

Modelo bioeconómico de esquila única en el manejo de la fibra de vicuña

Quispe, D.M.^{1,2@} y Lavado, K.^{1,3}

¹Programa de Doctorado en Economía de los Recursos Naturales y Desarrollo Sostenible. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú.

²Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. Abancay. Perú.

³Círculo de Estudios de Valoración Económica de la Biodiversidad. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Modelo bioeconómico.

Vicuña.

Andes.

Ecosistema y economía.

RESUMEN

La vicuña (*Vicugna vicugna*) es un camélido sudamericano que se distribuye a lo largo de Cordillera de los Andes, con una mayor concentración de la población en el altiplano Perú - Bolivia, norte de Chile y Argentina. El objetivo de la investigación fue determinar los valores del máximo técnico (edad máxima de esquila), óptimo técnico (edad de mayor producción de fibra) y óptimo económico (periodicidad de esquila) para la esquila de la fibra de vicuña en función al modelo bioeconómico basado en la información del Centro Nacional de Conservación de Camélidos Sudamericanos sede Cala-Cala, en la provincia San Antonio de Putina, región Puno, Perú. El modelo bioeconómico corresponde a la esquila única a precio constante bajo cinco escenarios para tasas de descuento (niveles de rentabilidad) desde el 9% al 30%, en ello, se determinan los valores del máximo técnico, óptimo técnico y óptimo económico. Los resultados mostraron que el valor del máximo técnico para vicuñas hembras corresponde a 15.8 años, en tanto que para vicuñas machos alcanza 17.76 años, lo anterior evidencia que las vicuñas machos viven más que las vicuñas hembras, ello se explica a factores ambientales en el caso de las vicuñas hembras. Asimismo, se observa que, en un escenario donde la unidad productora de fibra de vicuña enfrenta diversos costos de oportunidad (niveles de rentabilidad), se observa que la presión sobre la especie será más exigente en la medida que la tasa de descuento sea más alta, variando la periodicidad de esquila óptima desde 2.6 a 1.25 años correspondiente a una tasa de descuento de 9% y 30%, respectivamente.

Bioeconomic model of single harvest in the manage of vicuña fiber

SUMMARY

The vicuña (*Vicugna vicugna*) is a South American camelid that is distributed along the Andes, with a greater concentration of the population of this species are in the highlands of Peru - Bolivia, north of Chile and Argentina. The objective was to determine the values of the maximum technical (maximum age of harvest), maximum growth (age of highest fiber production) and equilibrium stock size (harvest periodicity) for the shearing of the vicuña fiber according to the bioeconomic model based on information from the National Center for the Conservation of South American Camelids, Cala-Cala, in the province of San Antonio de Putina, Puno region, Peru. The proposed model is a bioeconomic model of single harvest in the manage of vicuña fiber, which considers constant price under five scenarios for discount rates (profitability levels) from 9% to 30%, in which the values of carrying capacity, maximum growth and equilibrium stock size were determined. The results showed that the value of the maximum technical for female vicuñas corresponds to 15.8 years, while for male vicuñas it reaches 17.76 years, the previous evidence that vicuñas males live longer than female vicuñas, this is explained by environmental factors in the case of the female vicuñas. In a scenario where the vicuña fiber production space faces several opportunity costs rates (profitability levels), it is observed that the pressure on the species will be more demanding as the discount rate becomes higher varying the equilibrium stock size (harvest periodicity) from 2.6 to 1.25 years corresponding to a discount rate of 9% and 30%, respectively.

ADDITIONAL KEYWORDS

Bioeconomy model.

Vicuña.

Andes.

Ecosystem and economy.

INFORMATION

Cronología del artículo.

Recibido/Received: 26.09.2017

Aceptado/Accepted: 07.06.2019

On-line: 15.07.2019

Correspondencia a los autores/Contact e-mail:

diana.quispe.roque@gmail.com

INTRODUCCIÓN

La vicuña (*Vicugna vicugna*) produce la fibra más fina del mundo y contribuye, junto a los otros camélidos sudamericanos, y representa el 1% de la oferta mundial de fibras especiales de origen animal. Dado que el rango del diámetro de la fibra oscila entre 10µm a 12 µm, la fibra de

la vicuña es denominada "fina" (CONAF, 2005; Quispe *et al.*, 2010; Wilson, 2011).

La vicuña es el camélido silvestre y más pequeño de los camélidos andinos (Borgnia, Vilá & Cassini 2010) muestra variaciones en la morfología, longitud y peso corporal, que junto con el color del vellón permiten clasi-

ficar en dos sub-especies: *Vicugna vicugna mensalis* (norteña) y *Vicugna vicugna vicugna* (austral) (Wheeler 2006)

Asimismo, UICN (1987) señala que la longevidad en las poblaciones de vicuñas está determinada genéticamente, pero disminuyen como consecuencia de la mortalidad y las condiciones del entorno; siendo la longevidad potencial de la vicuña de 20 años.

La vicuña es la especie silvestre, símbolo de la fauna peruana, la cual sostiene gran parte de la diversidad biológica y habita en las extensas praderas altoandinas por encima de los 3800 m de altitud; allí otras especies alóctonas (ovino y bovino) no prosperan por la severidad climática. Cabe indicar, que en esos espacios los niveles socioeconómicos de las familias son vulnerables; mostrando altos niveles de pobreza (Rolando *et al.*, 2017; Gimpel & Bonacic, 2006).

En las última décadas, el crecimiento de la demanda de la fibra ha sido determinado por factores como: i) su creciente incorporación al mercado de la alta moda, ii) valorización de las texturas y colores naturales, iii) valorización del manejo sustentable de los recursos naturales (mayor control de oferta ilegal, aumento de áreas con poblaciones, etc.) (McAllister *et al.*, 2009) circunscrita en un mercado mas de carácter monopólico que oligopólico y transada en el mercado internacional. Por otro lado, la oferta de la fibra de vicuña presenta características como: i) está inmersa en un mercado de competencia oligopólica, ii) esta a cargo de comités de uso sustentable, los cuales fueron constituidos para la protección, conservación, manejo y aprovechamiento de la especie, pero están desarticulados, iii) el volumen de fibra es altamente segmentado y heterogéneo, iv) presenta externalidad positiva como la generación bienestar económico y cultural en las comunidades altoandinas, y v) la oferta es inelástica, ya que la cantidad ofrecida no depende del aumento de precios sino de la población de vicuñas, rendimiento y tasa de uso (captura) (Garavito, 2012; Trivelli *et al.*, 2009; Varian, 1999)

La vicuña en los ecosistemas andinos constituye un recurso zoogenético de importancia en la dinámica económica y social de los habitantes rurales dado que ellos ceden sus tierras, praderas y mano de obra para el manejo y conservación de la especie (Bonacic *et al.*, 2006); debido a los altos precios que el mercado da por la fibra de la vicuña (aprox. US\$ 400/kg) respecto a otras fibras locales como: alpaca y llama.

Por otro lado, una actividad ligada directamente a la obtención de la fibra corresponde al "chaccu", el cual se realiza anualmente y consiste en rodear y arrear a las vicuñas, para aprehenderlos vivos y esquilarlos, en un momento y lugar apropiados de forma comunitaria (Quispe *et al.*, 2015; Gimpel & Bonacic, 2006); pero, en la actualidad debido al lento crecimiento de la fibra, la esquila de vicuñas se realiza bianualmente; o sea cuando al menos la especie tenga 2.5 cm de longitud de mecha, ello basado en la experiencia adquirida de los lugareños.

La multidimensionalidad del análisis de la vicuña como especie permite observar perspectivas: primero, la biológica inherente a los fenómenos biológicos de la especie, por lo común expresados en peso corporal, volumen de fibra, etc (Quispe *et al.*, 2016); y la segunda

la económica relacionada al valor del recurso (fibra) y el uso racional de este.

La perspectiva económica permite aplicar la modelización bioeconómica de los sistemas de producción animal para optimizar el uso racional del recurso, ejemplo de ello son los modelos de extracción y/o uso sostenible del recurso como: madera, pesca, entre los principales; en los cuales se determina los valores óptimos a nivel técnico y económico de extracción.

Entonces basado en los modelos bioeconómicos, la investigación tiene como objetivo encontrar los valores del máximo técnico, óptimo técnico y óptimo económico para la esquila de la vicuña en el Centro Nacional de Conservación de Camélidos Sudamericanos sede Cala-Cala.

El trabajo se divide en dos partes: el primero comprende la aplicación de un modelo biológico donde el peso del vellón está en función de la edad de la vicuña según sexo (Tietenberg & Lewis 2012); y el segundo, la aplicación de un modelo bioeconómico de Fisher-Hotelling de rotación única a precio constante debido a las condiciones del mercado en el cual se ubica la fibra de vicuña (Johnston *et al.* 2017; Tietenberg & Lewis 2012); denominándose así "Modelo económico de esquila única a precio constante".

Finalmente, los resultados de la investigación permitirán comparar los valores óptimos (técnicos y económicos) frente a la práctica habitual en la zona de estudio y otros espacios donde habita la especie. Asimismo, permitirá determinar límites para una extracción óptima de la fibra, lo cual contribuiría a la optimización de los aspectos de bienestar animal y manejo de la fibra de vicuña.

MATERIAL Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en el Centro Nacional de Conservación de Vicuñas Cala-Cala administrado por la Dirección de Flora y Fauna Silvestre de la Región Puno, el cual se localiza en el distrito de Pedro Vilcapaza de la provincia San Antonio de Putina entre 4000 a 4900 msnm en la región Puno (Perú). La localización del área de estudio se observa en la **Figura 1**.

DE LA INFORMACIÓN

La información biológica corresponde a los datos morfométricos de vicuñas de la sub especie *Vicugna vicugna mensalis*, que fueron extraídos de 269 animales (110 machos y 159 hembras) criados bajo el sistema de crianza semicautiverio en la esquila realizada en el chaccu del Centro Nacional de Conservación de Vicuñas Cala-Cala; los que fueron obtenidos por Bravo (1977).

Entre las variables utilizadas fueron: longitud de mecha expresada en cm, peso vellón expresado en gramos, edad de las vicuñas y el sexo de la especie, macho y hembra. Para determinar la edad del animal se recurrió al método de Hoffmann que emplea el grado de desgaste de los incisivos (Hofmann, Otte & Ponce 1983) y el sexo se determinó a través de la observación de los órganos genitales.

Mientras que la información económica corresponde a los precios de la fibra que fueron registrados por el Mi-

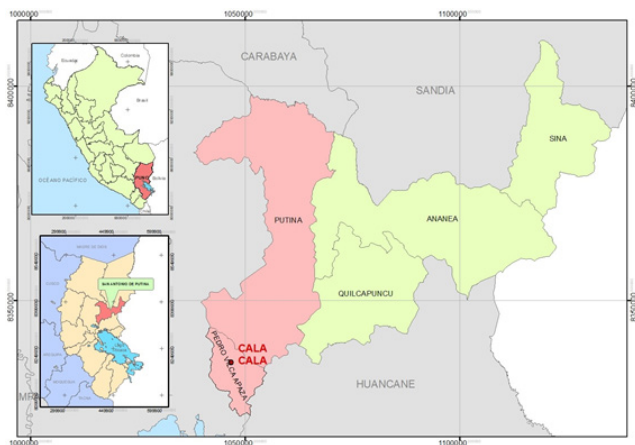


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio. Comunidad de Cala-Cala - Provincia de San Antonio de Putina – Región de Puno (Geographical location of the study area. Community of Cala-Cala - Province of San Antonio de Putina - Region of Puno).

nisterio de Agricultura (MINAGRI) extraídos de (Quispe, 2012).

METODOLOGÍA

El análisis cuantitativo comprende del planteamiento de dos modelos: el primero corresponde al modelo biológico equivalente a una función de producción (volumen del recurso en función al tiempo) y el segundo corresponde al modelo bioeconómico de Hotelling-Fisher (Tie-

tenberg & Lewis 2012; Varian 2004), el cual es un modelo matemático que considera las condiciones de la especie e incorpora elementos del entorno económico.

Luego, se realiza la optimización del modelo biológico para encontrar los valores óptimos, para lo cual se empleó el programa estadístico STATA 14; mientras que, el modelo bioeconómico de Hotelling-Fisher utilizó el programa DERIVE para obtener los valores óptimos.

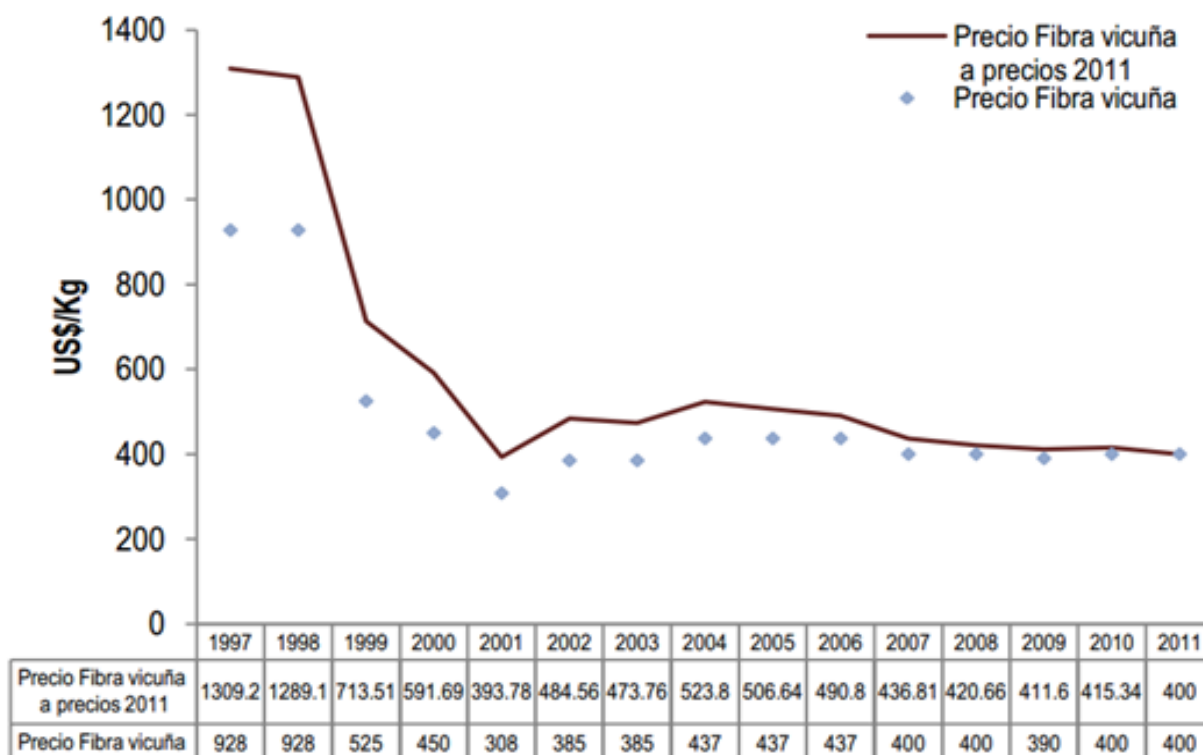
De acuerdo al comportamiento de las variables –peso vellón, longitud de mecha, edad, sexo de la vicuña, precio de la fibra de vicuña y costo de oportunidad del capital bajo- se emplea el modelo económico de rotación única a precio constante.

MODELO BIOLÓGICO: CRECIMIENTO DE VELLÓN

El modelo biológico muestra la relación entre el peso del vellón y la edad para las vicuñas (Tietenberg & Lewis 2012) que sería un reflejo de la función de producción que expresa el crecimiento de vellón de vicuñas en función a la edad de la vicuña. Cabe indicar que de antemano no es posible inferir el orden del modelo de mejor ajuste, por ello, se regresionan diversos modelos los cuales difieren en el grado de la función.

Por tal motivo, mediante funciones de orden 2, 3 y 4, se regresiona el peso del vellón en función a la edad para las vicuñas por sexo y en conjunto. Posteriormente, se selecciona el modelo de mejor ajuste basado en la significancia de los parámetros a nivel individual y grupal, para lo cual el referente son los estadísticos t-Student y

Figura 2. Evolución del precio de la fibra de vicuña a precios constantes y a precio base 2011 en la RNPG durante 1997 a 2011 en dólares por Kg (Evolution of the price of vicuna fiber at constant prices and base price 2011 in the RNPG 1997 to 2011 in US\$/kg).



Fuente: MINAGRI (2011)

Tabla I. Coeficientes del modelo óptimo del crecimiento del peso vellón en función a la edad para vicuñas, según sexo (Coefficients of the optimal model of fleetweight growth according to age for vicuñas, according to sex)

	Variable	Coeficientes	P>t	Modelo	Máximo técnico
Vicuñas hembra	Edad H	83.829	0.115	67.83455+83.82888X-19.04394X ² +1.784551X ³ -0.0589948X ⁴	x ₁ = -0.69 x ₂ = 15.8*
	EH2	-19.044	0.228		
	EH3	1.785	0.333		
	EH4	-0.059	0.424		
	Constante	67.835	0.153		
Vicuñas macho	Edad M	63.615	0.163	93.76986+63.61515X-15.18157X ² +1.435657X ³ -0.044993X ⁴	x ₁ = -1.13 x ₂ = 17.76*
	EM2	-15.182	0.173		
	EM3	1.436	0.166		
	EM4	-0.045	0.163		
	Constante	93.770	0.085		

Leyenda: Edad H: Edad vicuñas hembra; EH2=EdadH² y así sucesivamente; Edad M: Edad vicuñas macho; EM2=EdadM² y así sucesivamente.* Valor significativo. Asimismo, X representa la variable Edad según corresponda. Además, el modelo planteado es de grado 4, por lo que tiene 4 soluciones, al optimizar se obtiene 2 soluciones reales x1 y x2, para el caso el valor positivo corresponde a la edad máxima de esquila de la vicuña según sexo que es x₂.

F-Fisher, los cuales brindan significancia individual y global, respectivamente.

Cuando se obtiene el modelo biológico es posible determinar el valor del máximo técnico y óptimo técnico mediante la derivación, en la medida que reflejen valores reales considerando en este caso solo los valores positivos. O sea, el valor del máximo técnico refleja la máxima edad de esquila de la especie, y el valor del óptimo técnico refleja la edad de mayor producción de fibra.

MODELO BIOECONÓMICO DE ESQUILA ÚNICA A PRECIO CONSTANTE

Basado en el comportamiento de los precios de la fibra de vicuñas a nivel de la Reserva Nacional Pampa Galeras – zona de mayor producción de fibra de vicuña a nivel del Perú, la **Figura 2** muestra la evolución del precio de la fibra de vicuña en dólares por kilogramo desde 1997 al 2011 teniendo como precio base el año 2011, es decir, a los valores del precio de la fibra de vicuña se ha eliminado el efecto de la inflación y ello permite que sean

comparables en el tiempo siendo el 2011 como referencial para la variable precio. Además, se observa que a lo largo del tiempo el precio de la fibra de vicuña ha tendido a estabilizarse, lo cual permite plantear un modelo de esquila única a precio constante.

El modelo Fisher-Hotelling tiene tres variantes, en función de precio del recurso natural; de acuerdo al comportamiento del precio de la fibra de vicuña se observa la tendencia de la estabilización del precio en el tiempo, es por ello que se propone el modelo Fisher-Hotelling con rotación única (Tietenberg & Lewis, 2012), el cual permitirá determinar el tiempo de extracción óptimo del recurso definido un nivel de retorno económico (tasa de descuento).

Para el caso en análisis el modelo se denomina “modelo de esquila única a precio constante”, el cual debe de cumplir la condición de optimización que señala:

$$\frac{f'(t)}{f(t)} = r$$

Donde:

f(t): Función de crecimiento de vellón de vicuñas en función a la edad de la vicuña.

f'(t): Primera derivada de la función de crecimiento de vellón en función a la edad de la vicuña.

r: Tasa de descuento y/o costo de oportunidad del recurso en análisis.

En base a lo anterior se determina el tiempo óptimo económico para la esquila. Dado que la solución del modelo es única, se realizan cinco escenarios para la tasa de descuento, la cual varía desde 9% al 30% - donde un 9% implica el indicador para proyectos del Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP) y 30% como el costo de oportunidad del sector turismo. Por lo

Tabla II. Óptimos económicos para la producción de vellón de vicuña hembra bajo diversos escenarios de tasa de descuento (Economic optimum for the production of female vicuña fleese under various discount rate scenarios).

Escenario	Periodo de esquila (óptimo económico)
r=9%	x ₁ = 2.607 años*; x ₂ = 52.271
r=15%	X ₁ = 2.056 años*; x ₂ = 34.769
r=20%	X ₁ = 1.723; años*; x ₂ = 28.424
r=25%	X ₁ = 1.465 años*; x ₂ = 24.821
r=30%	X ₁ = 1.256 años*; x ₂ = 22.597

Elaboración propia, basado en condición de optimización* Valor significativo/ Se considera solo vicuñas hembra debido a que el modelo de vicuñas hembra es altamente significativo de forma global. Además, x₁ y x₂ son las soluciones del modelo, siendo x₁* el periodo óptimo de esquila en años

tanto, se encuentran los tiempos óptimos económicos para la esquila según escenarios.

Finalmente, se realizan las comparaciones de los valores de ambos modelos (biológico y bioeconómico), los cuales corresponden a: valores máximo técnico, óptimo técnico y óptimo económico según escenarios de la tasa de descuento.

RESULTADOS

MODELO DEL CRECIMIENTO DEL PESO VELLÓN

El modelo del crecimiento del peso vellón para las vicuñas machos y hembras en función de la edad según sexo, se muestran en la **Tabla I**.

De la **Tabla I**, se observa que el máximo técnico varía en función al sexo de la vicuña. En vicuñas hembras ocurre a 15.8 años de edad, y en vicuñas machos alcanza a 17.76 años. Lo anterior, permite señalar que las vicuñas machos no solo viven más tiempo, sino que permiten esquilarlas mas respecto a las vicuñas hembras. Ello probablemente se atribuye al mayor gasto energético que sufren las hembras durante la gestación y la lactancia, explicadas en las especies de camélidos domésticos (Bustinzá, 2001; Villalba, 2000; Quispe *et al.*, 2016).

Debido a que la función biológica es de orden 4, se observa la irregularidad de la producción de fibra de la vicuña de carácter no lineal inherente a los fenómenos biológicos y los factores climáticos propios de los Andes, y también refleja varios puntos máximos óptimos y de diversa magnitud (**Figura 3**).

Cabe destacar que el valor del máximo técnico refleja la máxima edad de esquila de la especie de acuerdo al modelo biológico, además es factible realizar varias

esquilas dentro de dicho periodo, previas a los puntos del máximo técnico.

El orden del modelo (4), implica que existen varios puntos óptimos; pero los valores obtenidos de 15.8 y 17.76 para hembras y machos, respectivamente; corresponden a la edad máxima de esquila en ambos casos.

Por otro lado, los valores del óptimo técnico – la edad de mayor producción de fibra- no se registra dado que son valores complejos y por ende incompatible con el análisis.

Respecto a la significancia, el modelo para vicuñas hembra muestra una alta significancia global (Prob > F=0.0427 y R²= 0.8185). En tanto, que el modelo para vicuñas macho muestra una significancia global (Prob > F=0.1249 y R²= 0.6517).

MODELO ECONÓMICO DE ROTACIÓN ÚNICA

La **Tabla II** muestra los valores óptimos a nivel económico del modelo de esquila única a precio constante para las vicuñas hembra bajo los diversos escenarios de rentabilidad; se muestran cinco tiempos óptimos de esquila correspondientes a cada escenario de rentabilidad (condiciones en el comportamiento del mercado de la fibra de vicuña). En general se observa que a mayor nivel de rentabilidad (tasa de descuento alta) los tiempos de esquila son menores, debido a que sugieren una mayor presión sobre la vicuña (tiempos cortos para la esquila).

Se observa que a una tasa de descuento del 9% el periodo óptimo de esquila sería cada 2.607 años; a una tasa de descuento del 20% el periodo óptimo de esquila sería a 1.723 años y a una tasa de descuento del 30% el periodo de esquila es de 1.256 años. Sobre el particular, los dos primeros escenarios, biológicamente implican una mayor longitud de la fibra debido al crecimiento

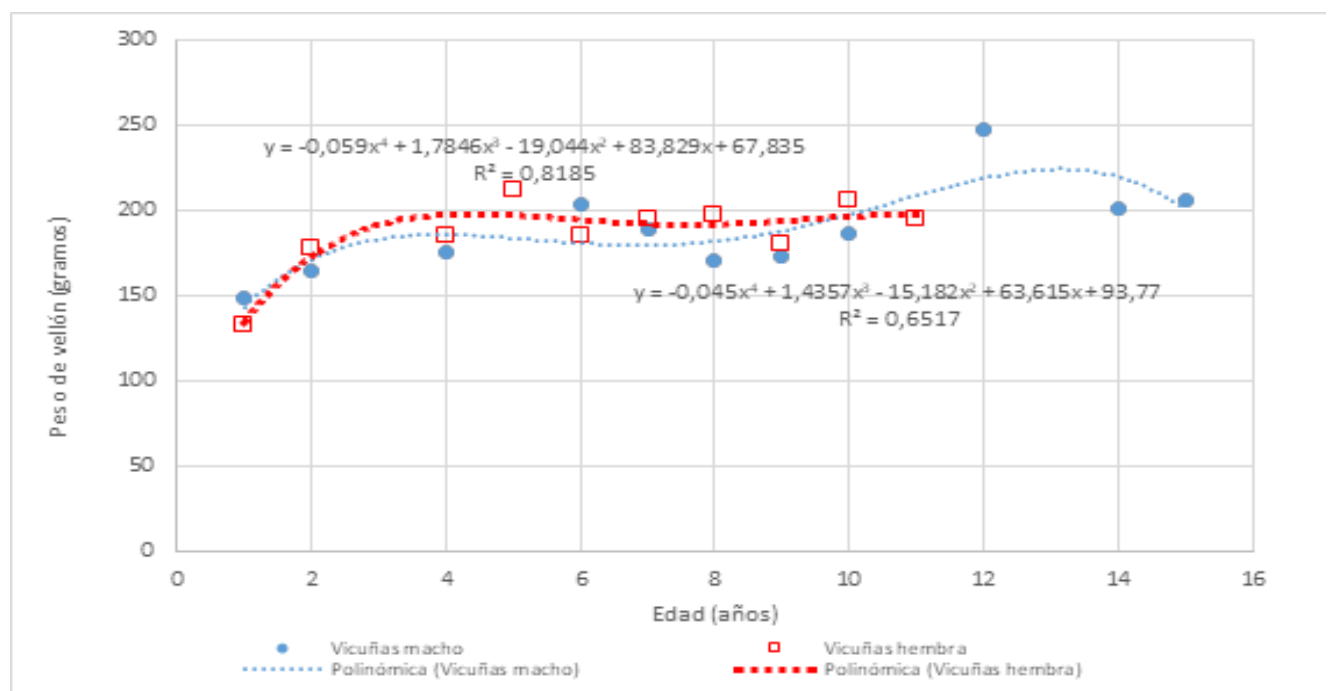


Figura 3. Modelo biológico: peso de vellón en función a la edad en vicuñas macho y hembra en el área de estudio (Biological model: weight of fleece according to age in male and female vicuñas in the study area).

pertinente a los primeros años de vida del animal; en tanto que el último escenario es probable que no reúnan la longitud mínima de la mecha (≥ 2.5 cm) que exige la industria textil.

DISCUSIÓN

MODELO DEL CRECIMIENTO DEL PESO VELLÓN

El modelo del crecimiento del peso vellón es equivalente a la función de producción dado que expresa el crecimiento de vellón de vicuñas en función a la edad de la vicuña (tiempo).

Al respecto CONAF (2005) y Bravo (1977) indican que existe influencia de la variable peso vivo de la vicuña en el peso del vellón, frente a ello, se realizaron dichas regresiones, y se encontró valores no significativos para esas variables.

Aunque la longitud de mecha no sólo refleja el crecimiento de la fibra, sino que determina el momento apropiado de la esquila de las vicuñas (Quispe *et al.* 2015); por tanto, estas variables tendrían efectos en un análisis de corte transversal, en tanto que se evidenciaría una débil asociación de ambas variables a lo largo del horizonte de vida de la especie, es decir, en un análisis de serie de tiempo la asociación es débil.

Además, el modelo de mejor ajuste corrobora el orden 4 de la función, dado que brinda valores compatibles con la biología de la vicuña (periodo de vida de 15 a 20 años en promedio) (Arzamendia & Vilá, 2003; Bonacic *et al.*, 2006).

El valor del máximo técnico refleja la edad máxima de esquila de la especie según el modelo biológico, ello no restringe que exista esquilas dentro de dicho periodo, es decir, previas a los puntos del máximo técnico. Se tiene referencias que el primero es a los 1.5 años de edad y luego cada 4 años, tal como realizaban los Incas (Chamut *et al.*, 2016; CONAF, 2005; Quispe *et al.*, 2015). Sin embargo, la explicación reside en que las vicuñas muestran un crecimiento lento de la fibra, probablemente a causa de la particular finura de la fibra de la vicuña y las condiciones del ambiente que la rodean.

Además, los resultados del máximo técnico varían en función al sexo de la vicuña; siendo de 15.8 y 17.76 años para vicuñas hembra y machos, respectivamente; donde el tiempo diferencial es atribuible al mayor gasto energético que sufren las hembras durante la gestación y la lactancia, lo cual se ahonda en especies de camélidos domésticos y se especifica con el modelo planteado (Bustanza, 2001; Villalba, 2000; Quispe *et al.*, 2016).

Otro enfoque de análisis para la esquila se dio en Chile, donde Cattán y Glade (1989) realizó un análisis histórico de la población basado en la tasa de crecimiento de la especie, al respecto esto permite brindar un análisis macro, en tanto que Quispe (2012) realiza un análisis micro incluyendo la interacción de la población de vicuñas con la población de animales domésticos (ovinos) dentro de su territorio; el estudio de referencia muestra que la población de ovinos está concentrada heterogéneamente dentro de los sectores

que conforman el área de estudio (Reserva Nacional de Pampa Galeras).

En cambio, la presente investigación se basa en una función de producción de la población de vicuñas en Cala-Cala, la cual permitiría reflejar de mejor manera los momentos de extracción para una esquila sustentable, y ser replicable en zonas que compartan las características comunes con la zona de estudio.

MODELO ECONÓMICO DE ROTACIÓN ÚNICA

El peso vellón obtenido en gramos/vicuña es muy variable de acuerdo a los resultados encontrados por diversos autores, quienes manifiestan que dicha variabilidad (200 - 263 g) podría deberse a la técnica de esquila, esquila parcial o total, frecuencia, edad y sexo (Choque, 2008).

Por tanto, desde la perspectiva de la economía de los recursos naturales, se considera que existe una interacción entre el modelo biológico –crecimiento de vellón en función a la edad de la vicuña– y el modelo bioeconómico - modelo de esquila única a precio constante - (Tietenberg & Lewis, 2012); cabe indicar que la interacción de ambos modelos incorporan el tratamiento de la incertidumbre (escenarios del nivel de rentabilidad) y el crecimiento biológico, donde los valores óptimos se logran mediante métodos de optimización.

Acorde a los escenarios planteados, los valores del óptimo económico refleja la periodicidad de esquila bajo diferentes condiciones en el comportamiento del mercado, debido a que sugieren una mayor presión sobre la vicuña, y este es más exigente en la medida que la tasa de descuento sea más alta (mayor nivel de rentabilidad). Lo anterior refleja el comportamiento del uso del recurso bajo las condiciones de mercado (Tietenberg & Lewis, 2012; Varian, 2004)

A una tasa de descuento del 9% el periodo óptimo de esquila sería cada 2.607 años; a una tasa de descuento del 20% el periodo óptimo de esquila sería a 1.723 años y a una tasa de descuento del 30% el periodo de esquila es de 1.256 años. Sobre el particular, los dos primeros escenarios, biológicamente implican una mayor longitud de la fibra debido al crecimiento pertinente a los primeros años de vida del animal; en tanto que el último escenario es probable que no reúnan la longitud mínima de la mecha (≥ 2.5 cm) que exige la industria textil.

CONAF (2005) hace referencia de tiempo de esquila de 1.5 años en Chile, Bravo (1977) cita periodos de esquila de hasta 4 años; pero Quispe *et al.* (2015) señalan que a nivel de la región Puno, la primera esquila se realiza en vicuñas juveniles (1.8 años de edad) y luego es posible esquilar cada dos años a las vicuñas adultas. Cabe destacar que, el Plan de Manejo establece que, para la esquila los requisitos contemplan que las vicuñas sean mayores a 1 año de edad, vicuñas con longitud de fibra mayor a los 2.5 cm, sin caspa y de ser el caso evitar esquilar vicuñas con gestación avanzada (Cruz 2005).

En el aspecto económico, un aspecto a resaltar son los precios, se observa dos momentos: 1997 a 2001 y 2001 al 2011. En el primero, se observa una caída del

precio producto del mercado al cual pertenece la fibra de vicuña - se tiene referencia que durante 1990 el precio se concertaba a nivel de país (Hofmann, Otte & Ponce 1983)-; mientras que, en el segundo momento las unidades de producción concertan el precio en el mercado, lo cual genera beneficios limitados a los productores altoandinos.

CONCLUSIONES

Los modelos de crecimiento de vellón en función a la edad de la vicuña para hembras corresponden a: $67.83455+83.82888X-19.04394X^2+1.784551X^3-0.0589948X^4$; mientras que para vicuñas macho corresponde a: $93.76986+63.61515X-15.18157X^2+1.435657X^3-0.044993X^4$, los cuales muestran significancia global, así como diversos puntos óptimos intermedios debido a ser funciones de orden 4.

El valor del máximo técnico –edad máxima de esquila de la especie de acuerdo al modelo biológico- para vicuñas hembras corresponde a 15.8 años, en tanto que para vicuñas machos alcanza 17.76 años. Lo anterior, permitiría indicar que las vicuñas machos viven más que las vicuñas hembras, ello asociado a factores ambientales. Lo anterior muestra una edad máxima para la esquila de la vicuña según sexo; además, existen diversos autores que mencionan la factibilidad de realizar esquilas cada 2 ó 3 años a lo largo del horizonte de vida de la especie.

Para el caso de la vicuña, se adapta el modelo bioeconómico de esquila única con precio constante, dado que el comportamiento de los precios ha mostrado una tendencia a estabilizarse, y debido a la información se considera un solo periodo, es decir, el periodo de vida de la especie.

En un escenario, donde la unidad productora de fibra de vicuña enfrente diversos costos de oportunidad expresada en la tasa de descuento, se observa que la presión sobre la especie será más exigente en la medida que la tasa de descuento sea más alta. Es decir, un escenario exigente equivalente a generar una rentabilidad del 30% implicaría una esquila cada 1.25 años, mientras que en un escenario blando del 9% implicaría una esquila cada 2.6 años; por tanto, las periodicidades de la esquila óptima en función a los escenarios varían desde 2.6 a 1.25 años que corresponden a una tasa de descuento de 9% al 30%, respectivamente para vicuñas hembra.

Cabe destacar que, en los proyectos de inversión pública en Perú se establece que sean socialmente rentables, ello se expresa en una rentabilidad del 9% (tasa de descuento=9%), en ese marco la periodicidad de esquila sería cada 2.6 años, es decir, se sugiere que la vicuña hembra sea esquilada a lo más 6 veces en su horizonte de vida, y ello estaría dentro del marco de conservación de la especie dado que es concordante con las prácticas ancestrales y el plan de manejo de la especie.

Dado que la vicuña hembra tiene una edad máxima de aprovechamiento de la fibra de 15.8, es decir, se sugiere que se puede esquilar a las vicuñas hembra hasta los 15.8 años, y la periodicidad de esquila

(cada cuanto tiempo se esquila) esta influenciada por la tasa de descuento (nivel de rentabilidad establecida), por tanto, se recomienda realizar el manejo adecuado de acuerdo al sexo del animal para evitar que la tasa de mortalidad de las hembras se vea incrementado por el aumento de esfuerzo de esquila.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del estudio agradecen al CONCYTEC, por promover becas de estudio en el Programa de Doctorado en Economía de los Recursos Naturales y Desarrollo Sostenible en la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Asimismo, se agradece al Dr Edgar Sánchez Infantas y Ph.D. (c) Jesús E Quispe Coaquira por el asesoramiento continuo en el estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Arzamendia, Y & Vilá, B 2003, 'Estudios de comportamiento y organización social de vicuñas en la RB Laguna de Pozuelos, Jujuy, Argentina, como línea de base para el manejo sostenible de la especie', in *III Congreso Mundial Sobre Camélidos -1er Taller Internacional de DECAMA*, pp. 1-5.
- Bonacic, C, Feber, RE & Macdonald, DW 2006, 'Capture of the vicuña (*Vicugna vicugna*) for sustainable use: Animal welfare implications', *Biological Conservation*, vol. 29, no. 1, pp. 530-550.
- Borgnia, M, Vilá, BL & Cassini, MH 2010, 'Foraging ecology of Vicuña, *Vicugna vicugna*, in dry Puna of Argentina', *Small Ruminant Research*, vol. 88, pp. 44-53.
- Bravo, M 1977, 'Peso vivo, peso vellón, longitud de mecha, porcentaje de Kemps y sus interrelaciones en vicuñas de Cala-Cala',.
- Bustinzá, V 2001, 'Caracterización de la histología de la piel de alpaca' Primera. UNA (ed), Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Cattan, PE & Glade, AA 1989, 'Management of the Vicuña *Vicugna vicugna* in Chile: Use of a Matrix Model to Assess Harvest Rates', *Biological Conservation*, vol. 49, pp. 131-140.
- Chamut, S, Cancino, A & Black-Decima, P 2016, 'The morphological basis of vicuña wool: Skin and gland structure in *Vicugna vicugna*', *Small Ruminant Research*, vol. 137, pp. 124-129, accessed from <<http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2016.03.010>>.
- Choque, S 2008, 'Caracterización productiva de vicuñas (*Vicugna vicugna mensalis*) en los ayllus de la Cuenca Lago Poopó de Oruro - Bolivia',.
- CONAF 2005, 'Técnicas para el manejo productivo de la vicuña (*Vicugna vicugna* Molina, 1782) en Chile' Primera. J Galaz & Gi González (eds), Corporación Nacional Forestal, Chile.
- Cruz, L 2005, 'Plan de Manejo Multicomunal Picotani, comunidades de Toma, Cambría y Picotani', , p. 48.
- Garavito, C 2012, 'Microeconomía: Teoría de la empresa', Lima.
- Gimpel, J & Bonacic, C 2006, 'Manejo sostenible de la vicuña bajo estándares de bienestar animal', in *Investigación, conservación y manejo de vicuñas*, Proyecto MACS, Buenos Aires, Argentina, pp. 1-20.
- Hofmann, RK, Otte, K & Ponce, CF 1983, 'El manejo de la vicuña silvestre', GTZ - GMBH, Eschborn.
- Johnston, RJ, Boyle, KJ, Bennett, J, Brouwer, R, Cameron, TA & Hanley, N 2017, 'Copyright The Association of Environmental and Resource Economists 2017. Preprint (not copyedited or formatted). Please use DOI when citing or quoting.',.
- McAllister, RRJ, McNeill, D & Gordon, IJ 2009, 'Legalizing markets and the consequences for poaching of wildlife species: The vicuña as a case study', *Journal of Environmental Management*, vol. 90, no. 1, pp. 120-130, accessed from <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.08.014>>.

- Quispe, D 2012, 'Análisis de la interacción entre las poblaciones de los animales domésticos y de vicuñas ¿Estabilización o competencia? en la Reserva Nacional Pampa Galeras',.
- Quispe, EC, Ramos, H, Mayhua, P & Alfonso, L 2010, 'Fibre characteristics of vicuña (*Vicugna vicugna mensalis*)', *Small Ruminant Research*, vol. 93, no. 1, pp. 64–66, accessed from <<http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2010.03.019>>.
- Quispe, J, Apaza, E, Morocco, N & Quispe, D 2016, 'De vuelta a la Alpaca: La producción primaria en una perspectiva empresarial y competitiva' Primera. UNA (ed), Universidad Nacional del Altiplano, Puno Perú.
- Quispe, J, Butrón, B, Quispe, D & Arratia, M 2015, 'Producción de fibra de vicuña en semicautiverio y silvestria: Tendencia, características y situación actual en la región Puno', *Revista de Investigación Altoandina*, vol. 17, no. 3, pp. 369–378.
- Rolando, JL, Turin, C, Ramírez, D, Mares, V, Moneris, J & Quiroz, R 2017, 'Key ecosystem services and ecological intensification of agriculture in the tropical high-Andean Puna as affected by land-use and climate changes', *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 236, pp. 221–233, accessed from <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.12.010>>.
- Tietenberg, T & Lewis, L 2012, 'Environmental & Natural resources economics' Novena. S Yagan (ed), Pearson Education, Boston.
- Trivelli, C, Escobal, J & Revesz, B 2009, 'Desarrollo rural en al sierra. Aportes para el debate.',.
- UICN 1987, 'Técnica para el manejo vicuña' H Torres (ed), PNUMA.
- Varian, H 1999, 'Microeconomía intermedia - un enfoque actual', Antoni Bosch editor, Barcelona.
- Varian, H 2004, 'Un enfoque actual Microeconomía Intermedia' A BOSCH (ed), Barcelona.
- Villalba, M 2000, 'Uso de hábitat e interacciones entre la vicuña y la alpaca en la Reserva Nacional de Fauna Ulla Ulla, La Paz, Bolivia', in B González (ed), *Actas del Seminario Internacional Manejo Sustentable de la Vicuña y Guanaco*, Universidad Católica de Chile, Chile, pp. 67–81.
- Wheeler, J 2006, 'La Vicuña (*Vicugna Vicugna*)', *Producción animal*, pp. 1–2.
- Wilson, J 2011, 'Fibres, yarns and fabrics: fundamental principles for the textile designer', in *Textile design*, Elsevier.