). Esta familia ha sido afectada gravemente por el cambio de uso de suelo del bosque con fines agrícolas y ganaderos, los cuales han destruido muchos de los hábitats donde estas especies se encontraban (3, 4) desplazando de esta forma a sus agentes dispersores (5, 6).

*Astrocaryum perangustatum* F. Kahn & B. Millan es una palmera endémica del Perú que se distribuye en los valles del Palcazú, Pichis, Perené, Ene y el del río Apurímac, en La Convención (Cusco) (7). Una de las localidades donde se puede encontrar esta especie es Pozuzo (Pasco, Perú), una zona que se caracteriza por su actividad ganadera. En dicha localidad podemos encontrar a la especie ocupando los pastizales y relictos de bosque que aún quedan en el área, donde la especie ha mostrado tener una gran adaptabilidad morfológica a las condiciones que la expone la deforestación (8). Sin embargo, su estructura poblacional y la abundancia en los parches en que se distribuye se han visto afectados por las actividades ganaderas y agroforestales (9). La población de esta especie en Pozuzo se ve cada vez más expuesta a las distintas fuentes de presión, sobre todo por la deforestación para la creación de áreas de cultivo agrícola y la quema constante de los pastizales para el renuevo del forraje. A pesar de ser una especie endémica, no cuenta con protección alguna, ya que su área de distribución no incluye áreas naturales protegidas por el Estado peruano. Por estas razones, es de suma

importancia conocer cuál es el posible devenir y la viabilidad de esta población y establecer estrategias que permitan recuperarla en las zonas afectadas.

Los datos obtenidos en investigaciones previas (9, 10) y las observaciones de campo nos permiten conocer el ciclo de vida que sigue esta especie en Pozuzo (figura 1). En las zonas boscosas, las plántulas pasan a los estadios juveniles y logran completar su ciclo vital hasta ser adultas; sin embargo, en los pastizales las plántulas no llegan a ser adultas (debido al pastoreo y a las quemas constantes), teniendo una supervivencia muy cercana a cero y haciendo que la abundancia de juveniles en los pastizales sea prácticamente nula. A pesar de la presión antrópica, los adultos en los pastizales no son talados, ya que su madera es muy dura y tiende a dañar las herramientas de los pobladores, lo que deja a los pastizales únicamente con plántulas y adultos. Hasta la fecha no se cuenta con monitoreos de la población de la especie, lo que no nos permite conocer directamente cuál es la dinámica de esta población. Sin embargo, una forma de inferir la viabilidad de las poblaciones, así como la mejor estrategia para conservarlas, es a partir de modelos

matemáticos. Dentro de los modelos más útiles y anteriormente utilizados para poblaciones de palmeras tenemos a los de tipo estructurado (11). Estos modelos permiten conocer el desarrollo de las poblaciones considerando las tasas de supervivencia, mortalidad y fecundidad propias de cada estadio que compone a la población (12). En la actualidad existen programas informáticos que permiten obtener resultados de simulaciones con estos modelos de forma muy eficaz y rápida, inclusive frente a escenarios donde existe variabilidad (estocasticidad) medioambiental (13, 14).

El objetivo del presente trabajo fue el de analizar la viabilidad de la población de *Astrocaryum perangustatum* de Pozuzo, a partir de modelos poblacionales estructurados. Estos modelos fueron probados en escenarios deterministas y estocásticos con parámetros propios de la población en las zonas boscosas (relictos) y pastizales del área de estudio. Asimismo, haciendo uso de estos modelos, se crean escenarios de restauración de esta población *in silico*, de forma que se pueden conocer y elegir las mejores estrategias que nos permitirían recuperar a esta población.

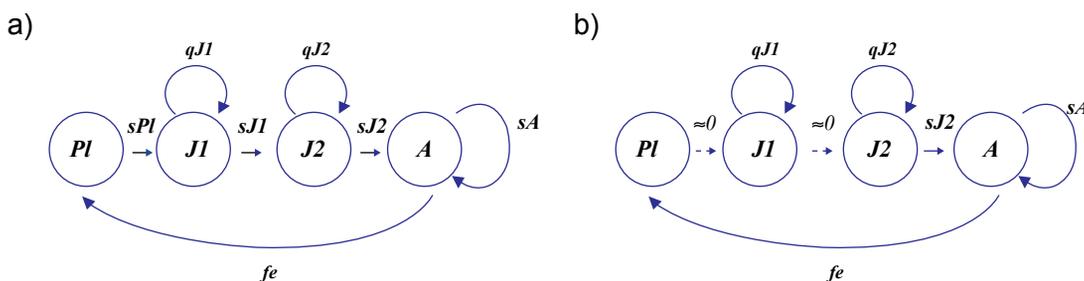


FIGURA 1. CICLOS DE VIDA DE *ASTROCARYUM PERANGUSTATUM* EN ZONAS BOSCOSAS (A) Y PASTIZALES (B) DE POZUZO. sPL = SUPERVIVENCIA DE PLÁNTULAS; sJ1 = SUPERVIVENCIA DE JUVENIL 1; sJ2 = SUPERVIVENCIA DE JUVENIL 2; sA = SUPERVIVENCIA DE ADULTOS; FE = FECUNDIDAD DE LOS ADULTOS; qJ1 = PROPORCIÓN DE INDIVIDUOS QUE SE QUEDAN COMO J1; qJ2 = PROPORCIÓN DE INDIVIDUOS QUE SE QUEDAN COMO J2; T = TIEMPO; PL = NÚMERO DE PLÁNTULAS; J1 = NÚMERO DE JUVENIL 1; J2 = NÚMERO DE JUVENIL 2; A = NÚMERO DE ADULTOS.

## II. MÉTODOS

### CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN

En esta especie se conocen cuatro estadios (8): a) plántulas (PI), que se caracterizan por ser individuos acaules y poseen hojas bífidas; b) juvenil 1 (J1), que son palmeras acaules con el limbo irregularmente dividido en algunas pinnas en su parte proximal y medial, y la parte distal del limbo bífida y con pinnas bífidas en hojas de 1 m a 2 m de longitud; c) juvenil 2 (J2), que corresponden a individuos acaules, con el limbo totalmente dividido en pinnas, de frondas entre 2 m y 4 m, y d) adultos (A), con tallo conspicuo, con el limbo de las frondas regularmente dividido en pinnas dispuestas en un solo plano, con presencia de flores e inflorescencias, y cuyas frondas son generalmente mayores a los 4 m. Esta población tiene una distribución en parches en Pozuzo, donde alcanza densidades promedio de 2 adultos (1-5), 2 juveniles 1 (0-4) y 3 plántulas (0-21) en 400 m<sup>2</sup> de los relictos de bosque (con valores promedio muy cercanos a cero para juvenil 2). En las zonas de pastizales se encuentran en promedio 1 adulto (1-4) y 4 plántulas (0-64) en 400 m<sup>2</sup>, sin reportar individuos juveniles 1 y 2 (9).

### PREPARACIÓN DE LOS MODELOS MATRICIALES

Los cuatro estadios descritos fueron utilizados para diseñar modelos matriciales estructurados (12) bajo condiciones ambientales constantes (modelos deterministas) y variables (modelos estocásticos) (figura 2). Las cantidades iniciales de individuos para los diferentes estadios corresponden a las encontradas como promedio en los parches evaluados en zonas de bosque y pastizales de Pozuzo (9). Las supervivencias fueron estimadas a partir de la estructura de poblaciones descrita

para la zona de estudio. La supervivencia de la clase  $i$  fue estimada dividiendo la proporción de individuos de la clase  $i+1$  entre la proporción de los individuos de la clase  $i$ , como se ha propuesto en estudios previos (11) (tabla 1). Este método asume que la duración de las clases de edad es la misma, lo cual no es real para esta especie (el paso de las plántulas a juveniles 1 es muy rápido, mientras que el paso de juvenil 1 a juvenil 2 puede tomar varios años, H. Aponte obs. pers). Por esta razón, se consideraron proporciones de individuos juveniles que no pasaban a los estadios siguientes en cada paso de tiempo ( $qJ1$  para los que se quedan como juveniles 1 sin pasar a juvenil 2, y  $qJ2$  para los que se quedan como juveniles 2 sin pasar a ser adultos). Las tasas  $qJ1$  y  $qJ2$  corresponden a la mitad de la tasa de supervivencia de los juveniles 1 ( $sJ1$ ) y juveniles 2 ( $sJ2$ ), respectivamente, quedando las tasas  $sJ1$  y  $sJ2$  como la mitad de la original. Las palmeras en estadio juvenil 2 y adultas mueren cuando son quemadas o taladas, cosa que sucede con mayor frecuencia en los pastizales; pero que no llega a ser una práctica común en los pobladores. En consecuencia, se asumió que la  $sJ2$  y adultos fue de 0,5 (el otro 0,5 pasó a  $qJ2$ ) y 0,99 respectivamente. Tasas de supervivencia similares han sido observadas en otras palmeras como *Hexopetium mexicanum* (anteriormente *Astrocaryum mexicanum*) e *Iriartea deltoidea*, donde las supervivencias de los adultos es cercana a 1 y la de las plántulas es muy baja (15, 16), lo cual concuerda con observaciones de campo realizadas para *Astrocaryum perangustatum* en Pozuzo.

TABLA 1. Parámetros de los modelos propuestos. BOS = Bosque, PAS = Pastizal, BOS-E = Bosque con estocasticidad de supervivencia y de la fecundidad, PAS-E = Pastizal con estocasticidad de supervivencia y de la fecundidad. sPl = supervivencia de plántulas; sJ1 = supervivencia de juvenil 1; sJ2 = supervivencia de juvenil 2; sA = supervivencia de adultos; fe = fecundidad de los adultos; qJ1 = proporción de individuos que se quedan como Juvenil 1; qJ2 = proporción de individuos que se quedan como Juvenil 2; t = tiempo; Pl = Número de plántulas; J1 = Número de juvenil 1; J2 = Número de Juvenil 2; A = Número de adultos. Para los modelos estocásticos supervivencias = promedio (desviación estándar), fecundidad = promedio (valor aleatorio [0;2]).

	BOS	PAS	BOS-E	PAS-E
fe	1,35	3,83	1,35r(2)	3,83r(2)
sPl	0,31	0,04	0,31 (0,46)	0,04 (0,19)
sJ1	0,05	0,0005	0,05 (0,21)	0,0005 (0,002)
sJ2	0,5	0,4	0,5 (0,49)	0,4 (0,48)
sA	0,99	0,99	0,99 (0,09)	0,99 (0,09)
qJ1	0,05	0,0005	0,05 (0,21)	0,0005 (0,002)
qJ2	0,5	0,4	0,5 (0,49)	0,4 (0,2)
P1	3	4	3	4
J1	2	0	2	0
J2	1	0	1	0
A	2	2	2	2

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & fe \\ sPl & qJ1 & 0 & 0 \\ 0 & sJ1 & qJ2 & 0 \\ 0 & 0 & sJ2 & sA \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} Pl_t \\ J1_t \\ J2_t \\ A_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Pl_{t+1} \\ J1_{t+1} \\ J2_{t+1} \\ A_{t+1} \end{pmatrix}$$

FIGURA 2. MODELO MATRICIAL ESTRUCTURADO DE LA POBLACIÓN DE *ASTROCARYUM PERANGUSTATUM* EN POZUZO. sPl = SUPERVIVENCIA DE PLÁNTULAS; sJ1 = SUPERVIVENCIA DE JUVENIL 1; sJ2 = SUPERVIVENCIA DE JUVENIL 2; sA = SUPERVIVENCIA DE ADULTOS; FE = FECUNDIDAD DE LOS ADULTOS; qJ1 = PROPORCIÓN DE INDIVIDUOS QUE SE QUEDAN COMO JUVENIL 1; qJ2 = PROPORCIÓN DE INDIVIDUOS QUE SE QUEDAN COMO JUVENIL 2; T = TIEMPO; PL = NÚMERO DE PLÁNTULAS; J1 = NÚMERO DE JUVENIL 1; J2 = NÚMERO DE JUVENIL 2; A = NÚMERO DE ADULTOS

Con los datos descritos se prepararon modelos estocásticos donde todas las supervivencias eran afectadas por la estocasticidad ambiental de forma proporcional a su valor. En estos modelos las supervivencias siguen una distribución beta (distribución continua acotada entre cero y uno) con un promedio similar al del modelo determinista y con desviación estándar (DS) en dos niveles: a) Un

nivel alto, donde DS es un valor muy cercano a  $\sqrt{(\text{promedio} \times (1 - \text{promedio}))}$  (valor límite de la DS en una distribución Beta) y b) un nivel medio, donde DS fue DS/2. La estocasticidad del parámetro de fecundidad fue añadida en un tercer modelo estocástico y estuvo representada por el promedio de la fecundidad multiplicado por un valor aleatorio entre 0 y 2, de forma que la cantidad de plántulas

producidas y que se establecen puede ser nula o duplicarse, como ocurre en la mayor cantidad de parches muestreados de esta población (9).

## SIMULACIONES

### A. ESCENARIOS DETERMINISTAS Y ESTOCÁSTICOS

Los modelos fueron introducidos en el programa Unified Life Models (ULM) V 4.1 (13), donde se obtuvieron las tasas de crecimiento poblacional ( $\lambda$ ) para los modelos deterministas y la tasa de crecimiento estocástica poblacional ( $\lambda_{st}$ ) para los modelos estocásticos en un periodo equivalente a 50 años.

Para cada modelo determinista se halló la estructura estable de clases que permite conocer el momento en el que se estabiliza la  $\lambda$ . Se halló la sensibilidad de las variables incluidas en los modelos, entendiendo por sensibilidad de una variable  $x$  ( $S_x$ ) como la variabilidad de  $\lambda$  debido a los cambios de la variable  $x$ , y calculada como:

$$S_x = \frac{\delta\lambda}{\delta x}$$

Para los modelos estocásticos se hicieron simulaciones de Montecarlo (50 generaciones, 100 repeticiones) y se halló  $\lambda_{st}$  bajo tres escenarios: a) nivel alto de estocasticidad, b) nivel medio de estocasticidad y c) estocasticidad de la supervivencia y fecundidad, tal y como se detalla en la sección anterior. Se halló para cada modelo la probabilidad de extinción (PE), que corresponde a la proporción de trayectorias que se extinguieron en  $N$  generaciones con respecto al total de trayectorias.

### B. ESCENARIOS DE RESTAURACIÓN

A fin de conocer cuáles serían los efectos de un plan de manejo sobre la población de los pastizales, se simuló el crecimiento poblacional bajo dos estrategias de restauración en un escenario determinista. La primera consistió en simular la restauración mediante la repoblación de los parches con plántulas y juveniles en tres situaciones diferentes: a) repoblación con 32 plántulas, b) repoblación con 16 juveniles 1 y c) repoblación con 32 plántulas y 16 juveniles 1. La segunda estrategia consistió en aumentar la supervivencia de las plántulas (en un intervalo de [0.04, 0.5]) y juveniles (en un intervalo de [0.0005, 0.1]) de forma factorial, haciendo un análisis de la evolución de  $\lambda$  conforme cambiaba la supervivencia de los estadios. Esta última estrategia se da por ejemplo mediante la creación de áreas de protección donde las actividades ganaderas han sido reducidas al máximo.

Los mejores escenarios (aquellos donde se obtuvo  $\lambda > 1$ ) fueron testados bajo condiciones de estocasticidad de supervivencia (media, alta) y de la supervivencia y fecundidad (alta + fecundidad). En estos tres escenarios estocásticos se hizo un análisis del  $\lambda_{st}$ . Estas evaluaciones no se realizaron con las poblaciones en las zonas boscosas, ya que las  $\lambda$  obtenidas fueron mayor que 1 bajo condiciones deterministas y estocásticas medias (ver más adelante en resultados).

Los datos obtenidos en cada uno de los escenarios de esta sección y la anterior (escenarios deterministas y estocásticos) fueron llevados a Excel ®Microsoft, donde se hicieron gráficos de las simulaciones.

### III. RESULTADOS

#### A. ESCENARIOS DETERMINISTAS Y ESTOCÁSTICOS

Los datos obtenidos para  $\lambda$  en los modelos deterministas y estocásticos se muestran en la tabla 2. La aplicación del modelo para 50 generaciones muestra que la población en los pastizales bajo modelos deterministas y estocásticos disminuye ( $\lambda = 0.99$ ,  $\lambda_{st} = 0.99$ ,  $\lambda_{st} = 0.95$ ,  $\lambda_{st} = 0.96$  para los modelos deterministas, estocasticidad nivel medio, estocasticidad nivel alto y estocasticidad de la supervivencia + fecundidad, respectivamente). En algunos casos, la población desaparece alrededor de los 20 años (figura 3 y 4). La PE para la población en pastizales fue más alta en los modelos de mayor estocasticidad (PE = 0.01, PE = 0.31 y PE = 0.27 para los modelos con estocasticidad nivel medio, estocasticidad nivel alto y estocasticidad de la supervivencia + fecundidad respectivamente) (tabla 3). Estos resultados nos indican que la viabilidad de esta población es pastizales es baja.

TABLA 2. Valores de la tasa de crecimiento poblacional ( $\lambda$ ) y la estructura estable de edades para los modelos deterministas en zonas boscosas y pastizales.  
 PI = Proporción de plántulas;  
 J1 = Proporción de juvenil 1;  
 J2 = Proporción de juvenil 2; A = Proporción de adultos.

	Zonas boscosas	Pastizales
$\lambda$	1,01	0,99
PL	48,00	76,00
J1	15,00	3,00
J2	1,00	0,00
A	36,00	19,00

La población en las zonas boscosas crece bajo condiciones deterministas ( $\lambda = 1.01$ ) (figura 3B). Bajo escenarios estocásticos,  $\lambda_{st}$  varía según las condiciones de estocasticidad, siendo mayor que 1 cuando el nivel de estocasticidad es medio, cosa que no se repite en escenarios con mayor estocasticidad ( $\lambda_{st} = 1.08$ ,  $\lambda_{st} = 0.96$ ,  $\lambda_{st} = 0.96$  para los modelos con estocasticidad nivel medio, estocasticidad nivel alto y estocasticidad de la supervivencia + fecundidad, respectivamente) (figura 5). La PE para la población en zonas boscosas fue más alta en los modelos de mayor estocasticidad (PE = 0.17, PE = 0.32 y PE = 0.24 para los modelos con estocasticidad nivel medio, estocasticidad nivel alto y estocasticidad de la supervivencia + fecundidad, respectivamente) (tabla 3). En este caso, la viabilidad de las poblaciones es intermedia y se ve afectada negativamente por la estocasticidad.

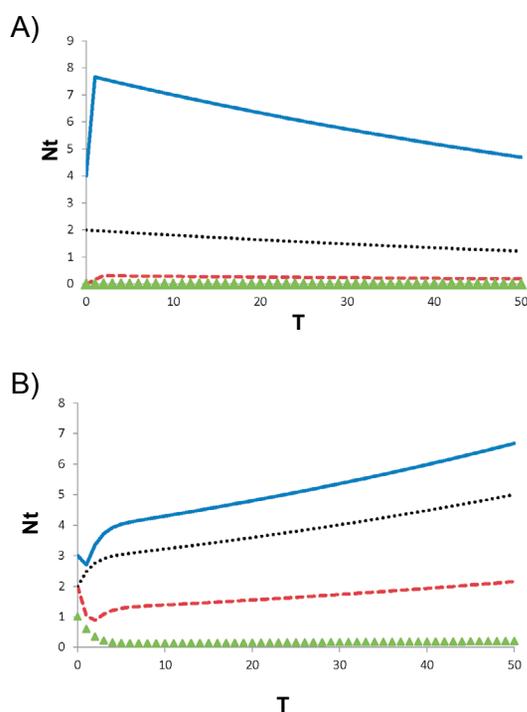
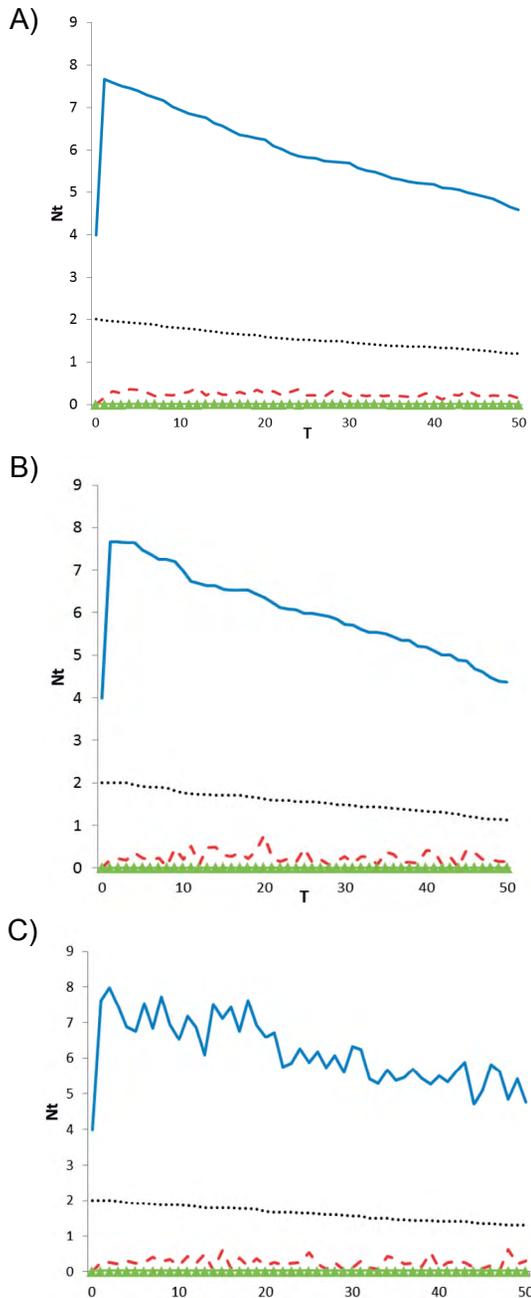
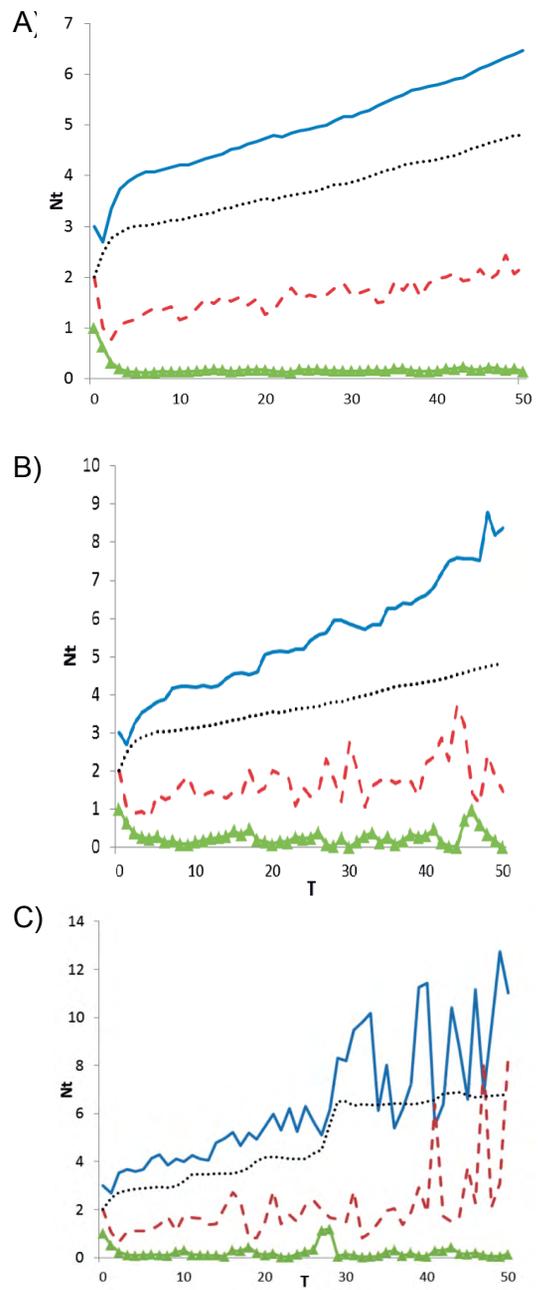


FIGURA 3. SIMULACIÓN DEL CRECIMIENTO POBLACIONAL DE *ASTROCARYUM PERANGUSTATUM* EN PASTIZALES (A) Y ZONAS BOSCOSAS (B) UTILIZANDO MODELOS DETERMINISTAS. (--) PLÁNTULAS; (•••) ADULTOS; (- - -) JUVENIL 1, (▲) JUVENIL 2. NT = NÚMERO DE INDIVIDUOS EN EL TIEMPO T; T = TIEMPO EN AÑOS.



**FIGURA 4.** SIMULACIÓN DEL CRECIMIENTO POBLACIONAL DE *ASTROCARYUM PERANGUSTATUM* PARA 50 GENERACIONES EN PASTIZALES DE POZUZO UTILIZANDO MODELOS ESTOCÁSTICOS. A) ESTOCASTICIDAD DE SUPERVIVENCIA INTERMEDIA; B) ESTOCASTICIDAD DE LA SUPERVIVENCIA MÁXIMA; C) ESTOCASTICIDAD DE LA SUPERVIVENCIA MÁXIMA Y ESTOCASTICIDAD REPRODUCTIVA. (---) PLÁNTULAS; (•••) ADULTOS; (- - -) JUVENIL 1, (▲) JUVENIL 2.  $N_t$  = NÚMERO DE INDIVIDUOS EN EL TIEMPO  $T$ ;  $T$  = TIEMPO EN AÑOS.



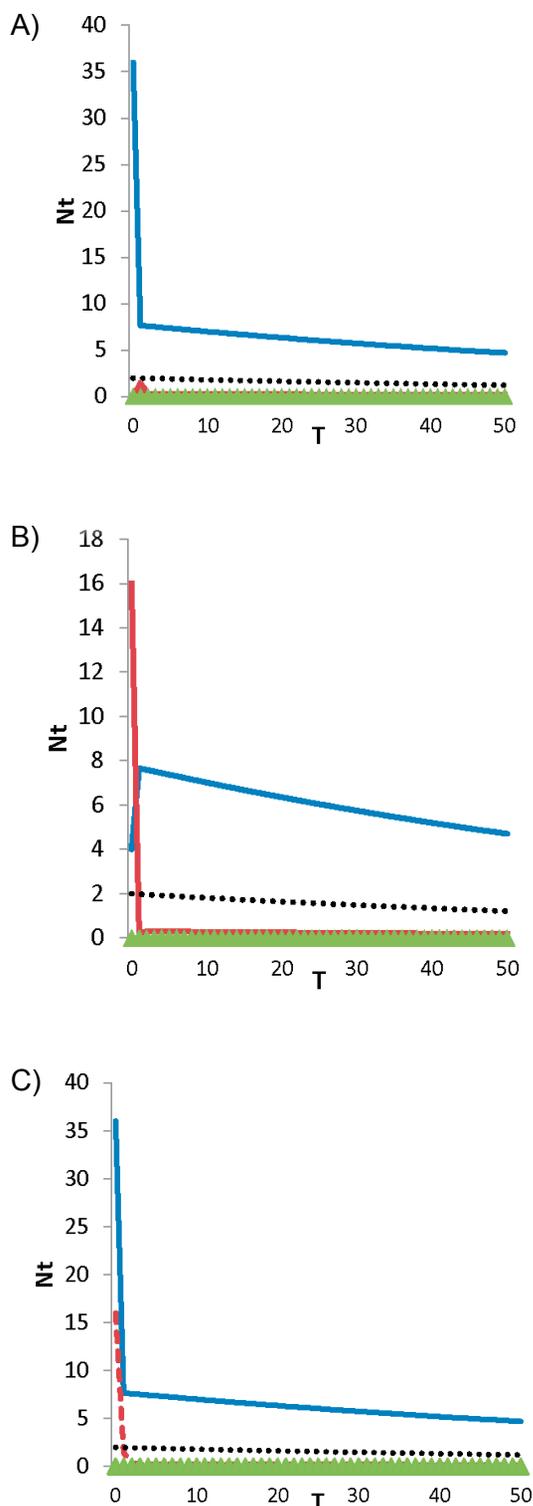
**FIGURA 5.** SIMULACIÓN DEL CRECIMIENTO POBLACIONAL DE *ASTROCARYUM PERANGUSTATUM* PARA 50 GENERACIONES EN ZONAS BOSCOSAS DE POZUZO UTILIZANDO MODELOS ESTOCÁSTICOS. A) ESTOCASTICIDAD DE SUPERVIVENCIA INTERMEDIA; B) ESTOCASTICIDAD DE LA SUPERVIVENCIA MÁXIMA; C) ESTOCASTICIDAD DE LA SUPERVIVENCIA MÁXIMA Y ESTOCASTICIDAD REPRODUCTIVA. (—) PLÁNTULAS; (•••) ADULTOS; (- - -) JUVENIL 1, (▲) JUVENIL 2.  $N_t$  = NÚMERO DE INDIVIDUOS EN EL TIEMPO  $T$ ;  $T$  = TIEMPO EN AÑOS.

**TABLA 3.** Probabilidad de extinción (PE) y tasa de crecimiento poblacional estocástico ( $\lambda_{st}$ ) para los modelos estocásticos en el Bosque (BOS) y en el pastizal (PAS) bajo diferentes escenarios de estocasticidad.

DS/2 = Estocasticidad de supervivencia con DS/2, 100 = Estocasticidad de la supervivencia con DS alta;  
 DS+fe = Estocasticidad con DS alta y estocasticidad de la fecundidad.

		PE	$\lambda_{st}$
Pasto	DS/2	0,01	0,99
	DS	0,31	0,95
	DS+fe	0,27	0,97
Bosque	DS/2	0,00	1,01
	DS	0,32	0,96
	DS+fe	0,22	0,98

En los modelos deterministas la estructura estable de edades tuvo en mayor proporción a las plántulas, seguido de los adultos, juveniles 1 y juveniles 2 (tabla 2). El análisis de sensibilidad de los modelos muestran que las variables más sensibles son la supervivencia de los adultos (0,9225 y 0,998 como sensibilidad para la supervivencia de los adultos en zonas boscosas y en pastizales, respectivamente) y la supervivencia de los juveniles 1 (0,3887 y 0,106 como sensibilidad para la supervivencia de los juveniles 1 en zonas boscosas y en pastizales, respectivamente) (tabla 4).



**FIGURA 6.** (DERECHA) SIMULACIÓN DEL CRECIMIENTO POBLACIONAL DE *ASTROCARYUM PERANGUSTATUM* PARA 50 GENERACIONES EN PASTIZALES UTILIZANDO MODELOS DETERMINISTAS FRENTE A ESCENARIOS DE REINTRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS Y JUVENILES. A) REINTRODUCCIÓN DE 32 PLÁNTULAS; B) REINTRODUCCIÓN DE 16 JUVENILES 1, C) REINTRODUCCIÓN DE 32 PLÁNTULAS Y 16 JUVENILES 1. (—) PLÁNTULAS; (•••) ADULTOS; (- - -) JUVENIL 1, (▲) JUVENIL 2. N<sub>T</sub> = NÚMERO DE INDIVIDUOS EN EL TIEMPO T; T = TIEMPO EN AÑOS.

**TABLA 4.** Sensibilidades de los modelos deterministas para las zonas boscosas y pastizales. sPI = supervivencia de plántulas; sJ1 = supervivencia de juvenil 1; sJ2 = supervivencia de juvenil 2; sA = supervivencia de adultos; fe = fecundidad de los adultos; qJ1 = proporción de individuos que se quedan como juvenil 1; qJ2 = proporción de individuos que se quedan como juvenil 2; t = tiempo; PI = número de plántulas; J1 = número de juvenil 1; J2 = número de juvenil 2; A = número de adultos.

	Zonas boscosas	Pastizales
sPI	0,0627	0,0013
sJ2	0,0389	0,0001
sJ1	0,3887	0,1060
sA	0,9225	0,9980
qJ2	0,0380	0,0001
qJ1	0,0202	0,0001
fe	0,0144	0,0000

## B. ESCENARIOS DE RESTAURACIÓN

En las simulaciones, la introducción de individuos, sea plántulas o juveniles en los pastizales, no permitió que la población pueda recuperarse y mantenerse en el tiempo. Las plántulas y los adultos fueron siempre los más abundantes, mientras que las plántulas o juveniles introducidos en el modelo disminuyen rápidamente (en menos de 5 años). Los adultos y las plántulas muestran un decrecimiento a lo largo de los años (figura 6).

Por otro lado, el aumento de la supervivencia bajo condiciones deterministas permitió obtener valores de  $\lambda > 1$  cuando la supervivencia de los juveniles 1 (sJ1) fue mayor de 0,05 y la supervivencia de las plántulas (sPI) fue mayor de 0,1 (tabla 5, figura 7), alcanzando y sobrepasando inclusive a la  $\lambda$  de los bosque. El aumento de la sJ1 y de sPI por separado no permitió que la  $\lambda$  sea mayor que 1 en ninguna de las simulaciones. Al aplicar estocasticidad a los escenarios seleccionados (cuando la  $\lambda > 1$ ) fue posible obtener valores de la  $\lambda_{st} > 1$  cuando el nivel de estocasticidad fue medio, lo que cambió bajo condiciones de estocasticidad alta y de estocasticidad de la supervivencia + fecundidad, donde  $\lambda_{st}$  se hizo  $< 1$  en gran parte de los escenarios (tabla 6).

**TABLA 5.** Tasa de crecimiento poblacional en modelos deterministas bajo diferentes condiciones de la supervivencia de las plántulas (sPI) y de los juveniles 1 (sJ1). Entre paréntesis los valores de la supervivencia.

	sPI (0,04)	sPI (0,1)	sPI (0,2)	sPI (0,3)	sPI (0,4)	sPI (0,5)
sJ1 (0,0005)	0,990	0,990	0,990	0,990	0,991	0,991
sJ1 (0,001)	0,990	0,990	0,990	0,990	0,991	0,991
sJ1(0,01)	0,991	0,992	0,995	0,998	1,000	1,002
sJ1 (0,05)	0,995	1,003	1,014	1,025	1,035	1,045
sJ1 (0,1)	1,000	1,014	1,035	1,050	1,069	1,085

TABLA 6. Tasa de crecimiento poblacional en modelos estocásticos bajo condiciones que dieron  $\lambda > 1$  en las simulaciones deterministas. Entre paréntesis, los valores de la supervivencia de las plántulas (sPI) y de los juveniles 1 (sJ1). En negrita, los escenarios donde  $\lambda$  pasó a tener valores menores a 1.

		sPI (0,1)	sPI (0,2)	sPI (0,3)	sPI (0,4)	sPI (0,5)
es50	sJ1 (0,01)					1,003
	sJ1 (0,05)	<b>0,980</b>	1,003	1,017	1,024	1,025
	sJ1 (0,1)	1,003	1,023	1,044	1,060	1,075
es100	sJ1 (0,01)					<b>0,983</b>
	sJ1 (0,05)	<b>0,981</b>	<b>0,984</b>	<b>0,991</b>	<b>0,996</b>	<b>0,997</b>
	sJ1 (0,1)	<b>0,990</b>	1,007	1,021	1,025	1,037
es100+fe	sJ1 (0,01)					0,988
	sJ1 (0,05)	<b>0,976</b>	<b>0,985</b>	<b>0,992</b>	1,002	1,009
	sJ1 (0,1)	<b>0,988</b>	1,001	1,009	1,026	1,039

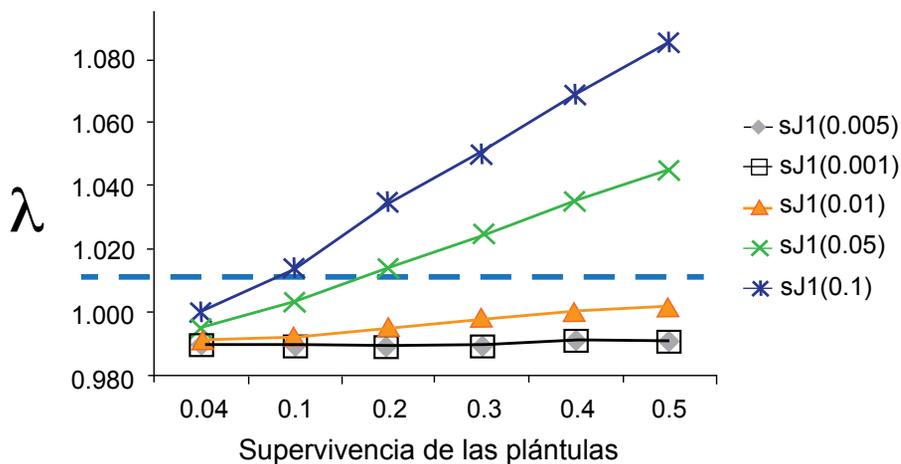


FIGURA 7. EVOLUCIÓN DE LA TASA DE CRECIMIENTO POBLACIONAL ( $\lambda$ ) PARA LAS POBLACIONES DEL PASTIZAL, CONFORME VARÍAN LOS VALORES DE SUPERVIVENCIA DE LAS PLÁNTULAS Y DE JUVENILES 1 (sJ1). LA LÍNEA CORTADA REPRESENTA  $\lambda$  EN LAS ZONAS BOSCOSAS.

## IV. DISCUSIÓN

### SOBRE EL MODELO PROPUESTO

La forma y estructura del modelo propuesto para la especie representa las situaciones observadas durante estudios previos. En los pastizales, las supervivencias de las plántulas y juveniles 1 es casi nula, debido sobre todo a las actividades agropecuarias que se realizan en el área, lo que hace que la

población no crezca y que el rendimiento de la población disminuya a lo largo de los años. Una de las limitaciones del modelo es la ausencia de un factor que permita controlar el crecimiento poblacional (considerado como capacidad de carga). Sin embargo, los datos obtenidos en los cuatro casos muestran resultados bastantes compatibles con la abundancia de la población en parches evaluados con anterioridad en el área de estudio (9).

La forma de obtención de las tasas de supervivencia y la construcción de modelos estructurados a partir de datos de la estructura poblacional de palmeras ha sido discutida anteriormente (11). Patrones de supervivencia similares han sido observados para otras palmeras (*Hexopetium mexicanum* e *Iriartea deltoidea*) (15,16); sin embargo, resulta fundamental realizar estudios y monitoreos de campo que confirmen las tasas de supervivencia propuestas.

La variabilidad ambiental en los modelos estocásticos propuestos (representada mediante la variabilidad en los parámetros de supervivencia) va a ser un factor importante a considerar en los próximos años. Los recientes cambios climáticos muestran que los fenómenos meteorológicos se hacen cada vez más variables y extremos, pudiendo afectar gravemente la estructura comunitaria en zonas como en la que vive esta especie (17, 18). Los modelos presentados en el presente estudio muestran cómo la estocasticidad juega un rol importante sobre la dinámica de la población, disminuyendo el valor de la  $\lambda$  cuando aumenta la variabilidad de la supervivencias y la fecundidad. Probablemente, la variación de las condiciones ambientales no afecte de la misma forma a cada estadio de la población. Se sabe que tanto las plántulas como los adultos presentan adaptaciones morfológicas a las condiciones ambientales a las que son sometidas (8), por lo que se esperarían que la variabilidad les afecte proporcionalmente, tal y como es asumido en los modelos propuestos. Próximas investigaciones permitirán conocer si esta asunción es correcta.

En los modelos con estocasticidad en la fecundidad, la probabilidad de extinción fue menor que en los modelos donde solo se consideraba la estocasticidad alta en la supervivencia (tabla 3). Esto se

puede explicar por la forma como ha sido planteada la variable de estocasticidad en la fecundidad, la cual permite no solo la nulidad de la producción de plántulas, sino también la posibilidad de duplicación, lo que disminuye las probabilidades de extinción en los modelos planteados. Variables que pueden añadir estocasticidad a la fecundidad y establecimiento de las plántulas son, entre otras, la presencia de especies invasoras en el área de estudio (10) y factores que afecten el establecimiento y la viabilidad de las semillas, como la desaparición de agentes dispersores por la deforestación, factores de los cuales se conoce muy poco para la especie en estudio.

#### SOBRE LAS ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN IDENTIFICADAS

Las simulaciones realizadas con la introducción de individuos de estadios más jóvenes (práctica frecuente en procesos de restauración de poblaciones vegetales) demuestran que no serían exitosas o, al menos, no sostenibles en el tiempo para esta particular especie. Por otro lado, el aumento de la supervivencia de estos estadios de forma paralela si permitiría aumentar la  $\lambda$ . Traducido en estrategias de conservación, esto significa que para poder recuperar poblaciones de esta especie o de palmeras que tengan situaciones similares en pastizales, debe procurarse que las plántulas tengan éxito en el establecimiento y desarrollo, y que los juveniles 1 logren su madurez formando estructuras morfológicas que les permitan resistir las condiciones del ambiente hostil al cual son sometidas con la deforestación. Asimismo, se deben realizar de forma paralela investigaciones que permitan conocer las necesidades fisiológicas (a nivel de luz, agua y suelo) y ecológicas (interacción con otras especies de plantas y agentes dispersores) de la especie, sobre todo a nivel de los estadios más jóvenes.

El análisis de sensibilidad realizado en los modelos deterministas mostró que una de las variables más sensibles es la supervivencia de los adultos. Considerando que esta variable es casi 1 (0,99), controlar las actividades que puedan afectar a los adultos que corresponden a eventos estocásticos (como la quema y la tala) es muy importante, ya que esto afectaría a la fecundidad y establecimiento de las plántulas. Algunas especies de palmeras como *Hexopetium mexicanum* producen adultos que pueden inclusive llegar a los 137 años (19); no sabemos si este es el caso de *Astrocaryum perangustatum*, pero este dato refuerza la asunción del presente estudio y de las observaciones de campo de que la supervivencia de los adultos es cercana a 1 al menos en un periodo de 50 años.

La segunda variable más sensible es la supervivencia de los juveniles 1, lo que significa que nuestros esfuerzos de conservación deben ir dirigidos también en asegurar la supervivencia de los juveniles, resultado concordante con las simulaciones realizadas. Esto significa que para lograr mantener a la población de *Astrocaryum perangustatum* de Pozuzo, es imprescindible detener las fuentes de presión y degradación de los bosques y pastizales, causadas principalmente por la deforestación realizada con fines agropecuarios, labor que requiere, además de procesos de sensibilización, la generación de alternativas económicas más sostenibles para los pobladores de la zona. Esto podría lograrse mediante el establecimiento y delimitación de zonas en las cuales ya no se realicen actividades agropecuarias, permitiendo así la autorregeneración de las poblaciones en pastizales. El solo hecho de abandonar las actividades agropecuarias en algunos pastizales seleccionados elevaría inmediatamente la supervivencia de las plántulas y juveniles, además de someterlos a condiciones donde las

plántulas generarían mayor cantidad de hojas permitiendo un crecimiento más rápido, y donde los adultos generan más plántulas ya que la floración es más frecuente (8). Este escenario de abandono de pastizales podría considerarse conflictivo, en especial en zonas netamente ganaderas como Pozuzo. Sin embargo, la creciente demanda de actividades económicas como el ecoturismo, se muestran como actividades alternativas altamente rentables. Cabe mencionar que en los últimos años la actividad turística muestra una tendencia creciente, al incrementarse el número de arribos a la provincia de Oxapampa de 18.000 turistas en 2001 a más de 21 000 visitantes hacia el 2005 (20). Estos turistas tienen como principales destinos el Parque Nacional Yanachaga Chemillén y el distrito de Pozuzo, lo cual presenta al ecoturismo como una oportunidad para promover actividades de conservación de la biodiversidad de la zona, a través de una visión de turismo sostenible. Casos similares sobre protección de palmeras se han realizado en Bolivia con palmeras como *Trithrinax schizophylla* "saro", de la cual se utilizan las fibras y que se ha logrado proteger a partir de acciones conjuntas para el aprovechamiento sustentable del recurso (21). Si bien es cierto que no se desarrolla un uso directo masivo de *A. perangustatum*, como en los ejemplos citados, en ambos casos se superó una situación de amenaza del recurso a través de una buena gestión en comunidad, la adopción de políticas públicas y participación de organizaciones interesadas en la conservación de especies, fórmula aplicada para combatir la expansión de pastizales a causa de la ganadería no sustentable. En el Perú existe el Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático (<http://bosques.minam.gob.pe/>), y la posibilidad de gestionar bajo administración comunal aquellas

extensiones de bosque y pastizales mencionadas en este trabajo.

Los modelos propuestos en el presente estudio no han sido preparados para predecir el número de individuos de la especie de estudio en Pozuzo, sino como una herramienta para discutir la viabilidad de una población de *A. perangustatum*. En ese sentido, los modelos deterministas y estocásticos muestran que en la zona de pastizal la población es vulnerable y poco viable sin protección, mientras que en las zonas boscosas la población crece cuando la estocasticidad es baja o nula. De crearse más pastizales con fines agrícolas, la viabilidad de la población total en Pozuzo sería más baja. En el Perú, el 87% de plantas endémicas tienen su área de distribución fuera de áreas naturales protegidas (22), siendo *A. perangustatum* una de ellas. Algunas poblaciones se encuentran situadas en zonas urbanas y conviven con actividades agropecuarias. El presente trabajo representa una hipótesis a tomar en cuenta para tomar medidas de conservación en esta especie y otras especies de palmera que tengan patrones similares de amenaza.

## V. CONCLUSIONES

A partir de modelos estructurados se crearon escenarios deterministas y

estocásticos, donde fue posible apreciar que la población de *Astrocaryum perangustatum* en las zonas de pastizales de Pozuzo es poco viable y disminuye en el tiempo, con valores de la  $\lambda < 1$  y de la  $\lambda_{st} < 1$ . La población en las zonas boscosas presenta tasas de crecimiento poblacional ( $\lambda$  y  $\lambda_{st}$ ) mayores que 1 cuando la estocasticidad es nula o media, lo que indica que el aumento de la variabilidad ambiental podría afectar inclusive a las poblaciones que subsisten en las zonas boscosas. Utilizando el análisis de sensibilidad y de evolución de la  $\lambda$  y  $\lambda_{st}$  bajo diferentes escenarios, fue posible determinar que la mejor estrategia de conservación para las poblaciones de esta especie en Pozuzo consiste en la creación de áreas que permitan protegerla, favoreciendo así el establecimiento y desarrollo de los estadios más jóvenes.

## VI. AGRADECIMIENTOS

Quedamos agradecidos a Roberts Ríos, Wilson Ramírez y César Pacherras por sus valiosas sugerencias y comentarios al manuscrito. Este trabajo fue realizado en el marco de las prácticas en Ecología de A. Cama, egresado de la Facultad de Ingeniería y Gestión Ambiental de la UCSUR, proporcionadas por el Área de Ecología, Cursos Básicos de Ciencias de la UCSUR.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Balslev H, Eisenhardt W, Kristiansen T, Pedersen D, Grandez C. Palms and palm communities in the upper Ucayali river valley - a little-known region in the Amazon basin. *Palms* 2010; 54 (2): 57-8.
2. De Granville J. Life form and growth strategies of Guianan palms as related to their ecology. *Bulletin de l'Institut Francais d'Edudes Andines* 1992; 21 (2): 533-48.
3. Scariot A. Forest fragmentation effects on palm diversity in Central Amazonia. *The Journal of Ecology* 1999; 87 (1): 66-76.
4. Rodríguez A, Aguirre A, Benítez-Malvido J, Mandujano S. Impact of rain forest fragmentation on the population size of a structurally important palm species: *Astrocaryum mexicanum* at Los Tuxtlas, Mexico. *Biological Conservation* 2007; 138: 198-206.
5. Wright SJ, Zeballos H, Domínguez I, Gallardo MM, Moreno MC, Ibáñez R. Los cazadores alteran la abundancia, dispersión de semillas y depredación de semillas en un bosque neotropical. *Conservation Biology* 2000; 14 (1): 227-39.
6. Bonjorne de Almeida L, Galetti M. Seed dispersal and spatial distribution of *Attalea geraensis* (Arecaceae) in two remnants of Cerrado in Southeastern Brazil. *Acta Oecologica* 2007; 32 (2): 180-7.
7. Kahn F, Millán B, Pintaud JC, Machahua M. Detailed assessment of the distribution of *Astrocaryum* sect. *Huicungo* (Arecaceae) in Peru. *Rev. Per. Biol.* 2011; 18 (3): 279-82.
8. Aponte H, Kahn F, Millán B. Adaptabilidad vegetativa a la deforestación de la palma peruana *Astrocaryum perangustatum*. *Revista Peruana de Biología* 2011; 18 (2): 179-83.
9. Aponte H. (2012a). Efectos de las actividades agropecuarias sobre la estructura poblacional de *Astrocaryum perangustatum* F. Kahn & B. Millan (Arecaceae) en Pozuzo (Pasco-Perú). *Científica* 2012; 9 (1), 17-32.
10. Aponte H. Variabilidad morfológica y estructura poblacional de *Astrocaryum perangustatum* F. Kahn & B. Millan (Arecaceae) en Pozuzo (Pasco-Perú) [Tesis para optar el grado académico de Magíster en Botánica Tropical con mención en Taxonomía y Sistemática Evolutiva]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2012.
11. Pinard M, Putz F. Population matrix models and palm resource management. *Bulletin de l'Institut Francais d'Edudes Andines* 1992; 21 (2): 637-49.
12. Caswell H. *Matrix population models: construction, analysis, and interpretation*. Massachusetts: Sinauer Associates, 2001.

13. Legendre S, Clobert J. ULM, a software for conservation and evolutionary biologists. *Journal of Applied Statistics* 1995; 22 (5-6): 817-34.
14. Ferrière R, Sarrazin F, Legendre S, Baron J-P. Matrix population models applied to viability analysis and conservation: Theory and practice with ULM software. *Acta Oecologica* 1996; 17: 629-256.
15. Piñero D, Martínez-Ramos M, Sarukhán J. A population model of *Astrocaryum mexicanum* and a sensitivity analysis of its infinite rate of increase. *Journal of Ecology* 1984; 72: 977-91.
16. Pinard M. Impacts of stem harvesting on populations of *Iriartea deltoidea* (Palmae) in an extractive reserve in Acre, Brazil. [Master's degree Thesis]. Gainesville, Florida: University of Florida, 1991.
17. Easterling DR, Evans JL, Groisman PY, Karl TR, Kunkel KE, Ambenje P. Observed Variability and Trends in Extreme Climate Events: A Brief Review. *Bulletin of the American Meteorological Society* 2000; 81 (3): 417-25.
18. Dale VH, Joyce LA, McNulty S, Neilson RP, Ayres MP, Flannigan MD, et al. Climate change and forest disturbances. *BioScience* 2001; 51 (9): 723-34.
19. Martínez-Ramos M, García-Orth X. Demografía de plantas y regeneración de selvas en áreas degradadas. *Memorias*. Xalapa, Veracruz, 2005.
20. Laura C. Campaña de educación para la conservación de los bosques: Parque Nacional Yanachaga Chemillén - Informe final. Lima: INRENA, PRONATURALEZA, USAID, 2007.
21. Lozano-Rocha AM, CERDET, Amigos de la Tierra, Bolivia. Aprovechamiento sustentable de la palma «saro». En: Baltodano J, Wormwoth, editores. *La gestión comunitaria de los bosques: entre la resistencia y las propuestas de uso sustentable* [Internet]. Chile: Amigos de la Tierra, 2007. p. 39-41. Recuperado de: <http://coecoceiba.org/wp-content/subidas/2009/11/pub91.pdf>
22. León B, Pitman N, José R. Introducción a las plantas endémicas del Perú. *Revista Peruana de Biología* 2006; 13 (2): 9s-22s.

RECIBIDO: 10/07/2013  
ACEPTADO: 27/12/2013

AUTOR: HÉCTOR APONTE  
CORRESPONDENCIA: [haponteu@yahoo.fr](mailto:haponteu@yahoo.fr)