

MODELO DE INTERACCIÓN ENTRE VICUÑAS Y OVINOS EN LA RESERVA NACIONAL DE PAMPA GALERAS

MODEL OF VICUÑA-SHEEP INTERACTION IN RESERVA NACIONAL PAMPA GALERAS

Diana Quispe¹ y Jesús Quispe²

Resumen

La puna constituye el hábitat de los camélidos sudamericanos, entre ellos resalta la vicuña que es el camélido silvestre más pequeño y de fibra fina. La Reserva Nacional de Pampa Galeras – Barbara D’Achille (RNPG) en Perú ha cobijado desde tiempos antiguos a las vicuñas, en este espacio las vicuñas coexisten con los animales domésticos. El objetivo de esta investigación fue analizar el efecto que genera la presencia de la población de ovinos sobre la estabilidad temporal de la población de vicuñas en la RNPG bajo el enfoque de la dinámica de sistemas. La metodología consistió en plantear un modelo socio-ecológico que considera las principales relaciones del ecosistema y se plantearon cuatro escenarios, el primero considera variaciones en las variables asociadas a los ovinos (consumo de alimento por los ovinos y tiempo de permanencia en la reserva) y tres escenarios considerando cambios en la precipitación (lluvias permanentes de diferente intensidad, lluvias con pulsos máximos y mínimos periódicos y lluvia aleatoria) utilizando el software Stella. Los resultados principales indican que la población de ovinos no tiene influencia directa en la población de vicuñas, pues el comportamiento de las vicuñas en todos los escenarios tiende a autorregularse en el tiempo (10 años). La población de ovinos muestra permanencia temporal en la RNPG; y su presencia se asocia inversamente a la época de lluvias, lo que sugiere que las familias campesinas acceden a la reserva para utilizar marginalmente los pastos en la época seca.

Palabras clave: modelo socio-ecológico, competencia, estabilidad, interacción, animales domésticos.

Abstract

The highland is the habitat of the camelids; the vicuña is the smallest wild camelid with a fine fiber. The Reserva Nacional Pampa Galeras – Barbara D’Achille (RNPG) in Peru has been home to vicuñas since ancient times, where the vicuñas coexist with domestic animals. The objective of this research was to analyze the effect that the presence of sheep population generates on the temporal stability of the vicuña population in the RNPG under the system dynamics approach. The methodology consisted of using a socio-ecological model that considers the main relationships of the ecosystem and four scenarios were proposed, the first considers variations in the variables associated with the sheep (food consumption by the sheep and time spent in the reserve) and three scenarios considering changes in precipitation (permanent rainfall of different intensity, rainfall with periodic maximum and minimum pulses and random rainfall) using Stella software. The main results indicate that the population of sheep does not directly influence of the vicuña population because the behavior of vicuñas in all scenarios tends to self-regulate over time (10 years). The sheep population shows temporal permanence in the RNPG; and their presence is inversely associated with the rainy season, which suggests that the rural families access the reserve to marginally use the pastures during the dry season.

Key words: socio-ecological model, competition, stability, interaction, domesticated animals.

Introducción

La puna es el hábitat de los camélidos sudamericanos como la alpaca (*Vicugna pacos*), la llama (*Lama glama*), la vicuña (*Vicugna vicugna*) y el guanaco (*Lama guanicoe*). Resalta la vicuña que es el camélido silvestre más pequeño, grácil y fino ejemplar de la familia Camelidae. Esta especie para adaptarse al clima frígido de la puna desarrolló un vellón de doble capa; la primera capa constituida por fibras finas, cortas y densas, mezclada con una segunda capa de pelos largos y fuertes (Hofmann *et al.*, 1983a; Wheeler, 1995; Quispe *et al.*, 2015).

La ganadería manejada adecuadamente tiene efectos positivos en la conservación de los recursos naturales y en el alivio a la pobreza rural (Vicente *et al.*, 2012). En espacios altoandinos, el pastoreo se realiza en grandes extensiones con bajos requerimientos de mano de obra y con la coexistencia de poblaciones de especies silvestres (Fulcrand, 2004; Arzamendia & Vilá, 2015). La vicuña convive con otras poblaciones de animales domésticos como el vacuno, ovino, alpaca, principalmente (Rojo *et al.*, 2012). En las últimas décadas, la población de animales domésticos se ha incrementado debido a la presencia humana (Villalba,

2000), lo cual podría fomentar un comportamiento competitivo en el ecosistema de puna.

Las vicuñas y el ganado doméstico se encuentran espacialmente segregados, pero conviven en el mismo paisaje. Por un lado, las vicuñas utilizan hábitats menos preferidos que los esperados a su preferencia forrajera (Tuppia, 1991; Borgnia *et al.*, 2010), es decir, las vicuñas ocupan hábitats sub-óptimos, en tanto que, el ganado doméstico se concentra en los de mayor riqueza.

Actualmente, la vicuña es una especie de menor preocupación debido a que se estima que su población es abundante debido a la amplia área de distribución y la declaración de su presencia en algunas áreas protegidas del Perú, aunque existe una problemática asociada con la caza furtiva y el deterioro de los pastizales debido al sobrepastoreo del ganado doméstico (vacunos, ovinos, etc.), los que podrían impactar en la reducción de la población de vicuñas (Hoces, 2008).

La vicuña habita ancestralmente en la Reserva Nacional de Pampa Galeras – Barbara D’Achille (RNPG) en Perú (MINAGRI, 2014), allí coexiste con los animales domésticos como ovinos, vacunos, llamas y alpacas bajo una ganadería extensiva. En general, la pradera natural es la principal fuente de alimentación para las diversas especies silvestres y domésticas; entonces, el incremento de especies silvestres generaría mayor competencia por el aprovechamiento forrajero que es compartido con los rebaños de animales domésticos (Galaz & González, 2005). Este comportamiento afectaría la estabilidad temporal de las poblaciones, es decir, la capacidad del ecosistema por mantener constante la variabilidad de las poblaciones existentes y así mantener su productividad en el tiempo (Isbell *et al.*, 2009).

La presencia del ganado doméstico no solo tiene impacto en la disponibilidad de pasto en las zonas de mayor productividad (Laker, 2004), sino también en la distribución espacial de las especies, como es el caso de la vicuña en la RNPG. En la puna, la situación es compleja por la variabilidad en la precipitación debido a la disponibilidad de agua, y esta variabilidad agrega incertidumbre al comportamiento del ecosistema en el mediano y largo plazo (Earls, 2006).

La modelización de la dinámica de sistemas está asociada a la complejidad y busca encontrar los principios de organización de sistemas (Earls, 2006). En tal sentido, los sistemas complejos tienen propiedades que emergen de las interacciones entre los componentes del sistema. La modelización de la dinámica de sistemas utiliza modelos que consideran los efectos de retroalimentación que interconectan los sistemas socio-ecológicos en un sistema estrechamente conectado (Forrester, 1993; Aracil, 1995); además, el análisis mediante el uso de modelos socio-ecológicos ayuda a integrar enfoques multidisciplinarios (Pozo *et al.*, 2021).

El enfoque de la dinámica de sistemas se aplicó para explicar el comportamiento en diversas especies (Stănciulescu, 1985; Tyler *et al.*, 2007; Dressel *et al.*, 2018; Zamora-Maldonado *et al.*, 2021). La dinámica de interacción entre los diversos elementos (vicuñas, ovinos y precipitación entre los principales) en la RNPG genera un contexto complejo cuyo análisis es posible de realizar mediante el enfoque de la dinámica de sistemas. Bajo esas consideraciones, esta investigación tuvo como objetivo analizar el efecto que genera la presencia de las poblaciones de ovinos sobre la estabilidad temporal de las poblaciones de vicuñas en la Reserva Nacional Pampa Galeras en Perú bajo el enfoque de la dinámica de sistemas.

Materiales y métodos

Área de estudio

La RNPG está ubicada en la provincia de Lucanas, región Ayacucho – Perú, entre 14° 39' 00" y 14° 45' 00" latitud sur y 74° 19' 00" y 74° 27' 00" longitud oeste; a una elevación de 4 000 msnm y comprende una extensión de 6 500 ha. El ecosistema de la RNPG pertenece al de pajonal de puna seca (MINAM, 2018) que comprende la formación ecológica páramo húmedo subalpino y se integra a la formación los bosques residuales de queñua (*Polylepis* spp.) y quisuar (*Buddleia* sp.) (Hofmann *et al.*, 1983a; SERNANP, 2015).

Fuente de datos

La información biológica corresponde a los censos de población de vicuñas y animales domésticos realizados mensualmente entre enero 1981 y diciembre de 1985 por sectores, utilizando la metodología de conteo total y directo (Hofmann *et al.*, 1983b), que fueron registrados por el Proyecto Especial de Utilización Racional de la Vicuña (PEURV, 1986). La información de vicuñas comprende el registro de machos jefes de familia, hembras, crías, machos solitarios y machos de tropillas; mientras que, la información de animales domésticos corresponde al número de vacunos, ovinos, llamas y alpacas dentro de la RNPG. La información ambiental proviene de los registros de precipitación mensual correspondientes al periodo 1966 a 1986 (SENAMHI, 1990).

Construcción del modelo socio-ecológico

Se planteó un modelo socio-ecológico que contempla efectos de retroalimentación y no lineales (Forrester, 1993; Aracil, 1995). El modelo permite analizar la interacción entre la población de vicuñas y ovinos en la RNPG. En tal sentido, se consideró el comportamiento temporal de las especies en la RNPG basado en dos submodelos que interactúan representando la dinámica de las vicuñas y ovinos; ambos submodelos incluyeron variables como precipitación, necesidades nutricionales y tiempo de uso de la pradera de la reserva.

El análisis consideró tres momentos: (i) comportamiento individual de los elementos del

modelo socio-ecológico en la RNPG; (ii) construcción del modelo y calibración del modelo; y (iii) planteamiento de cuatro escenarios.

Primero, se analizaron los elementos del sistema socio-ecológico que comprenden a vicuñas, ovinos y precipitación; respecto a la información de animales domésticos, los registros del ganado ovino se presentaron en 9 de los 10 sectores, en tanto que, la presencia de las otras especies fue ínfima. Por tal motivo, el modelo solo consideró a los ovinos como especie representativa de los animales domésticos. Además, la presencia de los ovinos no es constante en el año, el número de días de permanencia de los ovinos en la RNPG alcanzó a 267 días (8.9 meses) por año en el período 1981 a 1985, es decir, la permanencia del ganado ovino tuvo un carácter temporal en la RNPG.

Segundo, el modelo socio-ecológico se construyó considerando la dinámica poblacional entre las vicuñas y ovinos en un entorno de variabilidad de la precipitación que influye en otras relaciones como la productividad primaria y la disponibilidad alimentaria en un horizonte temporal de 30 años (Rabinovich *et al.*, 1985; Sánchez, 1997). El modelo se compone de dos partes: el primero relacionado a la población de vicuñas y el segundo relacionado al comportamiento de los ovinos en la RNPG, relación planteada en función a la precipitación, necesidades nutricionales y tiempo de uso de la pradera en la Reserva.

El modelo socio-ecológico se construyó utilizando un diagrama stock-flujo (Tabla 1, Figura 1, Apéndice 1). El modelo numérico se construyó sobre ecuaciones en diferencia mediante el programa Stella® 10. Se

utilizó el método de integración Runge-Kutta de segundo orden debido a la existencia de demoras y de relaciones no lineales en el modelo.

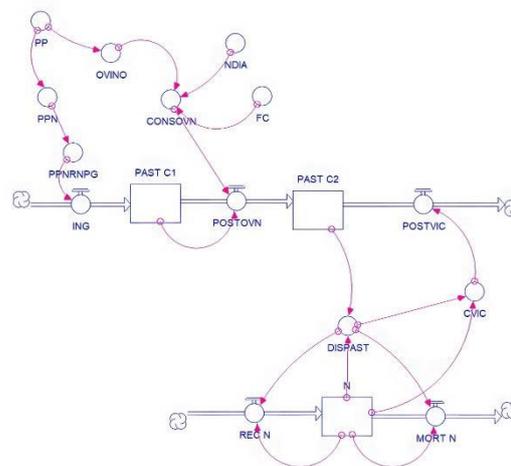


Figura 1. Diagrama de flujo del modelo de interacción entre vicuñas y ovinos en la RNPG. Leyenda de las variables en Tabla 1.

Calibración del modelo

El modelo fue calibrado con los datos empíricos recogidos en la RNPG (PEURV, 1986) y complementados con información bibliográfica (Tabla 1). La Tabla 2 compara los resultados del modelo con los valores observados en la población de vicuñas y ovinos. No obstante, las relaciones internas respecto a la productividad primaria neta (PPN) y disponibilidad de pastos son interdependientes; se observó que los

Tabla 1. Valores de las variables del modelo socio-ecológico.

Variable	Detalle	Unidad	Observación
PP	Precipitación	mm/año	Valor inicial y cambios en función al escenario
PPN	Producción primaria neta	Kg-MS/ha/año	(Norton-Griffiths & Torres, 1980)
PPNRNPG	Producción primaria neta en la RNPG	Kg-MS/año	Función numérica*
DISPAST	Disponibilidad de pasto después del consumo de ovinos	Kg-MS/día/ind	Función numérica*
CVIC	Consumo de pasto de las vicuñas por año	Kg-MS/año	Función numérica*
CONSOVN	Consumo de pasto de los ovinos por año	Kg-MS/año	Función numérica*
FC	Factor de consumo - consumo de materia seca como porcentaje del peso vivo	3%	(San Martin & Bryant, 1987)
NDIA	Tiempo promedio de permanencia en la RNPG de los ovinos	267 días	(Florez & Malpartida, 1987)
OVINO	Número de ovinos	individuo	(PEURV, 1986)
N	Número de vicuñas	individuo	(PEURV, 1986)
ING	Producción primaria neta en la RNPG	Kg-MS/año	Función numérica*
PAST C1	Producción Primaria Neta de la RNPG después del consumo de ovinos	Kg-MS/año	Función numérica*
PAST C2	Producción Primaria Neta de la RNPG después del consumo de ovinos y vicuñas	Kg-MS/año	Función numérica*
POSTOVN	Pastos destinados al consumo de los ovinos	Kg-MS/año	Función numérica*
POSTVIC	Pastos destinados al consumo de vicuñas	Kg-MS/año	Función numérica*
REC N	Flujo de entrada de vicuñas (natalidad)	Individuo	Función numérica*
MORT N	Flujo de salida de vicuñas (mortalidad)	Individuo	Función numérica*

* Las funciones numéricas se muestran en el Apéndice 1.

resultados del modelo se ajustaron adecuadamente a sus valores observados y/o reales, lo cual permite validar el modelo planteado.

Tabla 2. Valores estimados del modelo e información de campo en la RNPG.

Variable	Período	Unidad	Valor real	Valor estimado
Vicúñas	1981	ind	2 468	2 468
	1982	ind	3 251	2 598
	1983	ind	3 565	2 730
	1984	ind	3 444	2 854
	1985	ind	3 643	2 948
Ovinos	1981	ind	149	315
	1982	ind	358	315
	1983	ind	315	331
	1984	ind	506	515
	1985	ind	199	218

Tercero, se plantearon cuatro escenarios; un escenario consideró cambios en las variables asociadas a los ovinos (consumo de alimento y tiempo de permanencia en la RNPG) y cambios en la población inicial de vicuñas bajo una precipitación constante (484 mm/año); y los tres escenarios restantes consideraron cambios en la precipitación.

El escenario 1 buscó conocer el efecto de los ovinos sobre la población de vicuñas. Para ello se construyó considerando el tamaño inicial de la población de vicuñas entre 2 468 a 4 936 animales, valores registrados en la RNPG (PEURV, 1986), e incorporó variaciones en el factor de consumo de alimento de los ovinos (FC) de 1.23% hasta 3.2% y tiempo de permanencia en la RNPG de los ovinos de 180 a 365 días/año (NDIA) bajo una precipitación constante (484 mm/año) en un horizonte de 30 años. El escenario 2, 3 y 4 contemplaron cambios en la precipitación con el fin de conocer el efecto de la precipitación sobre la población de vicuñas.

El escenario 2 consideró que la RNPG afronta vulnerabilidad con déficits hídricos (Stern, 2007; IPCC, 2014); es decir, se considera que los efectos del cambio climático se expresan en la disponibilidad del agua en el sistema expresada en períodos permanentes de baja precipitación y alta precipitación que afectan directamente la producción de la pradera y de los cultivos forrajeros. En este escenario se consideró que la precipitación es constante con valores que van desde 100 a 1 000 mm/año en un horizonte de 30 años.

El escenario 3 consideró que la RNPG afronta eventos conocidos como La Niña o El Niño, que son propios de las variaciones climáticas derivados de los cambios en los patrones de circulación atmosférica y oceánica que suelen ocurrir periódicamente; las manifestaciones de estos eventos se asocian a que La Niña genera abundantes lluvias; mientras que, El Niño genera disminución de las lluvias (Lavado-Casimiro & Espinoza, 2014). En tal sentido, este escenario consideró precipitación constante (484 mm/año) con

pulsos abundantes (1 000 mm/año) cada 10 años y con pulsos de escasez (100 mm/año) cada 10 años que reflejarían sequías, los que son comparables a los eventos La Niña y El Niño, respectivamente, en un horizonte de 50 años.

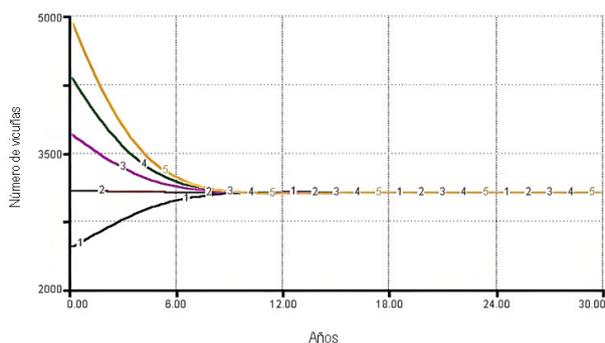
Finalmente, el escenario 4 consideró la estocasticidad ambiental que está representada por la incertidumbre de la precipitación. En tal sentido, el escenario se construyó considerando que la precipitación es aleatoria y oscila entre el valor mínimo y valor máximo registrado (161 a 836 mm/año); para ello se realizaron 100 corridas en un horizonte de 30 años. El resultado se presenta mediante un histograma, asimismo se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Resultados y discusión

Efecto de los ovinos sobre la población de vicuñas

El **escenario 1** (Figura 2) plantea la intensificación del uso de la Reserva mediante el consumo de alimento de los ovinos (FC) y tiempo de permanencia de los ovinos (NDIA); lo anterior genera variabilidad sobre la población de vicuñas que no supera un cambio del 6%. Las simulaciones del modelo indican que la población de vicuñas alcanzaría un nivel estacionario en 3 063 vicuñas después de los 10 años del horizonte inicial e independiente de las condiciones del escenario, es decir, la presencia de los ovinos no alteraría la población de las vicuñas, independientemente del número inicial de éstas, probablemente por la permanencia temporal de los ovinos.

La presencia de los ovinos es temporal, por tanto, la población de vicuñas logra encontrar un equilibrio (autorregularse) independiente de su valor inicial. Esta es una característica en la pradera de la RNPG, y evidencia cuatro hechos importantes: (i) el ovino criollo es una especie doméstica exótica que se ha adaptado al paisaje andino en 500 años de introducción, y se ha convertido en un contribuyente del ingreso de la familia campesina; (ii) la introducción del ovino se ha incorporado al manejo y control vertical de pisos ecológicos en los Andes peruanos (Murra, 1972), y así aporta a la seguridad alimentaria y autosuficiencia económica de la familia campesina; (iii) el desplazamiento de los ovinos es coincidente con los patrones de movilidad trashumantes (Tapia & Flores, 1984); (iv) la práctica vigente respecto a la población de animales domésticos constituye una estrategia de producción de parte de los comuneros alrededor de la baja productividad e incertidumbre de la puna.



Líneas de colores (1-5) muestran las simulaciones del comportamiento de las vicuñas.

Figura 2. Escenario del comportamiento de las vicuñas bajo cambios en las características de los ovinos y el nivel inicial de la población de vicuñas. Se han graficado el período de simulación en años (eje X) y el número de vicuñas (eje Y).

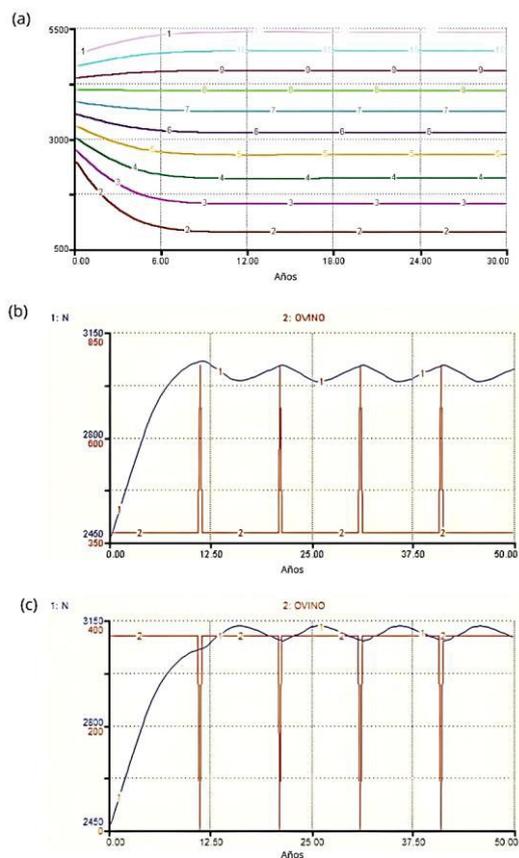
Efecto de la precipitación sobre la población de vicuñas

El comportamiento de la precipitación es un elemento que impacta en el modelo. El **escenario 2** (Figura 3a) plantea cambios de la precipitación de forma permanente; se observa que, a partir del año ocho, la población de vicuñas tiende a estabilizarse en todas las simulaciones. El comportamiento de los ovinos es inverso al comportamiento de la precipitación; en el caso extremo de precipitación baja permanente (100 mm/año), los ovinos alcanzan su valor máximo en 800 animales; y en el extremo lluvioso se ausentan de la pradera. Es decir, solo en escenarios de baja precipitación permanente los ovinos son movilizados hacia la Reserva, y allí se evidencia la coexistencia entre las vicuñas y los ovinos. Entonces, las familias campesinas estarían accediendo a la RNPG para usar los pastos de forma marginal, es decir, es una estrategia de contingencia durante la época de baja precipitación permanente.

En consecuencia, el acceso de las familias campesinas a la RNPG es una estrategia de emergencia para garantizar la sobrevivencia de su capital (ovino), o sea, sin mayores propósitos económicos. En períodos lluviosos permanentes, la mayor disponibilidad de rastrojos agrícolas y otros pastos temporales no obliga recurrir a los pastos de la pradera de la puna, pues a causa de la mayor disponibilidad de agua (contexto de precipitación alta) existe mayor disponibilidad de pastos en los valles interandinos que serían suficientes para la provisión alimenticia de los animales domésticos de la familia campesina.

El **escenario 3** (Figura 3b y 3c) simula la ocurrencia periódica de pulsos de intensa lluvia (884 mm/año) por década. Se observa que la población de vicuñas crecería en la primera década pero sin superar las 3 000; y luego, en las siguientes décadas, la población se estabilizaría incorporando oscilaciones recurrentes no pronunciadas hasta el fin del horizonte. Ante esta eventualidad

climática, pareciera que la población de vicuñas no solo tiende a la reducción si no que muestra oscilaciones, cuya intensidad disminuye en el horizonte propuesto, en tanto que en escenarios de pulsos de escasez de precipitación (84 mm/año) por década se observa que el comportamiento de la población de vicuñas muestra oscilaciones, cuya intensidad disminuye a medida que avanza el horizonte propuesto.



(a) Escenario 2 de precipitación constante, (b) Escenario 3 de precipitación con pulsos máximos [Número de vicuñas en línea azul] y (c) Escenario 2 de precipitación con pulsos mínimos. [Número de vicuñas en línea azul].

Figura 3. Escenario del comportamiento de las vicuñas bajo diversas condiciones de la precipitación. Se han graficado el período de simulación en años (eje X) y el número de vicuñas (eje Y).

Si el escenario presenta precipitación con pulsos mínimos y máximos, entonces en el comportamiento de las vicuñas surgen ondulaciones bajo eventos climáticos extremos. En la puna, los eventos extremos son más severos y con relativa mayor frecuencia en la región andina, pues sucesivos eventos como La Niña y/o El Niño traen impactos considerables, ocasionando vulnerabilidad sobre la producción agropecuaria. Al parecer, la ocurrencia de eventos es inevitable y obliga

a las especies a buscar nuevas formas de equilibrio con la naturaleza (Salvador & Cano, 2002).

El **escenario 4** considera precipitación aleatoria que oscila entre el valor mínimo (161 mm/año) y máximo (836 mm/año). La Figura 4 muestra el comportamiento de la población de vicuñas; en la marca de clase es 3 159 vicuñas para el año 30. La prueba de Kolmogorov-Smirnov aplicada a las poblaciones de vicuñas al año 30 en la reserva muestra un estadístico 0.13 y que el valor de significación estadística (p) ha sido 0.344, es decir, no muestra diferencias estadísticamente significativas, es decir, no hay evidencia empírica suficiente para indicar que la presencia de ovinos cambia la distribución de las vicuñas.

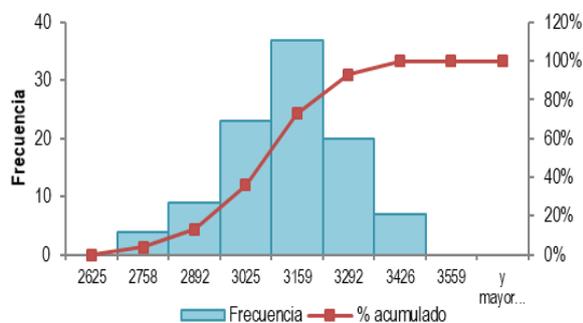


Figura 4. Comportamiento de las vicuñas bajo precipitación aleatoria – año 30.

Las familias campesinas que acceden a la Reserva, en un contexto de precipitación aleatoria, tienen una estrategia de sobrevivencia, por ello, reducen el tamaño o aceptan el bajo estado de carnes de sus rebaños de ovinos, como un “seguro” para enfrentar tiempos difíciles (períodos de escasez de agua).

La introducción de especies exóticas, como el ovino, en la pradera de la RNPG no implica mayor competencia con las vicuñas por el uso del pastizal, debido al uso marginal y de uso temporal en las épocas críticas (sequía).

La acción antrópica es la que determina el uso temporal de la Reserva, ya que el hombre en años favorables (precipitaciones abundantes) prefiere quedarse en los valles interandinos, y dejar disponible la pradera de la Reserva para las poblaciones silvestres (vicuña); mientras que, en épocas de precipitación escasa, el hombre utiliza el área de la Reserva.

Los pastizales naturales de la puna se caracterizan por el predominio de las gramíneas o plantas de tipo graminoides que son una vegetación de tallo bajo propicio para los camélidos sudamericanos silvestres o domésticos (Recharte *et al.*, 2002; Florez, 2005) debido a su particular adaptación anatómica y fisiológica de pastoreo.

Las gramíneas constituyen la mayor parte de la dieta de las vicuñas que habitan los principales sitios de la RNPG (Tupia, 1991; Arzamendia *et al.*, 2018). El uso temporal de los ovinos en la Reserva tendría repercusión negativa en la productividad primaria de la pradera debido a los hábitos de pastoreo, pues los ovinos consumen las especies de crecimiento bajo y especies tiernas, y tienen alta selectividad por una dieta de alta calidad (Florez & Malpartida, 1987).

Conclusiones

La ganadería y el pastoreo están vinculados por singulares procesos que incluyen a las especies silvestres, tal es el caso de la interacción entre las vicuñas y los ovinos en la RNPG. En la puna, la temporada de lluvias es la principal determinante de la mejora de la oferta de forrajes para las especies herbívoras, pues estas son las únicas especies animales capaces de transformar el forraje en productos útiles para el hombre (carne, fibra, etc.). Este estudio planteó un modelo socio-ecológico que refleja las interacciones entre las vicuñas y los ovinos, el modelo planteado muestra que los ovinos no tendrían influencia directa sobre la población de vicuñas, dado que la población de vicuñas en todos los escenarios tiende a estabilizarse a partir del año 10. La población de ovinos muestra una permanencia temporal en la reserva y su presencia está asociada inversamente a la ocurrencia de lluvias, lo que sugiere que las familias campesinas acceden a la reserva para utilizar marginalmente los pastos durante la época seca (ausencia de lluvias).

Literatura citada

- Aracil J. 1995. Dinámica de sistemas. Primera edición. ISDEFE (ed.). Madrid – España. https://www.academia.utp.ac.pa/sites/default/files/docente/51/dinsist-dinamica_sistemas.pdf.
- Arzamendia Y., Carbajo A.E. & Vilá B. 2018. Social group dynamics and composition of managed wild vicuñas (*Vicugna vicugna vicugna*) in Jujuy, Argentina. *Journal of Ethology*, 36(2): 125-134. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10164-018-0542-3>.
- Arzamendia Y. & Vilá B.L. 2015. Vicugna habitat use and interactions with domestic ungulates in Jujuy, Northwest Argentina. *Mammalia*, 79(3): 267-278. DOI: <https://doi.org/10.1515/mammalia-2013-0135>.
- Borgnia M., Vilá B.L. & Cassini M.H. 2010. Foraging ecology of Vicuña, *Vicugna vicugna*, in dry Puna of Argentina. *Small Ruminant Research*, 88(1): 44-53. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.11.009>.
- Dressel S., Ericsson G. & Sandström C. 2018. Mapping social-ecological systems to understand the challenges underlying wildlife management. *Environmental Science and Policy*, 84: 105-112. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.03.007>.

- Earls J. 2006. La agricultura andina ante una globalización en desplome. Serie Investigaciones CISEPA no. 1. CISEPA-PUCP. Lima – Perú. <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/131462>. http://biblioteca.clacso.edu.ar/Peru/cisepa-pucp/20170323032356/pdf_615.pdf. <https://core.ac.uk/download/pdf/83828267.pdf>.
- Flores A. & Malpartida E. 1987. Manejo de praderas nativas y pasturas en la región altoandina del Perú. (No. SB193 F4). Primera edición. Banco Agrario. Lima - Perú.
- Florez A. 2005. Manual de pastos y forrajes altoandinos. ITDG & OIKOS (ed.). Lima - Perú. <http://www.funsepa.net/soluciones/pubs/MjY=.pdf>.
- Forrester J.W. 1993. System Dynamics and the Lessons of 35 Years (Chapter seven). In: Greene K.B. (ed.) A Systems-Based Approach to Policymaking. 199-240. Kluwer Academic Publishers. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4615-3226-2_7.
- Fulcrand B. 2004. Las ovejas de San Juan: una visión histórico - antropológica de la introducción del ovino español y su repercusión en la sociedad rural andina. Primera Edición. Asociación Arariwa [para la Promoción Técnico-Cultural Andina]. Cusco. <http://isbn.bn.p.gob.pe/catalogo.php?mode=detalle&nt=15335>.
- Galaz J. & González G. (eds.) 2005. Técnicas para el Manejo Productivo de la Vicuña (*Vicugna vicugna* Molina, 1782) en Chile. CONAF-FIA. Primera edición. Santiago de Chile. https://issuu.com/odelan/docs/tecnicas_para_el_manejo_productivo_de_la_vicu_a.
- Hoces D. 2008. Conservation and current use of the vicuña (*Vicugna vicugna mensalis*) in Peru. In: CITES (Ed) International Expert Workshop on CITES: Non-Detriment Findings (NDF) Case studies: WG 5 – Mammals CASE STUDY 8. México, November 17th-22th, 2008. https://cites.org/sites/default/files/ndf_material/WG5-CS8.pdf.
- Hofmann R., Otte K. & Ponce C. 1983a. El manejo de la vicuña silvestre. Tomo I. s.l., Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ).
- Hofmann R., Otte K. & Ponce C. 1983b. El manejo de la vicuña silvestre. Tomo II. s.l., Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ).
- IPCC. 2014. Conclusiones a nivel superior del resumen para responsables de políticas de la contribución del grupo de trabajo II al quinto informe de evaluación. En: IPCC Cambio Climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad (del Quinto Informe de Evaluación). Grupo de trabajo II del IPCC. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIIAR5_SPM_Top_Level_Findings_es-1.pdf.
- Isbell F.I., Polley H.W. & Wilsey B.J. 2009. Biodiversity, productivity and the temporal stability of productivity: patterns and processes. Ecology letters, 12(5): 443-451. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01299.x>.
- Laker J. 2004. The interactions between environmental, agro-ecological and socio-political factors in determining vicuña distribution and appropriate management systems. RSG 2 – 23.02.04. 1-59. School of Geography - University of Leeds. United Kingdom. <https://macaulay.webarchive.hutton.ac.uk/macaulay/Publications/laker-rsgII.pdf>.
- Lavado-Casimiro W. & Espinoza J.C. 2014. Impactos de El Niño y La Niña en las lluvias del Perú (1965-2007). Revista Brasileira de Meteorologia, 29(2): 171-182. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862014000200003>.
- MINAGRI. 2014. Censo poblacional de vicuñas 2012. DGFFS (Dirección General Forestal y de Fauna Silvestre) del MINAGRI (Ministerio de Agricultura), Perú. Lima – Perú. <http://www.agrolibertad.gob.pe/sites/default/files/Censo%20Poblacional%20de%20Vicunas%202012.pdf>.
- MINAM. 2018. Definiciones conceptuales de los ecosistemas del Perú. MINAM (Ministerio del Ambiente). Lima. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/definiciones-conceptuales-ecosistemas-peru>.
- Murra J. 1972. El control vertical de un máximo de pisos ecológicos en la economía de las sociedades andinas. Universidad Nacional Hermilio Valdizán. Huánuco.
- Norton-Griffiths M. & Torres H. 1980. Evaluation of ground and aerial census work on vicuña in Pampa Galeras, Peru. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/Rep-1980-Norton-001.pdf>.
- PEURV. 1986. Censo de dinámica poblacional de vicuñas en la Reserva Nacional de Pampa Galeras. Ayacucho - Perú, PEURV.
- Pozo R.A., Cusack J.J., Acebes P., Malo J.E., Traba J., Iranzo E.C., Morris-Trainor Z., Minderman J., Bunnefeld N., Radic-Schilling S., Moraga C.A., Arriagada R. & Corti P. 2021. Reconciling livestock production and wild herbivore conservation: challenges and opportunities. Trends in Ecology and Evolution 36(8): 750-761. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.05.002>.
- Quispe E.C., Chipa L. & Pinares R. 2015. Análisis económico y de la producción del descerado manual de la fibra de llamas (*Lama glama*) Chaku. Archivos de Zootecnia, 64(246): 191-198. DOI: <https://doi.org/10.21071/az.v64i246.397>.
- Rabinovich J.E., Hernández M.J. & Cajal J.L. 1985. A simulation model for the management of vicuña populations. Ecological Modelling, 30(3-4): 275-295. DOI: [https://doi.org/10.1016/0304-3800\(85\)90071-7](https://doi.org/10.1016/0304-3800(85)90071-7).
- Recharte J., Albán L., Arévalo R., Flores E., Huerta L., Orellana M., Oscanoa L. & Sánchez P. 2002. El grupo páramos/jalcas y punas del Perú: Instituciones y acciones en beneficio de comunidades y ecosistemas altoandinos. En: CAR Congreso Mundial de Páramos. Memorias Tomo I. Mayo de 2002. 785-811. CAR (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca). Colombia. <http://hdl.handle.net/20.500.11786/35416>.
- Rojo V., Arzamendia Y. & Vilá B. 2012. Uso del hábitat por vicuñas (*Vicugna vicugna*) en un sistema agropastoril en Suripujio, Jujuy. Mastozoología neotropical, 19(1): 127-138. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&id=S0327-93832012000100011.
- Salvador F & Cano A. 2002. Lagunas y oconales: los humedales del trópico andino. Cuadernos de biodiversidad (11):4-9. DOI: <https://doi.org/10.14198/cdbio.2002.11.01>.
- San Martín F. & Bryant F. 1987. Nutrición de los camélidos sudamericanos. Estado de nuestro conocimiento. Programa Colaborativo de Apoyo a la Investigación en Rumiantes menores. Instituto Veterinario de Investigaciones Tropicales y de Altura. Lima (Perú)

- Sánchez E.H. 1997. Variabilidad espacial y temporal de una población de vicuñas y modelos para su gestión. Tesis de Doctorado del Departamento Interuniversitario de Ecología – Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Complutense de Madrid.
- SENAMHI. 1990. Precipitación en la Reserva Nacional de Pampa Galeras. SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). Ayacucho – Perú.
- SERNANP. 2015. Plan Maestro 2014-2019 de la Reserva Nacional de Pampa Galeras. SERNANP (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado). Lima – Perú.
<https://sinia.minam.gob.pe/documentos/plan-maestro-2014-2019-reserva-nacional-pampa-galeras-barbara-d>
- Stănculescu F. 1985. Principles of modelling and simulation, large scale and complex systems. Application in ecology. *Annual Review in Automatic Programming*, 12(PART 1): 133-138. DOI: [https://doi.org/10.1016/0066-4138\(85\)90013-8](https://doi.org/10.1016/0066-4138(85)90013-8).
- Stern N. 2007. *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge University Press. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511817434>.
- Tapia M. & Flores J. 1984. Pastoreo y pastizales de los Andes del sur del Perú. Primera edición. Instituto Nacional de Investigación y Promoción Agropecuaria. Programa Colaborativo de Apoyo a la Investigación de Rumiantes Menores. Lima – Perú.
https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNAAR371.pdf.
- Tuppia P. 1991. Evaluación de los índices de vegetación y capacidad de carga de las praderas nativas de Pampa Galeras. Tesis de pregrado de la Facultad de Zootecnia. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Tyler N.J.C., Turi J.M., Sundset M.A., Strøm Bull K., Sara M.N., Reinert E., Oskal N., Nellemann C., McCarthy J.J., Mathiesen S.D., Martello M.L., Magga O.H., Hovelsrud G.K., Hanssen-Bauer I., Eira N.I., Eira I.M.G. & Corell R.W. 2007. Saami reindeer pastoralism under climate change: Applying a generalized framework for vulnerability studies to a sub-arctic social-ecological system. *Global Environmental Change*, 17(2): 191-206. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.06.001>.
- Vicente F., Morales E., Martínez A., De La Roza, B. & Argamentera A. 2012. El uso de forrajes para la mejora de producción y de calidad de la leche de vacuno lechero. *Ganadería* (82) 30-33.
https://www.researchgate.net/profile/Fernando-Vicente-Mainar-2/publication/266081486_El_uso_de_forrajes_para_la_mejora_de_produccion_y_de_calidad_de_la_leche_de_vacuino_lechero/links/564050d708ae34e98c4e7b53/El-uso-de-forrajes-para-la-mejora-de-produccion-y-de-calidad-de-la-leche-de-vacuino-lechero.pdf.
- Villalba L. 2000. Uso de hábitat e interacciones entre la vicuña y la alpaca en la Reserva Nacional de Fauna Ulla Ulla, La Paz - Bolivia. Santiago de Chile.
<https://hdl.handle.net/20.500.14001/36087>
- Wheeler J. 1995. Evolution and present situation of the South American Camelidae. *Biological Journal of the Linnean Society*, 54(3): 271-295. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1995.tb01037.x>.
- Zamora-Maldonado H.C., Avila-Foucat V.S., Sánchez-Sotomayor V.G. & Lee R. 2021. Social-ecological Resilience Modeling: Water Stress Effects in the Bighorn Sheep Management System in Baja California Sur, Mexico. *Ecological Complexity*, 45(2021): Art. 100884. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2020.100884>.

Apéndice 1. Ecuaciones utilizadas en el modelo.

Variables de estado

$$N(t) = N(t - dt) + (REC_N - MORT_N) * dt$$

(Valor inicial) $N = 2468$

Flujos de entrada

$$REC_N = N*(0.330724*EXP(-0.975985/DELAY(DISPAST,1)))$$

Flujos de salida

$$MORT_N = N*(MAX(0,(0.194909-0.085801*LOGN(DELAY(DISPAST,3))))))$$

Variables de estado

$$PASTC1(t) = PASTC1(t - dt) + (ING - POSTOVN) * dt$$

(Valor inicial) $PASTC1 = ING$

Flujos de entrada

$$ING = PPNRNPG$$

Flujos de salida

$$POSTOVN = PASTC1-CONSOVN$$

Variables de estado

$$PASTC2(t) = PASTC2(t - dt) + (POSTOVN - POSTVIC) * dt$$

(Valor inicial) $PASTC2 = POSTOVN$

Flujos de entrada

$$POSTOVN = PASTC1-CONSOVN$$

Flujos de salida

$$POSTVIC = CVIC$$

Variables auxiliares

$$CVIC = N*DISPAST*365$$

$$DISPAST = PASTC2/(365*N)$$

$$OVINO = (MAX(0,(-1.1169*DELAY(PP,1)+911.46)))$$

$$CONSOVN = (20*FC)*OVINO*NDIA$$

$$FC = 0.03$$

$$NDIA = 267$$

$$PPN = 2.7145*(PP^{0.78797})$$

$$PPNRNPG = PPN*4448$$

$$PP = \text{Data histórica}$$

¹ Facultad de Ingeniería / Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. Perú.

diana.wispe.roque@gmail.com. ORCID: 0000-0001-9652-6346.

² Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia / Universidad Nacional del Altiplano Puno. Perú.

wispecoaquira@gmail.com. ORCID: 0000-0001-6349-3867.