

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN ANIMAL**



**“MODELO DE DINÁMICA DE SISTEMAS PARA LA
ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LA GANADERÍA
ALTOANDINA”**

Presentada por:

DANTE MAURICIO PIZARRO PAZ

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

Lima - Perú

2017

DEDICATORIA

A mis padres por sus consejos, apoyo, comprensión y amor.

AGRADECIMIENTOS

Mi especial agradecimiento al Ph.D. Gustavo Gutiérrez y Dr. Maria Wurzinger, asesores del presente trabajo de investigación, por sus sabios consejos y apoyo a lo largo de mis estudios de maestría.

A la Cooperativa Comunal San Pedro de Racco por su valiosa colaboración en la realización del presente trabajo.

Al Ph.D. Javier Ñaupari y al Ing. José Haro por la ayuda brindada durante el desarrollo de la investigación.

Al PIPS en Ovinos y Camélidos Americanos por el apoyo incondicional.

Al Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales por el asesoramiento en el desarrollo del modelo de simulación.

Al Proyecto FAO "Capacity-building for the implementation of management strategies in llamas of Bolivia and Perú" y al Proyecto KEF "Strengthening llama production in the Central Andes of Perú" por haber aportado al financiamiento de la presente investigación.

Al Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) por financiar la tesis, así como mis estudios de maestría.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 MODELACIÓN Y SIMULACIÓN	3
2.1.1 Definición y clasificación de los modelos	3
2.1.3 Ventajas y desventajas de la simulación	4
2.2 DINÁMICA DE SISTEMAS	6
2.2.1 Definición de dinámica de sistemas	6
2.2.2 Diagramas Causales y de Forrester	7
2.2.3 Construcción de modelos de dinámica de sistemas	9
2.2.4 Ventajas y desventajas de la dinámica de sistemas	11
2.2.5 Aplicación de la dinámica de sistemas en producción animal	12
2.3 SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LLAMAS, ALPACAS Y OVINOS	13
2.3.1. Sistemas de producción de llamas	13
2.3.2 Sistemas de producción de alpacas	14
2.3.3. Sistemas de producción de ovinos	15
2.4 CAMBIO CLIMÁTICO EN LA GANADERÍA ALTOANDINA	17
2.4.1 Impactos sobre la ganadería altoandina	17
2.4.2 Alternativas de adaptación de los sistemas de producción ganaderos	19
III. MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1 LOCALIZACIÓN	25
3.2 DESARROLLO DEL MODELO DE SIMULACIÓN DINÁMICA	26
3.2.1 Conceptualización	26
3.2.2 Parametrización	27
3.2.3 Calibración	29
3.2.4 Descripción de los escenarios	30
3.3 EVALUACIÓN DE INGRESOS ECONÓMICOS	33

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1 MODELOS DE SIMULACIÓN	36
4.1.1. Escenario de línea base	36
4.1.2 Escenario de cambio climático de emisiones intermedias con pastoreo excluyente	36
4.1.3 Escenario de cambio climático de emisiones intermedias con pastoreo mixto llama-ovino	39
4.2 EVALUACIÓN DE INGRESOS ECONÓMICOS	40
4.2.1 Producción de carne	40
4.2.2 Producción de lana y fibra	41
4.2.3 Ingresos totales e ingresos por hectárea	43
V. CONCLUSIONES	46
VI. RECOMENDACIONES	47
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
IX. ANEXOS	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros utilizados en el modelo de simulación	28
Tabla 2. Valores iniciales de los niveles del modelo de simulación	29
Tabla 3. Parámetros utilizados en la calibración del modelo	30
Tabla 4. Proyección de los cambios de la vegetación de la CC San Pedro de Racco	32
Tabla 5. Proyección de las áreas de pajonales para cada especie de la Cooperativa Comunal San Pedro de Racco	32
Tabla 6. Pesos vivos utilizados para la estimación de producción de carne de la CC San Pedro de Racco	34
Tabla 7. Precios utilizados para la estimación de los ingresos de la CC San Pedro de Racco por la venta de carne, fibra, lana y reproductores	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplo de diagrama causal	7
Figura 2. Ejemplo de diagrama de Forrester	8
Figura 3. Representación gráfica de los modelos en dinámica de sistemas	8
Figura 4. Fases en la construcción de un modelo	10
Figura 5. Percepción de criadores sobre la tendencia del cambio de la población total del ganado	22
Figura 6. Mapa de ubicación de la CC San Pedro de Racco	25
Figura 7. Proyección de la población de borregas, llamas y alpacas hembras adultas de la CC San Pedro de Racco en pastoreo excluyente bajo escenario de cambio climático de emisiones actuales constantes	38
Figura 8. Proyección de la población de borregas, llamas y alpacas hembras adultas de la CC San Pedro de Racco en pastoreo excluyente bajo escenario de cambio climático de emisiones intermedias	38
Figura 9. Proyección de la población de borregas y llamas hembras adultas de la CC San Pedro de Racco en pastoreo mixto bajo escenario de cambio climático de emisiones intermedias	40
Figura 10. Proyección de la producción de carne (Tm) de llama, alpaca y ovino de la CC San Pedro de Racco	41
Figura 11. Proyección de la producción de lana (Tm) de la CC San Pedro de Racco	42
Figura 12. Proyección de la producción de fibra (Tm) de la CC San Pedro de Racco	43
Figura 13. Proyección de los ingresos totales (S/.) de la CC San Pedro de Racco	44
Figura 14. Proyección de los ingresos totales por hectárea (S/.) de la CC San Pedro de Racco	45

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Submodelo de la crianza de llamas en el escenario de línea base	65
Anexo 2. Submodelo de la crianza de alpacas en el escenario de línea base	66
Anexo 3. Submodelo de la crianza de ovinos en el escenario de línea base	67
Anexo 4. Planillas de contada mensual de llamas de la Cooperativa Comunal San Pedro de Racco (2012 - 2015)	68
Anexo 5. Planillas de contada mensual de ovinos de la Cooperativa Comunal San Pedro de Racco (2014 - 2015)	70
Anexo 6. Planillas de contada mensual de alpacas de la Cooperativa Comunal San Pedro de Racco (2012 - 2015)	71
Anexo 7. Ecuaciones utilizadas en el desarrollo del escenario de línea base	73
Anexo 8. Parámetros utilizados para la calibración del modelo de simulación	86
Anexo 9. Valores simulados y observados del año 2015 utilizando las tasas de natalidad y mortalidad de los años 2013, 2014 y 2015.	87
Anexo 10. Ecuaciones utilizadas en el desarrollo del escenario de cambio climático de emisiones intermedias con pastoreo excluyente	88
Anexo 11. Ecuaciones utilizadas en el desarrollo del escenario de cambio climático de emisiones intermedias con pastoreo mixto llama-ovino	102
Anexo 12. Submodelo de la crianza de llamas en el escenario de cambio climático de emisiones intermedias con pastoreo excluyente	112
Anexo 13. Submodelo de la crianza de alpacas en el escenario de cambio climático de emisiones intermedias con pastoreo excluyente	113
Anexo 14. Submodelo de la crianza de ovinos en el escenario de cambio climático de emisiones intermedias con pastoreo excluyente	114
Anexo 15. Modelo de la crianza de llamas y ovinos en el escenario de cambio climático de emisiones intermedias con pastoreo mixto	115
Anexo 16. Asunciones del modelo	116
Anexo 17. Proyección de los productos animales para los tres escenarios simulados	117
Anexo 18. Proyección de los ingresos totales (S/.) e ingresos por hectárea (S/. / ha) para la CC San Pedro de Racco	118

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo general comparar la respuesta productiva de diferentes estrategias de pastoreo con llamas, alpacas y ovinos bajo un escenario de cambio climático. Los objetivos específicos fueron: a) elaborar un modelo de simulación dinámica del pastoreo con llamas, alpacas y ovinos bajo un escenario de cambio climático con emisiones intermedias y b) comparar los ingresos económicos entre sistemas de pastoreo excluyente y mixto (llama-ovino) en un escenario de cambio climático con emisiones intermedias. El modelo de dinámica de sistemas se desarrolló utilizando el software Vensim y fue diseñado con un horizonte de tiempo de cien años utilizando una escala de tiempo de un año. Se utilizaron registros de los años 2012 a 2015 de la Cooperativa Comunal San Pedro de Racco, ubicada en la Región de Pasco, Perú. Estos registros incluyeron las tasas de nacimiento, mortalidad, saca y venta. Adicionalmente, se incluyó información de la evaluación de pastizales de la Cooperativa Comunal, así como de expertos locales. Se simularon tres escenarios: El primer escenario representó el manejo actual (pastoreo excluyente) de las llamas, alpacas y ovejas de la cooperativa, asumiendo emisiones constantes. El segundo escenario reflejó una disminución de pastizales y el desplazamiento de pastizales por arbustos de acuerdo a las proyecciones hechas para la Puna peruana asumiendo emisiones intermedias y el último escenario incorporó el pastoreo mixto de llamas y ovejas. Luego de correr las simulaciones, se realizó una evaluación de los ingresos económicos, a través de los ingresos obtenidos por la venta de carne, fibra, lana y reproductores. El modelo una vez calibrado permitió proyectar la dinámica de la población de llamas, alpacas y ovinos para los próximos cien años bajo un escenario de cambio climático de emisiones intermedias. La simulación concluyó que los ingresos económicos en el escenario de cambio climático con emisiones intermedias fueron inferiores a los ingresos obtenidos en el escenario con emisiones actuales constantes y que los ingresos económicos por hectárea en el escenario con pastoreo mixto fueron superiores al escenario con pastoreo excluyente, sugiriendo que el sistema mixto sería una buena estrategia de adaptación al cambio climático.

Palabras claves: dinámica de sistemas, ganadería altoandina, cambio climático, pastoreo mixto

ABSTRACT

The general objective of this research was to compare the productivity of different grazing strategies with llamas, alpacas and sheep under a climate change scenario. The specific objectives were a) to develop a dynamic simulation model for llama, alpaca and sheep herds under a climate change scenario with intermediate emissions and b) to compare the economic benefits between single-species and mixed (llama-sheep) grazing systems under these conditions. The system dynamics model was developed using Vensim software and was designed with a time horizon of one hundred years using a time scale of one year. Records from 2012 to 2015 of the Communal Cooperative San Pedro de Racco, located in Pasco Region, Peru were used. These records included birth, mortality, harvest and sale rates. Additionally, information from the rangeland evaluation of the Communal Cooperative and local experts were included. Three scenarios were simulated: The first scenario represented the current management (single-species grazing) of the cooperative's llamas, alpacas and sheep herd, assuming constant current emissions. The second scenario reflected a decrease in grasslands and the displacement of grasslands by shrubs according to the projections made for the Peruvian Puna assuming intermediate emissions and the last scenario incorporated the llama-sheep mixed grazing. Once the simulations were run, an evaluation of the economic benefits was made, through the income obtained from the sale of meat, fiber, wool and male and female adults. The model, once calibrated, allowed to project the dynamics of the llamas, alpacas and sheep population for the next hundred years under a climate change scenario. The simulation concluded that the economic income in the scenario of climate change with intermediate emissions was lower than the income obtained in the scenario with constant current emissions and that the income per hectare in the scenario with mixed grazing was superior to the scenario with single-species grazing, suggesting that the mixed grazing system would be a good strategy for adaptation to climate change.

Keywords: dynamic systems, highland livestock, climate change, mixed grazing

I. INTRODUCCIÓN

La ganadería altoandina se desarrolla principalmente en el Sur y Centro del país, entre altitudes que van desde los 2,200 hasta los 4,500 msnm y está en manos de comunidades campesinas quienes tienen a los pastizales como principal recurso para la alimentación de sus animales (Flores, 1992). La crianza de llamas por lo general se combina con la de otras especies, como alpacas y ovinos, y algunos cultivos, siendo la crianza de camélidos, la predominante sobre los 4000 msnm (Wheeler, 1984).

El cambio climático se define como la variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos (IPCC, 2014). Este fenómeno ocasionará un impacto negativo en la ganadería altoandina del país, conllevando a que la producción descienda entre 20% y 30% en el año 2070 (Flores, 2013). Asimismo, estas variaciones climáticas conllevarán a una reducción de las áreas de pajonales y bofedales de los ecosistemas de Puna del país, los cuales son la principal fuente de alimento del ganado; y por el contrario, habrá un incremento en las especies de arbustivas, las cuales son menos productivas (Flores *et al.*, 2015).

Los sistemas de producción animal son dinámicamente complejos, y cada uno de sus componentes es afectado por decisiones del pasado, así como por factores exógenos. La elaboración de un modelo de simulación ayuda a mejorar la toma de decisiones a través de un análisis *ex ante* de las políticas de manejo y después de que éstas sean implementadas. (Tedeschi *et al.*, 2011). Por tanto, el objetivo general de la presente investigación fue comparar la respuesta productiva de diferentes estrategias de pastoreo con llamas, alpacas y ovinos bajo un escenario de cambio climático. Los objetivos específicos fueron:

- a) Elaborar un modelo de simulación dinámica del pastoreo con llamas, alpacas y ovinos

bajo un escenario de cambio climático con emisiones intermedias

- b) Comparar los ingresos económicos entre sistemas de pastoreo excluyente y mixto (llama-ovino) en un escenario de cambio climático de emisiones intermedias.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 MODELACIÓN Y SIMULACIÓN

2.1.1 Definición y clasificación de los modelos

Se define modelo a la representación de un sistema real y puede ser desarrollado utilizando información obtenida de estudios observacionales o experimentales (Martín, 2006). Así un modelo puede ser determinístico o estocástico: Los modelos determinísticos no contienen variables aleatorias y el resultado de la predicción, determinada por un conjunto específico de condiciones, es siempre el mismo (Grant *et al.*, 1997). A diferencia de los modelos estocásticos, que contienen variables aleatorias, las cuales pueden tomar diferentes valores cada vez que se corre el modelo; lo que finalmente conlleva a que el resultado de la predicción no sea siempre el mismo (Taylor y Karlin, 1998).

Por otro lado, se encuentran los modelos matemáticos, los cuales describen sistemas utilizando conceptos y símbolos matemáticos (Ledder, 2013). Estos modelos, de acuerdo a su dimensión de tiempo, se dividen en modelos estáticos y dinámicos; la diferencia radica en que el modelo estático hace referencia a un periodo específico de tiempo, mientras que el modelo dinámico se refiere a un modelo que ocurre a lo largo del tiempo (Nicholson, 2007).

Martín (2006) menciona que existen dos clases de modelos, los modelos predictivos que son diseñados para ofrecer información precisa del futuro y los modelos de gestión que son diseños básicamente para decidir si una opción A es mejor que la opción B; en estos últimos modelos no se requieren de tanta precisión, ya que las comparaciones son igualmente de útiles.

2.1.2 Definición de simulación

De acuerdo con Shannon (1975), simulación es el proceso de diseño de un modelo de un sistema real y la realización de experimentos con este modelo con el fin de comprender bien el comportamiento del sistema o evaluar diversas estrategias (dentro de los límites impuestos por un criterio o conjunto de criterios) para la operación del sistema. La simulación debe ser vista como una forma de *Decision Support System* (DSS), es decir, que apoya la toma de decisiones en lugar de tomar decisiones en nombre del usuario (Robinson, 2004). Los modelos de simulación son utilizados para evaluar el desempeño de las alternativas predeterminadas bajo una gran flexibilidad y un alto grado de realismo proporcionado por los tomadores de decisiones, de esta manera éstos pueden elegir la alternativa que les proporcione el mejor resultado posible; no obstante deben tener un conocimiento amplio del tema para asegurar la correcta selección de una sola alternativa entre todas las que existan en el área (Shannon, 1998). La simulación es una herramienta para evaluar el rendimiento de un sistema, existente o propuesto, bajo diferentes configuraciones de interés y durante largos periodos de tiempo real (Maria, 1997)

2.1.3 Ventajas y desventajas de la simulación

De acuerdo a Craig (1996), una de las principales ventajas de la simulación es que proporciona a los usuarios información práctica del diseño de sistemas del mundo real, así el usuario puede determinar la exactitud y la eficiencia de un diseño antes de que el sistema sea construido realmente y explorar diseños alternativos sin llegar a la construcción física de los sistemas. Además, estudios han demostrado que la toma de decisiones durante la fase de diseño versus la fase de construcción disminuye significativamente el costo total de la construcción de un sistema (Chinbat, 2009).

En segundo lugar, la simulación se puede utilizar como un medio eficaz para la enseñanza o demostración de conceptos a los estudiantes, especialmente cuando se utilizan simulaciones que hacen un uso inteligente de la animación y los gráficos computarizados (Guy y Lownes-Jackson, 2015). Dichas simulaciones muestran dinámicamente el comportamiento y la relación de todos los componentes, proporcionando una comprensión significativa de la naturaleza del sistema (Byrne *et al.*, 1999).

Craig (1996) también menciona que la simulación permite estudiar un problema a diferentes niveles de abstracción, así el diseñador es capaz de entender mejor los comportamientos y las interacciones de todos los componentes dentro del sistema si aborda al sistema a un nivel mayor de abstracción. A medida que el diseñador entiende mejor el funcionamiento de los componentes de nivel superior mediante la simulación, los componentes de nivel inferior pueden ser diseñados y posteriormente simulados para la verificación y la evaluación del modelo. Los sistemas, en su totalidad, pueden ser construido utilizando este enfoque de “arriba hacia abajo”, también conocido como “descomposición jerárquica” y es esencial en cualquier herramienta de diseño y simulación de sistemas complejos (Zeigler, 1990).

De esta manera Arce (1994) elaboró un modelo estocástico para estudiar el sistema de producción de alpacas en los Andes, basado especialmente en el metabolismo energético, concluyendo que el manejo realizado por los productores permite que el sistema se recupere durante los años de buenas lluvias, asegurando su sostenibilidad. Asimismo, Osorio (2006) desarrolló un modelo de simulación que permitió evaluar la utilización de energía y proteína en llamas de diferente estado fisiológico para optimizar diferentes combinaciones de recursos productivos y decisiones de manejo.

Sin embargo, la simulación tiene ciertas limitaciones como el requerimiento de un entrenamiento especial para la construcción de modelos (Grikškaitė, 2008). La simulación es considerada un arte que se aprende con el tiempo y a través de la experiencia, es así que dos modelos del mismo sistema desarrollado por dos individuos diferentes pueden tener similitudes, pero es poco probable que sea el mismo (Shannon, 1998). Por otro lado, los resultados de la simulación pueden ser difíciles de interpretar, ya que la mayoría de los resultados son variables aleatorias y se hace difícil determinar si una observación es el resultado de las interrelaciones del sistema o simplemente es debido al azar (Giaglis *et al.*, 1996). Otra limitación propuesta por Smith (2000), es la disponibilidad de datos para describir el comportamiento del sistema y es frecuente que un modelo requiera datos escasos o no disponibles. González-Busto (1998) también menciona que economizar recursos para el análisis de la simulación puede resultar en una simulación insuficiente para el problema, consumiendo tiempo, esfuerzo y dinero para nada.

2.2 DINÁMICA DE SISTEMAS

2.2.1 Definición de dinámica de sistemas

La dinámica de sistemas fue creada a mediados de la década de 1950 por el profesor Jay W. Forrester, del *Massachusetts Institute of Technology* – MIT (Forrester, 1961). Esta metodología se desarrolló por primera vez como una disciplina de gestión para entender cómo las políticas de las empresas producen éxitos y fracasos. Posteriormente, se vio que la dinámica de sistemas no se limita al ámbito de la gestión, y se podía incursionar en los sistemas sociales más grandes, es por ello que se ha aplicado a la física, las matemáticas, los estudios sociales, la historia, la economía, la biología y la literatura en la educación primaria y secundaria de los EEUU (Forrester, 1996).

La dinámica de sistemas es una metodología utilizada para el aprendizaje, entendimiento y discusión de problemas y temas complejos (Sterman, 2000). Esta metodología considera la interacción dinámica entre los elementos del sistema estudiado y puede ayudar a entender su comportamiento en el tiempo, gracias al uso de bucles de retroalimentación, niveles y flujos (Aracil, 1983). También, es útil para la construcción de modelos, la identificación de cómo la retroalimentación de información gobierna el comportamiento del sistema y para el desarrollo de estrategias para un mejor manejo del sistema estudiado (Bertalanffy, 1976).

El objetivo principal de la Dinámica de Sistemas es lograr la comprensión de las causas estructurales del comportamiento de un sistema. Esto implica un mayor conocimiento de la función de cada elemento del sistema, a fin de evaluar cómo las diferentes acciones en diferentes partes del sistema acentúan o atenúan sus tendencias de comportamiento (Martín, 2006).

Una característica que lo diferencia de otros métodos de simulación es que no es una herramienta para predecir el futuro, más bien permite que los tomadores de decisiones puedan desarrollar habilidades de toma de decisiones, llevar a cabo experimentos y “jugar” con ellos (Sterman, 2001). Kopainsky *et al.* (2011) añaden que otra característica importante es su perspectiva a largo plazo, es decir, que el período estudiado es suficientemente largo para que todos los aspectos significativos del sistema se desarrollen con libertad. Sólo con

una escala de tiempo suficientemente amplia se puede observar el comportamiento fundamental de un sistema, siempre y cuando se identifiquen las principales causas de los posibles cambios para lo cual necesario elegir las variables apropiadas (Martín, 2006)

2.2.2 Diagramas Causales y de Forrester

Los diagramas causales (Figura 1) son diagramas que hacen explícitas las relaciones que son difíciles de describir verbalmente porque el lenguaje normal presenta interrelaciones en cadenas lineales de causa-efecto, mientras que los diagramas causales muestran que en los sistemas hay cadenas circulares de causa y efecto (Kirkwood, 1998).

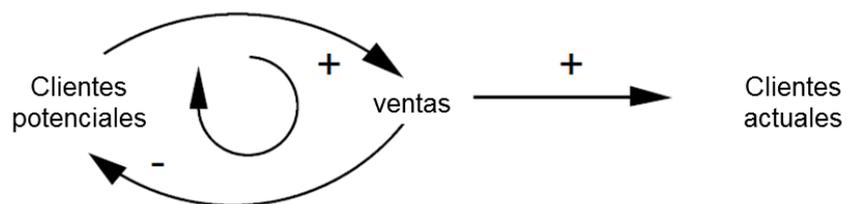


Figura 1. Ejemplo de diagrama causal (Kirkwood, 1998)

Cuando un elemento de un sistema influencia indirectamente así mismo, aparecen los llamados bucles de retroalimentación (Kampmann, 2012). Richardson y Pugh (1981) definen retroalimentación como la transmisión y retorno de la información. En otras palabras, un bucle de retroalimentación es una secuencia cerrada de causas y efectos. Es necesario tener en cuenta la retroalimentación dentro de los sistemas ganaderos para entender las causas de los patrones de comportamiento.

Los diagramas causales están compuestos por elementos y flechas (enlaces causales), éstas son las que unen a los elementos. Sumado a ellos, incluyen un signo (+ o -) en cada enlace (Martín, 2006). Un enlace causal es positivo (+) cuando un elemento A agrega a B o el cambio en el elemento A produce un cambio en el elemento B en la misma dirección; por el contrario, un enlace causal es negativa (-) cuando un elemento A se resta del elemento B o el cambio en el elemento A produce un cambio en el elemento B en la dirección opuesta (Kirkwood, 1998).

Por otro lado, los diagramas de Forrester (Figura 2) son los diagramas característicos de la dinámica de sistemas y se les conoce también como diagrama de flujos. Es una traducción de los diagramas causales a una terminología que permite la introducción de las ecuaciones a una computadora para así poder validar el modelo, observar el comportamiento de las variables en el tiempo y hacer el análisis de sensibilidad (Kirkwood, 1998).

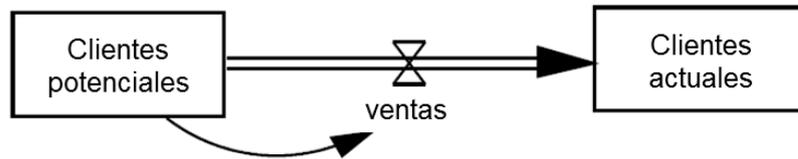


Figura 2. Ejemplo de diagrama de Forrester (Kirkwood, 1998)

Martín (2006) menciona que no existen reglas precisas de cómo hacer esta transformación, pero para empezar se recomienda hacer una fotografía mental del sistema y lo que salga en ella son los niveles, éstos pueden ser personas, animales, litros. Posterior a ello, de acuerdo a Martín (2006), se deben buscar o crear unos elementos que sean la variación de los niveles, es decir los flujos. El resto de elementos son las variables auxiliares y los niveles que vayan a permanecer constantes en lugar de definirlos como niveles se pueden definir como variables auxiliares tipo constante. Gráficamente, un modelo en dinámica de sistemas se representa en forma de proceso como se muestra en la Figura 3.

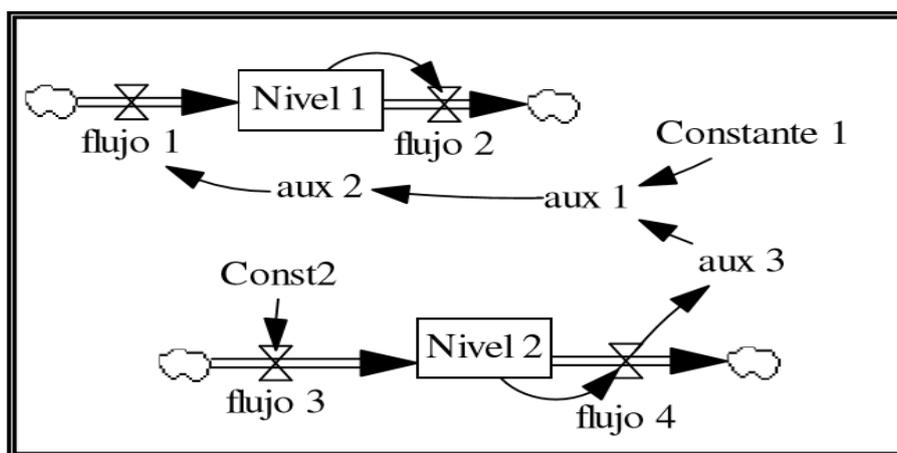


Figura 3. Representación gráfica de los modelos en dinámica de sistemas (Ortiz et al., 2006)

Ortiz *et al.* (2006) definen a los niveles, representados por un rectángulo, como aquellos elementos que representan el estado del sistema en un momento dado, presentan una acumulación y varían en función de los flujos. Los flujos son elementos que pueden definirse como funciones temporales, es decir, recogen las acciones resultantes de las decisiones tomadas en el sistema determinando las variaciones de los niveles. Las variables auxiliares y las constantes son parámetros que facilitan los pasos intermedios en la formulación de los flujos.

Las magnitudes físicas entre flujos y niveles se transmiten a través de los denominados canales de materiales. Por otra parte existen los llamados canales de información, los cuales transmiten, como su nombre indica, informaciones que por su naturaleza no se conservan. Finalmente, se mencionan a los retrasos que simulan las demoras de tiempo en la transmisión de materiales o información, para lo cual se utilizan las funciones *delay* o *smooth* (Martín, 2006).

2.2.3 Construcción de modelos de dinámica de sistemas

De acuerdo a Sterman (2000), la construcción de los modelos se puede resumir en cinco etapas:

- a. Articulación del problema: En esta etapa se describe los antecedentes del problema, el propósito del ejercicio del modelado y la evolución del problema a través de un modo de comportamiento de referencia histórica o hipotética.
- b. Hipótesis dinámica: En esta fase se construye el modelo conceptual que puede ser un diagrama causal, un diagrama de flujos y niveles o una combinación de los mismos. La hipótesis dinámica pretende definir los circuitos de retroalimentación crítica que impulsan el comportamiento del sistema. La estructura de retroalimentación endógena de un modelo conceptual debe ser capaz de reproducir el comportamiento de referencia basado en la afirmación de que "la estructura determina el comportamiento."
- c. Formulación del modelo de simulación: Es la transformación del modelo conceptual en una estructura de flujos y niveles. Además, el modelo es cuantificado, a través de la asignación de los valores de los parámetros y ecuaciones, y con ello las

simulaciones se pueden llevar a cabo.

- d. **Comprobación o evaluación del modelo:** Consiste en una serie de pruebas para evaluar la robustez del modelo. Por lo general, una evaluación integral revela errores que hacen que uno retroceda a fases anteriores del proceso de modelado. La evaluación de sensibilidad también se puede llevar a cabo en esta etapa para evaluar la estructura y las variables con alta incertidumbre.
- e. **Formulación y evaluación de políticas:** En este paso a menudo se determina si el modelo es útil para el propósito especificado. En esta fase, los usuarios del modelo prueban alternativas de políticas, intervenciones o acciones para mejorar la comprensión acerca de posibles resultados a corto y a largo plazo, las consecuencias no deseadas y las fuentes de resistencia política. Producto de ello, se espera mejorar la toma de decisiones.

El conjunto de estas fases se representa en la Figura 4. Además, se aprecia que el proceso de modelado es un proceso iterativo (Aracil, 1995) en el cual los resultados de cualquier etapa pueden resultar en la modificación de fases previas, indicado por los enlaces en el centro del diagrama (Stermán, 2000).

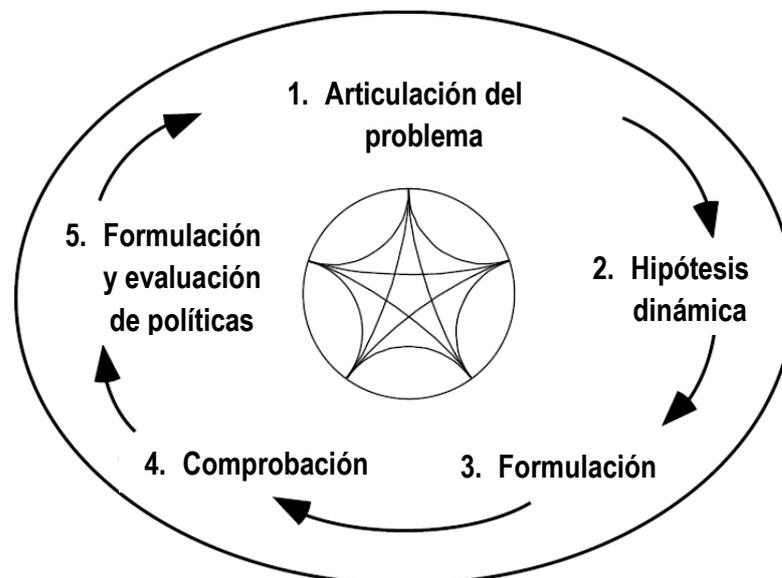


Figura 4. Fases en la construcción de un modelo (Stermán, 2000)

2.2.4 Ventajas y desventajas de la dinámica de sistemas

Ortiz *et al.* (2006) señalan cuatro ventajas de la dinámica de sistemas. La primera hace referencia a su simplicidad, es decir que la construcción de un modelo en dinámica de sistemas para una persona con experiencia es un proceso relativamente sencillo. Esta es una característica que facilita la replicabilidad de los modelos y permite evaluar políticas fácilmente. También mencionan que la dinámica de sistemas utiliza una representación gráfica de los elementos y de las relaciones entre variables que facilita la visión integral del sistema y así como de las relaciones entre las variables. Otras bondades de la dinámica de sistemas, incluyen la posibilidad de construir un modelo sin datos históricos de sus variables y generar datos a partir de simulaciones repetidas, así como el uso de herramientas para estudiar los sistemas con la participación de profesionales del tema (Luna-Reyes y Andersen, 2003).

Además, Wang *et al.* (2005) mencionan que el enfoque de la dinámica de sistemas proporciona una serie de beneficios para proyectar la gestión de riesgos, en particular para la identificación y la cuantificación de riesgos, así como para la planificación de la respuesta al riesgo.

Por otro lado, dado que la dinámica de sistemas requiere que el modelador comprenda e identifique el problema en el sistema, surge una gran preocupación cuando el problema no está claramente definido ya que esto puede conllevar al fracaso de la implementación del enfoque de dinámica de sistemas (Featherston y Doolan, 2012). Otra limitación es que sistemas muy grandes pueden ser bastante complicados de entender para el modelador, debido al gran número de escenarios complejos y al consumo de tiempo que tomaría tratar de comprenderlo (Siebers *et al.*, 2010).

Otra desventaja reportada por Ortiz *et al.* (2006) es que la facilidad de manejo de los *softwares* utilizados para la construcción de los modelos hace que cualquier persona sin una base sólida de los principios del problema que se busca estudiar, podría construir modelos que lleven a conclusiones erróneas y al mal conocimiento del problema.

2.2.5 Aplicación de la dinámica de sistemas en producción animal

En la actualidad, la dinámica de sistemas se viene aplicando al estudio en diversos sistemas de producción animal con el fin de mejorar la rentabilidad y reducir impactos ambientales negativos (Tedeschi *et al.*, 2011). Sin embargo, existen campos de aplicación más amplios, en los que se incluyen la relevancia de la producción animal en el cambio climático y las emisiones de gases de efecto invernadero y los impactos del cambio climático en la producción animal, los escenarios de producción alternativa en un sistema agrícola ganadero, las asociaciones entre la producción animal y los negocios (economía, marketing), entre otros (Warren, 2006; Rivington *et al.*, 2007).

Ejemplo de ello son el desarrollo de modelos de simulación dinámica que sugirieron que la productividad bovina y la eficiencia nutricional fueron factores claves para la mitigación de los impactos ambientales antropogénicos mediante la reducción de la demanda energética total, del uso de pastizales y de la huella de carbono de la leche, es decir los kilogramos de CO₂ equivalente por kilogramo de leche producida (Stanislao *et al.*, 2011). Otros modelos fueron desarrollados para evaluar consecuencias biofísicas y económicas de las prácticas agrícolas en sistemas de producción ovina (Parsons *et al.*, 2011), así como para identificar políticas de manejo que pueden afectar el comportamiento de un rebaño de cabras lecheras (Guimarães *et al.* 2009).

Asimismo, existen modelos de simulación que incluyen submodelos estocásticos de crecimiento y dinámica vegetal, los cuales utilizan datos de precipitación y temperatura (Mulindwa, 2010; Gebre, 2014), ya que estas variables son consideradas como las principales variables que afectan la disponibilidad del forraje y por lo tanto el rendimiento del ganado.

En lo que respecta a llamas, Treydte *et al.* (2011) desarrollaron un modelo de la población de llamas en Bolivia y evaluaron el comportamiento de esta población incluyendo factores ambientales, la estructura y dinámica del rebaño y las demandas del mercado, concluyendo que el monitoreo detallado de los factores demográficos, ambientales y económicos pueden mejorar las predicciones de desarrollo de la población de llamas a través del tiempo, así como enfocar el manejo en mejorar la tasa de natalidad y en disminuir la mortalidad de

hembras a través de la suplementación de alimentos y provisión de refugios para combatir las duras condiciones ambientales de la zona altoandina.

2.3 SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LLAMAS, ALPACAS Y OVINOS

2.3.1. Sistemas de producción de llamas

La llama (*Lama glama*) es el camélido sudamericano doméstico de mayor tamaño y tiene como antepasado al guanaco (*Lama guanicoe*) (Kadwell *et al.*, 2001). La llama juega un papel clave en la economía de los pobladores de Puna, proporcionando carne, fibra, estiércol, así como animal de carga.

La crianza de llamas en el Perú se desarrolla en extensas áreas de pastos naturales de las zonas altoandinas donde la posibilidad de desarrollar agricultura es casi nula. Las llamas convierten con gran eficiencia, los pastos pobres de estas altitudes en productos de alta calidad como la carne (Quispe *et al.*, 2008). En los Andes Centrales, el sistema de crianza de llamas es extensivo y tiene como principal objetivo la producción de carne. Además, está basado en el uso de pastizales de propiedad comunal. El rebaño promedio es mixto y está compuesto por llamas, alpacas, ovinos, y vacunos, siendo la variedad K´ara la predominante (Mendoza, 2013). Además, se presume que esta variedad tiene propiedades favorables para la producción de carne, aunque aún se requiere realizar mayor investigación (Wurzinger *et al.*, 2005). Por otro lado, el empadre es continuo y no controlado; las hembras y machos de reemplazo provienen mayoritariamente del propio rebaño, seguido de compras e intercambio (Gutiérrez *et al.*, 2012; Wolfinger, 2012).

De acuerdo al III Censo Nacional Agropecuario la población total de llamas era de 1,006,614 de cabezas, mientras que para el IV Censo Nacional Agropecuario esta población disminuyó a 746,269 llamas (INEI, 1994; 2012). Asimismo, Quina (2015) menciona que la mayoría de los criadores del distrito de Marcapomacocha, Junín perciben que la población de llamas ha disminuido en los últimos 5 años.

2.3.2 Sistemas de producción de alpacas

La alpaca (*Vicugna pacos*) es la especie más pequeña de los camélidos domésticos y comparte muchas características con su antepasado salvaje, la vicuña (*Vicugna vicugna*) (Marin *et al.*, 2007). La distribución actual de las alpacas es el resultado de la domesticación hace 6.000 años en los territorios de la Puna Central del Per, cubriendo un territorio que va desde el norte de Perú hasta el sur de Bolivia (Wheeler, 1995).

A diferencia de las llamas, de acuerdo al III y IV Censo Agropecuario Nacional, la población de alpacas se incrementó de 2.5 a 3.5 millones (INEI, 1994; 2012). De esta manera, se considera que la crianza de alpacas es un sector que ofrece el mayor potencial para la producción de carne de calidad tanto para el mercado interno como para el externo, además de la producción de fibra que actualmente es la mayor fuente de ingreso de los productores altoandinos.

Según FAO (2005b), los sistemas de crianza de camélidos en el Perú de acuerdo a su tamaño, grado de organización y nivel tecnológico se pueden dividir en tres categorías: a) Comunidades, b) Pequeños y medianos productores y c) Empresas asociativas.

Casi la totalidad de las llamas y el 80% de las alpacas son criadas en Comunidades, parcialidades y minifundios. Estos sistemas se caracterizan por poseer un pobre manejo de los animales y de los recursos naturales. Los animales se manejan en un solo rebaño sin separación por especie, raza o sexo y en su mayoría, son rebaños mixtos compuestos por alpacas, llamas, ovinos y vacunos. Las medidas de control de enfermedades son inexistentes en la mayoría de casos y no se sigue un calendario definido de faenas ganaderas, tales como esquila o tratamientos antiparasitarios, ni un manejo racional de los pastos. En las comunidades, hay una tendencia a poseer un número de animales por encima de la capacidad receptiva de los pastos lo que conduce al sobre pastoreo y la consiguiente degradación de este recurso (Coughenour, 1991). La ausencia de medidas de control y prevención de enfermedades resulta en altos índices de mortalidad así como bajas tasas de crecimiento y de natalidad, todo lo cual resulta en bajos niveles de producción y productividad. A eso se suman las dificultades para la comercialización de los productos que dependen de una cadena de intermediarios. El resultado final es un bajo nivel de ingreso para las familias que

repercute en su nivel de vida. Este es el sector más relegado y desprotegido de los criadores de camélidos pero al mismo tiempo el que tiene un gran potencial de desarrollo por el elevado número de ganado que posee (FAO, 2005b).

Aproximadamente, el 10 a 12% de las alpacas son criadas por Pequeños y medianos productores. En este sistema, las unidades de producción están conformadas por 500 a 2000 cabezas o más. Los criadores por lo general tienen un enfoque empresarial; realizan prácticas de manejo y control sanitario aceptables y hacen de la crianza de alpacas una actividad rentable. En su mayoría son productores progresistas, consumidores de tecnología y ávidos de nuevos conocimientos. Sus parámetros de producción se ubican por encima del promedio ya que algunos de ellos llevan realizan programas de selección y son fuente de material genético de calidad (FAO, 2005b).

El 8% restante de las alpacas pertenecen a Empresas asociativas, las cuales son el resultado del proceso de la Reforma Agraria llevada a cabo en la década de los setenta durante el gobierno del Gral. Juan Velazco Alvarado, y corresponden a las antiguas haciendas alpaqueras de propiedad privada afectadas por la reforma y convertidas en Cooperativas o Sociedades Agrícolas de Interés Social (SAIS). Las unidades de producción de este sistema de explotación están conformadas por varios miles de cabezas y su nivel tecnológico es similar al de las medianas empresas, es decir, practican la clasificación de los animales por edad y sexo y siguen un calendario de manejo ganadero, incluyendo prácticas más evolucionadas como la esquila mecánica, rotación de pastos, control del empadre, etc. Por los volúmenes de producción que manejan por lo general gozan de mayor poder de negociación para la comercialización de los productos (FAO, 2005b).

2.3.3. Sistemas de producción de ovinos

La crianza de ovinos en el Perú, se desarrolla mayormente en la sierra, y en menor proporción en la costa y selva. Los ovinos criollos son los que abundan en el país, representando más del 60% de la población ovina nacional; sin embargo a lo largo de los años se han introducido diversas razas, como la Corriedale, Merino, Blackbelly, Hampshire Down (FAO, 2004). De este conjunto de razas, la que se adaptó mejor a las condiciones altoandinas fue la Corriedale, por esta razón representa cerca del 11% de la población

nacional ovina; mientras que la raza Merino, sólo representa el 0.4% (Aliaga, 2006).

El Censo Nacional Agropecuario del año 2012 mostró importantes cambios en el número de cabezas de ganado ovino con respecto al censo del año 1994, donde se aprecia una sensible disminución de 12 a 9.2 millones de cabezas de ovino (INEI, 1994; 2012).

De acuerdo a Flores *et. al.* (2003), los ovinos en el Perú se crían bajo tres sistemas de organización: a) Granjas familiares y comuneros individuales, b) Granjas comunales y c) Empresas y cooperativas comunales.

Las granjas familiares y comuneros individuales se caracterizan por valorar al ovino criollo y mantienen grandes cantidades de estos animales en sus rebaños contribuyendo así a la conservación de este recurso genético (FAO, 2004). La aversión al riesgo es alta y está asociada al mantenimiento de hatos mixtos de ovinos, camélidos, vacunos y animales menores como cuyes, conejos y aves de corral. Los vellones de color, principalmente negro, plomo y marrón, son apreciados por el valor agregado que se puede obtener cuando son utilizados en fabricación de prendas vestir, disfraces y artesanías, y puede ser percibida también como una estrategia para agregar diversidad y estabilidad al sistema de producción. La condición de sus pastos se caracteriza por tener una condición muy pobre debido a la alta presión de pastoreo que mantienen (Flores *et. al.*, 2003).

Las granjas comunales son sistemas que practican cruces de animales criollos con razas mejoradas, especialmente Corriedale. Por su naturaleza social destinan la mayoría de sus utilidades a programas de inversión en infraestructura de educación y salud. La aversión al riesgo es alta y la adopción de nuevas tecnologías está siempre abierta, sobre todo cuando no es costosa y haya sido generada en forma participativa. Las áreas de pastoreo del ganado de la comunidad se mantienen en condición regular a pobre (Flores *et. al.*, 2003).

Las empresas y cooperativas comunales son organizaciones que contribuyen a la mejora genética a través del mantenimiento de planteles sólidos de las razas Corriedale, Junín y Merino. La incorporación y adopción de nuevas tecnologías son frecuentes, siempre y cuando no sean costosas, independientemente de si son generadas en forma participativa o viene directamente de las estaciones experimentales (Mueller *et al.*, 1999). Generalmente

mantienen sus pastizales en una condición buena y pueden ser utilizadas para abastecer de germoplasma de plantas nativas a programas de revegetación de áreas degradadas (Flores *et. al.*, 2003).

2.4 CAMBIO CLIMÁTICO EN LA GANADERÍA ALTOANDINA

2.4.1 Impactos sobre la ganadería altoandina

Los Andes tropicales son considerados unos de los sistemas de montaña más expuestos y afectados por el cambio climático. En los países del norte de los Andes, el aumento medio de la temperatura ha sido de 0,8 °C durante el siglo pasado. Además, Urrutia y Viulle (2009), mencionan que las proyecciones para temperatura se desarrollan entre escenarios con 2 °C hasta 5 °C de aumento para el año 2100, dependiendo de los escenarios de emisiones y la ubicación. En el caso de la precipitación, es difícil obtener información que indique alguna tendencia sistemática; sin embargo, la precipitación total y estacional muestra tendencias variables entre regiones. Por ejemplo, las tendencias observadas muestran aumentos sistemáticos en precipitación en la vertiente occidental y reducciones en partes de la zona sur y central de la vertiente oriental de los Andes peruanos (SENAMHI, 2009). Hay indicios de una tendencia a la reducción en eventos de lluvias extremas en los Andes centrales del Perú, mientras que hay un aumento en el número de días de lluvias extremas en los Andes del norte del país. En referencia a las percepciones de los pobladores que habitan esta zona mencionan el retiro glaciar, los eventos climáticos más prolongados e intensos, las temperaturas más extremas y una acortada estación de lluvias (Postigo, 2014). Asimismo, Ramírez-Villegas *et al.*, (2014) sugieren que los pastizales de los Andes tropicales, uno de los ecosistemas clave para la prestación de servicios ambientales en la región, experimentarán reducciones en la riqueza y en las tasas de recambio de especies.

Se reportan varias maneras en las que el cambio climático afectará a la ganadería; en general, el incremento de las temperaturas medias tenderá a acelerar el crecimiento y desarrollo de las plantas, así como mejorar la productividad vegetal en algunas partes de los Andes tropicales donde las temperaturas frías actualmente limitan el crecimiento de las plantas (Hoffman, 2011). Los cambios en la cantidad, distribución e intensidad de la precipitación tienen efectos directos en la duración de las épocas de crecimiento de pastos y en el

crecimiento de las plantas (Izaurre *et al.*, 2011). Los cambios de temperatura, régimen de lluvias y niveles de CO₂ afectarán a la productividad de pastizales y la composición y dinámica de las especies, lo que resulta en cambios en la dieta de los animales y, posiblemente, una menor disponibilidad de nutrientes para los animales (McKeon *et al.*, 2009).

Thornton y Gerber (2010) indican que existen impactos directos e indirectos del cambio climático en los sistemas de producción ganadera al pastoreo. Entre los impactos directos se mencionan a las sequías e inundaciones, los eventos climáticos extremos, las pérdidas de productividad debido al aumento de la temperatura y la disminución en la disponibilidad de agua. Entre los impactos indirectos mencionan a la disminución de la cantidad y calidad de forraje, la aparición de epidemias y los cambios en las interacciones huésped-patógeno.

Para la ecorregión Puna, se menciona que las áreas totales de pastoreo van a disminuir debido a la expansión de la agricultura y cambio en la composición de los pastizales, donde los arbustales desplazan progresivamente los pajonales (Flores *et al.*, 2015). Asimismo, se han desarrollado proyecciones que señalan que se producirán cambios a nivel de la cobertura vegetal y uso de la tierra debido al cambio climático. Estos cambios resultarán en una reducción de la extensión de las áreas dominadas por pajonales, de 16 millones a 4 millones de hectáreas aproximadamente para el año 2100, mientras que la vegetación arbustiva crecerá de 2 millones a 7 millones de hectáreas (Flores *et al.* 2015). Por otro lado, sus proyecciones también revelan una reducción de los bofedales, un recurso estratégico para la época de sequía, en particular en aquellas zonas áridas donde estos ecosistemas constituyen la fuente principal de abastecimiento de agua en periodos críticos o de ausencia de lluvias, como es el caso de la Puna seca.

Otro impacto importante del cambio climático recae sobre la crianza de alpacas, en la cual la tasa de natalidad puede disminuir de 45% a un 25% a causa de las nevadas y heladas (Carazas, 2007). Por otro lado, la aparición de fenómenos climáticos extremos, los cambios bruscos de temperatura, los eventos climáticos fuera de época pueden conllevar a un incremento de la prevalencia de enfermedades como enterotoxemia, y neumonía, que de no ser controladas pueden provocar la totalidad de muertes de crías (Carazas, 2007).

2.4.2 Alternativas de adaptación de los sistemas de producción ganaderos

De acuerdo al IPCC (2014), la adaptación se refiere a los ajustes en los sistemas ecológicos, sociales, económicos o en respuesta a estímulos climáticos reales o esperados y sus efectos o impactos; así también, se refiere a los cambios en los procesos, prácticas y estructuras para moderar los daños potenciales o para beneficiarse de las oportunidades asociadas al cambio climático. La adaptación es el instrumento clave para mejorar la sostenibilidad de los sistemas de producción ganadera bajo la presión de factores climáticos. Los productores ganaderos se han adaptado tradicionalmente a diferentes cambios climáticos a través del conocimiento propio del entorno en el que viven. Sin embargo, la expansión de la población humana, la urbanización, la degradación ambiental y el aumento del consumo de alimentos de origen animal han logrado que esos mecanismos fracasen (Sidahmed, 2008). Además, es probable que los cambios producidos por el cambio climático ocurran a una velocidad tal que se exceda la capacidad de adaptación de tanto humanos como animales. Las siguientes alternativas han sido identificados como formas de mejorar la adaptación en el sector agropecuario (Thornton *et al.*, 2008; Sidahmed, 2008):

- Ajustes en la producción: Los cambios en las prácticas ganaderas podrían incluir: La diversificación, intensificación y/o la integración del manejo de los pastos, el ganado y producción de los cultivos; el cambio de uso del suelo; la alteración del programa de las actividades agropecuarias; la conservación de los ecosistemas y la introducción de los sistemas de producción ganaderos mixtos. Por ejemplo en los Andes Centrales del Perú, en la Región de Pasco, los campesinos consideran la diversificación como una manera de reducir su vulnerabilidad a los cambios o impactos ambientales y económicos manteniendo varias especies de ganado en diferentes combinaciones, incluyendo alpacas, ovejas, llamas y vacunos (Radolf *et al.*, 2014).
- Estrategias de mejoramiento genético: Muchas razas locales ya están adaptadas a las duras condiciones de vida, como las de la Puna. Sin embargo, los países en desarrollo se caracterizan por la falta de tecnologías en el mejoramiento genético y programas agrícolas que podrían ayudar a acelerar la adaptación. Las estrategias de adaptación abordan no sólo la tolerancia de la ganadería al calor, sino también su capacidad para sobrevivir, crecer y reproducirse en condiciones de mala nutrición, parásitos y enfermedades (Patz *et al.*, 2000). Estas medidas podrían incluir: La identificación y el fortalecimiento de las

razas “criollas” que se han adaptado a las condiciones climáticas adversas locales y fuentes de alimentos y la mejora de la genética locales a través de cruzamientos con razas tolerantes al calor y enfermedades

- Las respuestas del mercado: El mercado agropecuario podría mejorarse, por ejemplo, con la promoción del comercio interregional y los esquemas de crédito (Calvasa *et al.*, 2009).
- Los cambios institucionales y de políticas: La eliminación o introducción de subsidios, sistemas de seguros, las prácticas de diversificación de ingresos y el establecimiento de sistemas de alerta temprana en ganadería y otros sistemas de predicción y preparación de crisis podrían beneficiar los esfuerzos de adaptación (Batima *et al.*, 2006)
- La ciencia y el desarrollo tecnológico: El desarrollo de investigaciones que busquen una mejor comprensión de los impactos del cambio climático sobre la ganadería, el desarrollo de nuevas razas y tipos genéticos, la mejora de la salud animal y el desarrollo de prácticas de manejo del agua y el suelo, las cuales contribuirían a la adaptación en el largo plazo (Batima, 2007).
- El fortalecimiento de capacidades en los ganaderos: Es necesario fortalecer las capacidades de los productores para entender y hacer frente al cambio climático aumentando su conciencia de los cambios globales. Además, la capacitación en tecnologías y prácticas agroecológicas para la producción y conservación de forrajes mejora la provisión de alimentos y reduce la desnutrición y la mortalidad en los rebaños (Leary y Kulkarni, 2007).
- Sistemas de manejo del ganado: Se necesitan desarrollar prácticas de adaptación eficientes y asequibles para los ganaderos rurales que difícilmente podrían acceder a tecnologías costosas. Estas prácticas podrían incluir: La provisión de sombra y agua para reducir el estrés por calor; el ajuste de la carga animal, un menor número de animales más productivos conduce a una producción más eficiente y menos emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la producción ganadera; los cambios en la composición del rebaño, como la selección de animales de gran tamaño en lugar de animales pequeños; la mejora en el manejo del recurso hídrico a través de la introducción de técnicas simples para riego localizado (riego por goteo y por aspersión), acompañados de una infraestructura para cosechar y almacenar agua de lluvia, tales como tanques conectados a los techos de las casas (Batima, 2007).

Por otro lado, Postigo (2014) señala que las respuestas a los cambios percibidos por el

cambio climático incluyen la creación de humedales, la modificación del calendario agrícola, y el ajuste de los turnos de riego. De igual manera, Kurukulasuriya y Rosenthal (2003) elaboraron una matriz de alternativas de adaptación de la agricultura al cambio climático, donde muestran opciones a corto plazo que pueden ser aplicadas en la ganadería:

- Cambios en la diversidad biológica, a nivel de especies
- Cambios en el manejo de los animales, como cambios en la composición del hato o la distribución de especies
- Cambios en el manejo del pastoreo
- Cambios de la ubicación de los fuentes de agua
- Cambios en las prácticas de manejo de los pastizales
- Cambios de las estrategias de producción
- Cambios de las estrategias de mercado
- Implementación de técnicas de conservación de alimentos o variando la alimentación suplementaria.

Otra estrategia para hacer frente al cambio climático es el ajuste de la composición de los rebaños. En la Sierra Central, de acuerdo a Radolf (2014) muchos productores tienen planeado incrementar la cantidad de llamas porque perciben que son especies más resistentes y posiblemente mejor equipadas para afrontar la incertidumbre ambiental y climática (Figura 5). Sin embargo, la demanda actual por productos provenientes de las llamas, así como los precios, son bajos; por lo que los ganaderos estarían sometidos a perder ingresos si crían llamas exclusivamente.

Otra alternativa es el pastoreo mixto, el cual es una práctica de manejo de pastizales muy difundida en la ganadería altoandina, donde la mayoría de productores individuales crían a sus camélidos junto con ovinos en pequeños rebaños (Pfister *et al.*, 1989; San Martín y Bryant, 1989; Tichit y Genin, 1997). El pastoreo mixto se define como el pastoreo conjunto de varias especies o clases de animales en una pastura (Nicol, 1997) y es sin duda alguna, una práctica que conlleva a un uso eficaz y eficiente del recurso vegetal, la cual tiene como principal ventaja la mayor producción de ingresos por área que el pastoreo excluyente (Taylor, 1985; Buono, 2005; Luginbuhl y Pietrosevoli Castagni, 2007). Por otro lado, se sabe que el sobrepastoreo podría conllevar a un establecimiento de plantas indeseables. En

un pastoreo excluyente, la totalidad de la presión del pastoreo se atribuye a una sola especie animal con sus propias preferencias alimentarias, por ello otra ventaja del pastoreo mixto es que puede revertir el estrés de los pastos y permitir que las especies deseables se recuperen a través de la distribución de la presión de pastoreo de una forma más equitativa entre las diferentes especies vegetales (DiTomaso, 2000, Squires, 1982).

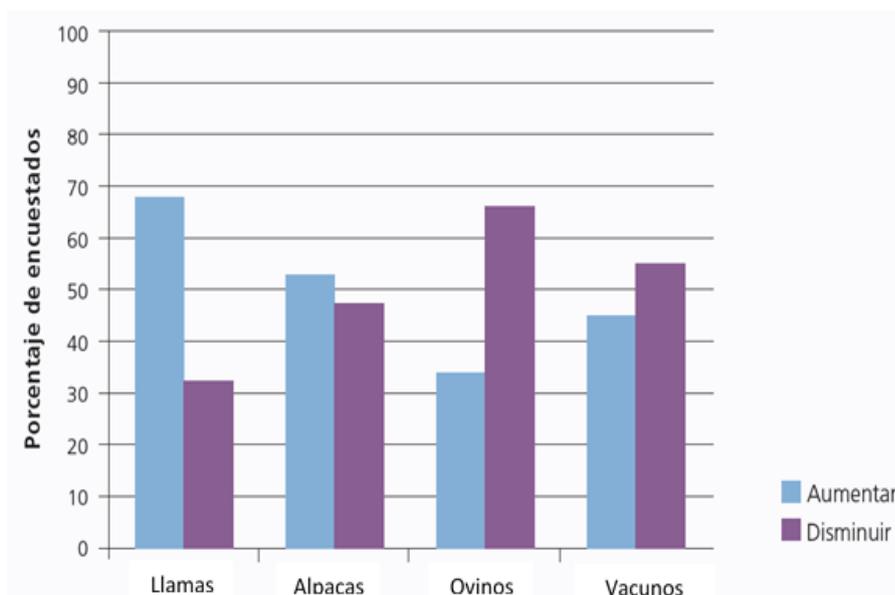


Figura 5. Percepción de criadores sobre la tendencia del cambio de la población total del ganado (Radolf *et al.*, 2014)

En el pastoreo mixto se aprovechan las preferencias de pastoreo inherentes entre las diferentes especies (Walker, 1994). De acuerdo a Quispe *et al.* (2015), el pastoreo mixto abre la comunidad vegetal y permite incrementar el consumo de gramínoideas y hierba, así como mejorar la relación hoja:tallo y disminuir la proporción de material senescente. Estas mejoras permiten incrementar el contenido de proteína cruda en la dieta, además de ser considerada como una alternativa de bajo costo y riesgo para mejorar la condición de pastizales.

Otra ventaja del pastoreo mixto es el control de parásitos, los cuales son especie – específicos; es decir, los parásitos que infectan a llamas generalmente no son los mismos que infectan a los ovinos. Por lo tanto, las llamas actúan como “aspiradoras” de los parásitos de los ovinos, y viceversa; esto rompe el ciclo de vida del parásito y disminuye la carga

parasitaria en un pastizal (Karki, 2010).

En la Sierra Central del país es muy común el pastoreo mixto de camélidos con ovinos (Flores *et al.*, 2007), así se tienen rebaños de alpaca y llama, alpaca y ovino y llama y ovino. Sin embargo, Sumar y Camino (1992) mencionan que es preferible el pastoreo de alpacas y llamas por separado debido a que las primeras prefieren lugares más húmedos como los bofedales, a diferencia de las llamas, y buscan un forraje ligeramente más nutritivo y con una mejor digestibilidad. Otros estudios afirman que el pastoreo mixto entre camélidos y ovinos disminuye el desperdicio del forraje alrededor de los estercoleros de los camélidos (Fraser, 1998); ya que los ovinos son capaces de consumir el forraje que está en contacto con el estiércol, a diferencia de los camélidos sudamericanos quienes no lo consumen (Brelín, 1979; Gauly *et al.*, 2011).

Por otro lado, Pfister *et al.* (1989) demostraron que las llamas consumen generalmente pajonales pobres y gramíneas de porte bajo, mientras que las alpacas y ovinos, consumen gramíneas de porte bajo y herbáceas, sugiriendo que estas dos especies comparten el mismo nicho alimenticio y, por lo tanto, la competencia entre ambas especies. Los estudios ecofisiológicos de Genin *et al.* (1994) demostraron que en condiciones del altiplano árido las llamas y ovinos ocupan nichos alimenticios complementarios y que existe poca competencia en el uso de los forrajes entre ambas especies. Asimismo, mediante un estudio de modelación, se mostró que un hato mixto, asociado con prácticas ganaderas diferenciadas en función de las especies ganaderas, del tamaño total del hato familiar y del ciclo de vida de la familia, es más apto para asegurar la sostenibilidad de la actividad ganadera que un hato monoespecífico (Tichit *et al.*, 2004).

Las llamas, al presentar una mayor eficiencia masticatoria que las alpacas y ovinos cuando consumen pastos largos (Flores y Gutiérrez, 1995), aprovechan mejor la vegetación pobre de la Puna (Dulphy *et al.*, 1994). Por otro lado, las llamas y los ovinos tienen características propias en términos de productividad y de reacciones frente a perturbaciones externas, que permiten a los productores aprovechar alternativamente sus ventajas comparativas en función de los cambios en sus condiciones de producción (clima, comercialización, mano de obra, etc.). Como consecuencia, las llamas brindan un componente de estabilización del sistema gracias a su habilidad a sobrevivir durante episodios drásticos de perturbación

climática y al capital que representan, mientras que los ovinos tienen una tasa de crecimiento importante en años buenos, lo que promueve la recomposición rápida del hato después de una fuerte descapitalización (Genin y Alzérreca, 2006).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN

La presente investigación se desarrolló en la Cooperativa Comunal San Pedro de Racco, ubicada en el distrito de Simón Bolívar, Provincia de Pasco, en la región de Pasco (Figura 6). Dicha cooperativa posee una extensión de 4347.5 ha y se ubica a una altitud que varía entre 4,253 a 4,446 m.s.n.m., entre las coordenadas UTM 347665 y 8803224 Latitud Sur y UTM 342601 y 8806677 Longitud Oeste. Las temperaturas durante el día oscilan los 15°C, mientras que por las noches decrece a temperaturas inferiores a los 0°C. Con respecto a la precipitación, presenta una media total por año de 1,786 milímetros (LEUP, 2013).

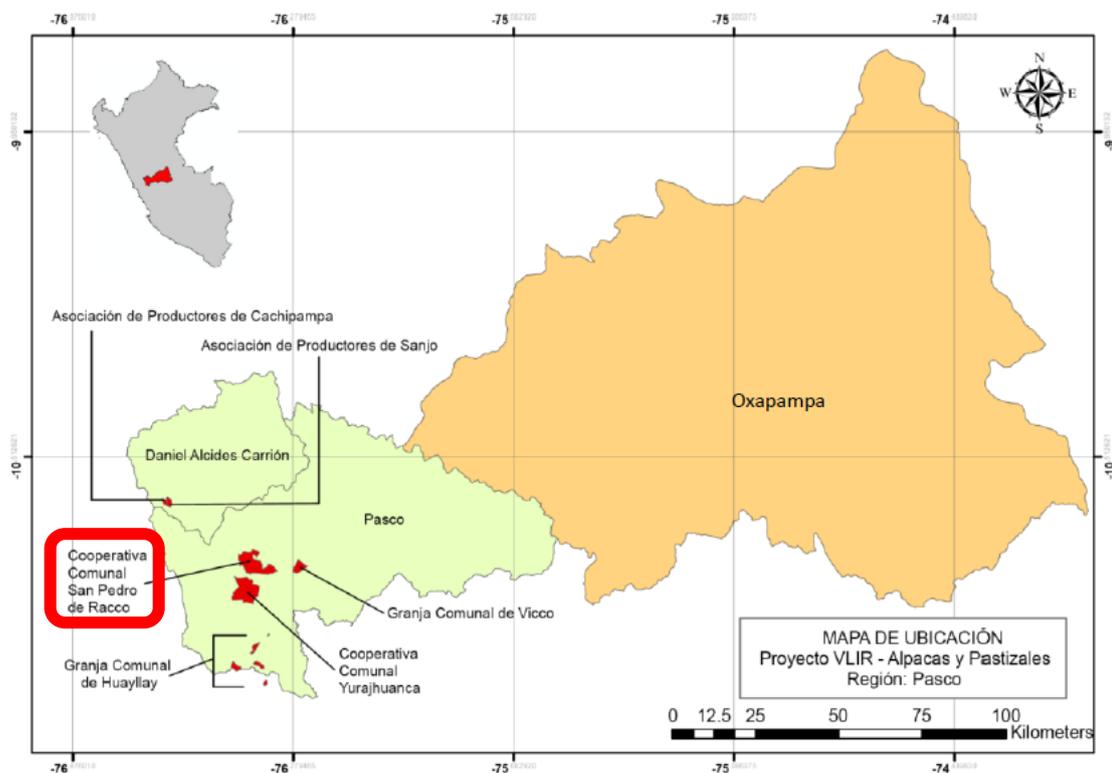


Figura 6. Mapa de ubicación de la CC San Pedro de Racco (Zarria, 2015)

Los tipos de vegetación encontrados en esta cooperativa corresponden a pajonal y césped de puna. El primer tipo de vegetación tiene una extensión de 2287.3 hectáreas y está compuesto en su mayoría por gramíneas altas, encontrándose los géneros *Festuca*, *Calamagrostis* y *Stipa*. El segundo tipo de vegetación presente tiene una extensión de 2173.1 hectáreas, donde se encuentran principalmente especies de los géneros *Calamagrostis*, *Alchemilla*, *Aciachne*, *Disanthelium*, *Werneria*, *Azorella*, *Nototriche*, *Opuntia*, *Perezia* y *Picnophyllum*. La cooperativa se dedica a la crianza de ovinos, alpacas, llamas y vacunos; sin embargo, en el presente estudio no se consideraron a los vacunos debido a que desde el 2012 la cooperativa tomó la decisión de reducir la población de ganado vacuno debido a la poca rentabilidad que esta especie les produce. Los pastizales de la Cooperativa Comunal San Pedro de Racco se encuentran en una condición buena para alpacas y ovinos; mientras que para llamas están en condición regular (LEUP, 2013; Zarria, 2015).

3.2 DESARROLLO DEL MODELO DE SIMULACIÓN DINÁMICA

3.2.1 Conceptualización

En el presente estudio el modelo de simulación se construyó utilizando el software Vensim. El modelo se diseñó con un horizonte de tiempo de cien años utilizando una escala de tiempo de un año y tuvo como objetivo comparar la respuesta productiva a diferentes estrategias de pastoreo con llamas, alpacas y ovinos bajo un escenario de cambio climático. El modelo estuvo definido por tres submodelos que representan los rebaños de llamas, alpacas y ovinos de la Cooperativa Comunal San Pedro de Racco y cada submodelo está constituido por cinco niveles. En el submodelo del sistema de llamas, se consideraron cinco niveles: Crías, ancutas mayores machos, ancutas mayores hembras, machos adultos y hembras adultas (Anexo 1). En el nivel de crías, quienes por definición son aquellos animales desde el nacimiento hasta los 8 meses de edad, se incluyeron también a las ancutas menores (8 – 12 meses de edad) debido a que el cambio de clase ocurre en un periodo menor a un año. A diferencia del cambio de clase a ancuta mayor (1 – 2 años de edad), por lo cual se consideró como un nivel diferente a las ancutas mayores. Los adultos son aquellos animales a partir de los 2 años de edad. En el submodelo del sistema de ovinos, los niveles fueron: Corderos, carnerillos, borreguillas, carneros y borregas (Anexo 2). Se consideraron corderos a los animales desde que nacen hasta los 4 meses, mientras que los carnerillos y borreguillas son aquellos

animales de 5 a 17 meses. Los carneros y borregas son aquellos animales mayores a 18 meses de edad. En el submodelo del sistema de alpacas, los niveles considerados fueron: Crías, tuis mayores machos, tuis mayores hembras, machos adultos y hembras adultas (Anexo 3). Los niveles fueron definidos de la misma manera que en el submodelo de llamas, con la única diferencia que en este submodelo se consideran tuis, en vez de ancutas.

3.2.2 Parametrización

Los parámetros utilizados en el presente modelo se detallan en la Tabla 1. La tasa de natalidad y las tasas de mortalidad por edad se obtuvieron de las planillas de contada mensual de llamas, ovinos y alpacas de la CC San Pedro de Racco de los años 2012 al 2015 (Anexos 4, 5 y 6). Las tasas de reemplazo por vida útil se determinaron considerando 10, 8, 5 y 3 años productivos para llamas y alpacas hembras, llamas y alpacas machos, borregas y carneros, respectivamente; resultando en tasas de 0.1, 0.125, 0.2 y 0.33. Además, para limitar el crecimiento de la población de los animales se incluyó la variable Tamaño máximo de madres, la cual está definida por el área de pastoreo por especie animal y la capacidad de carga del pastizal, según especie animal y condición del pastizal. El detalle de las ecuaciones utilizadas en la parametrización del modelo se presenta en el Anexo 7.

Tabla 1. Parámetros utilizados en el modelo de simulación

Parámetro		Valor	Unidad
Tasa de natalidad	Llama	0.462	1/año
	Alpaca	0.599	1/año
	Ovino	0.662	1/año
Tasa de mortalidad	Llama (cría)	0.025	1/año
	Ancuta mayor	0.005	1/año
	Llama adulta	0.023	1/año
	Alpaca (cría)	0.037	1/año
	Tui mayor	0.007	1/año
	Alpaca adulto	0.011	1/año
	Cordero	0.113	1/año
	Carnerillo/Borreguilla	0.018	1/año
	Carnero/Borrega	0.034	1/año
Tasa de venta	Llama macho	0.056	1/año
	Alpaca macho	0.052	1/año
	Carnero	0.035	1/año
Tasa de reemplazo por vida útil	Llama y alpaca hembra	0.1	1/año
	Llama y alpaca macho	0.125	1/año
	Borrega	0.2	1/año
	Carnero	0.33	1/año
Relación M/H	Llama	1/2	admsl
	Alpaca	1/8	admsl
	Ovino	1/11	admsl
Área	Llama	416.8	has
	Alpaca	2482.2	has
	Ovino	1276.4	has
Capacidad de carga (Pajonal)	Llama	0.7	Cabezas/ha/año
	Alpaca	2.0	Cabezas/ha/año
	Ovino	3.0	Cabezas/ha/año

Fuente: Elaboración propia

Los valores iniciales de los niveles se determinaron de acuerdo a la composición de los rebaños del año 2012 y se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores iniciales de los niveles del modelo de simulación

Nivel	Valor inicial (Cabezas)
Cría llama	71
Ancuta mayor macho	62
Ancuya mayor hembra	70
Llama macho	36
Llama hembra	195
Cordero	1364
Carnerillo	218
Borreguilla	705
Carnero	89
Borrega	2201
Cría alpaca	961
Tui mayor macho	604
Tui mayor hembra	463
Alpaca macho	136
Alpaca hembra	1649

Fuente: Zarria, 2015

3.2.3 Calibración

La calibración del modelo se realizó utilizando como parámetros las tasas de natalidad y mortalidad de la CC San Pedro de Racco. Los valores por defecto que se utilizaron fueron los promedios de las tasas de los años 2012 – 2015 para llamas y alpacas, mientras que para ovinos se utilizaron los promedios de las tasas de los años 2014 – 2015, ya que no se contaron con registros de los años anteriores (Anexo 8). Los valores calibrados se obtuvieron al correr el modelo con las tasas de natalidad y mortalidades de los años 2013, 2014 y 2015 y se seleccionaron aquellas tasas que obtuvieron valores simulados de crías, juveniles y adultos

del año 2015 más cercanos a los observados en el año 2015 de acuerdo a las planillas de la cooperativa (Anexo 9). Los valores calibrados fueron los que se utilizaron para correr el modelo bajo los escenarios de cambio climático (Tabla 3).

Tabla 3. Parámetros utilizados en la calibración del modelo

Parámetro		Valor	
		Por defecto*	Calibrado**
Tasa de natalidad	Llama	0.462	0.497
	Alpaca	0.599	0.710
	Ovino	0.662	0.633
Tasa de mortalidad	Llama (cría)	0.025	0.019
	Ancuta mayor	0.005	0.006
	Llama adulta	0.023	0.023
	Alpaca (cría)	0.037	0.039
	Tui mayor	0.007	0.011
	Alpaca adulto	0.011	0.011
	Cordero	0.113	0.109
	Carnerillo/Borreguilla	0.018	0.021
	Carnero/Borrega	0.034	0.035

Fuente: Elaboración propia

*Valores promedios de las tasas de natalidad y mortalidad de los años 2013 al 2015.

**Valores obtenidos de la calibración.

3.2.4 Descripción de los escenarios

El modelo de simulación del presente estudio se construyó utilizando el software Vensim y se diseñó con un horizonte de tiempo de cien años utilizando una escala de tiempo de un año. Los escenarios fueron elaborados para comparar la respuesta productiva de los pastizales entre sistemas de pastoreo excluyente y mixto bajo un escenario de cambio climático de emisiones intermedias. Dichos escenarios se detallan a continuación:

a. Escenario de línea base

Este escenario representa el manejo actual de los rebaños de llamas, alpacas y ovinos de la CC San Pedro de Racco, es decir, bajo un sistema de pastoreo excluyente y en un escenario de cambio climático en el cual se asume que las emisiones del año 2010 correspondientes a $49 \pm 4,5$ GtCO₂-eq/año (IPCC, 2014) se mantienen constantes a lo largo del horizonte de tiempo simulado. Las hectáreas destinadas para el pastoreo fueron de 416.8, 2482.2 y 1276.4 hectáreas para llamas, ovinos y alpacas, respectivamente; de acuerdo al uso actual de pastoreo de la cooperativa y se asume que también permanecieron constantes a lo largo de la simulación. Las cargas animales utilizadas fueron las recomendadas para pastoreo excluyente en pajonales de condición regular para llamas (0.7 llamas/ha/año) y buena para alpacas (2 alpacas/ha/año) y ovinos (3 ovinos/ha/año), de acuerdo a Flores (1991).

b. Escenario de cambio climático de emisiones intermedias en pastoreo excluyente

Este escenario, a diferencia del anterior, incorpora dos efectos del cambio climático para la Puna del Perú, como la disminución de las áreas de pastoreo en pajonales por cambios de uso de la tierra y desplazamiento de pajonales por arbustivas (BID – CEPAL, 2014).

Las áreas de pastoreo para los años 2042, 2072 y 2112 se estimaron asumiendo la misma disminución porcentual observada en los cálculos de reducción de áreas pastoreables para la Puna en el escenario A1B (emisiones intermedias) del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático), según Flores *et al.* (2015). Estas reducciones fueron equivalentes a un 11.9%, 25.9% y 37.0% menos áreas disponibles respecto del área de pastoreo en el año 2012. Las áreas de arbustivas se calcularon en función al porcentaje que representaban los arbustos con respecto al total de área de pastoreo inicial en las proyecciones para la Puna, de acuerdo a Flores *et al.* (2015). El resultado fue la aparición de arbustivas en un 9.9%, 20% y 22.5% para los años 2042, 2072 y 2112, respectivamente. Los cambios en las áreas de pajonales y césped fueron determinados por la diferencia entre las áreas de pastoreo total y las áreas de arbustivas, considerando 4175.4 hectáreas de área de pastoreo para la CC San Pedro de Racco en el año 2012. Estos cambios se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 4. Proyección de los cambios de la vegetación de la CC San Pedro de Racco

Áreas (has)	2012	2042	2072	2112
Área de pastoreo de la CC San Pedro de Racco	4175.4	3678.5	3094	2630.5
- Área de tolar	0	411.6	836.8	941.3
- Área de pajonal y césped	4175.4	3266.9	2257.2	1689.2
Área no pastoreable	0	496.9	1081.4	1544.9
Área total	4175.4	4175.4	4175.4	4175.4

Fuente: Elaboración propia

Las áreas de pajonales se destinaron para el pastoreo de las tres especies animales, mientras que las áreas de tolares se destinaron exclusivamente para el pastoreo de llamas, debido a la capacidad de estos animales para incluir tolas en más de un 70% de su dieta durante la época seca (Flores, 1997). Las cargas animales utilizadas para los pajonales fueran las mismas que se utilizaron en el primer escenario, mientras que para los tolares en condición regular se estimó una carga de 0.6 llamas/ha/año utilizando la disminución porcentual de carga de pajonales a arbustivas del trabajo de Oscanoa y Flores (1992) en Puna Seca.

La proporción de disminución de las áreas de pajonales y césped (Tabla 4) se aplicó sobre las hectáreas de pajonal disponibles en cada año de proyección para estimar las áreas de pastoreo correspondientes a cada especie animal (Tabla 5). Las ecuaciones utilizadas en el presente escenario se detallan en el Anexo 10.

Tabla 5. Proyección de las áreas de pajonales para cada especie de la Cooperativa Comunal San Pedro de Racco

Especie animal	2012	2042	2072	2112
Llama	416.8	326.1	225.3	168.6
Alpaca	1276.4	998.7	690.0	516.4
Ovino	2482.2	1942.1	1341.9	1004.2
Total de pajonales y césped (Has)	4175.4	3266.9	2257.2	1689.2

Fuente: Elaboración propia

c. Escenario de cambio climático de emisiones intermedias en pastoreo mixto llama-ovino

Utilizando la misma proyección de los cambios de la vegetación (Tabla 4), se desarrolló un escenario que a diferencia del escenario anterior incluye una estrategia de manejo diferente, el pastoreo mixto de llamas y ovinos en el total de área de pastoreo de la cooperativa. Para ello se utilizaron las cargas recomendadas para pastoreo mixto de 0.9 (llamas/ha/año) y 2 (ovinos/ha/año), considerando un pastizal de condición regular para llamas y buena para ovinos, respectivamente (Florez y Malpartida, 1987). Las ecuaciones utilizadas en el presente escenario se detallan en el Anexo 11.

3.3 EVALUACIÓN DE INGRESOS ECONÓMICOS

Una vez corridos los escenarios, éstos fueron comparados mediante una evaluación de los ingresos económicos, a través de los ingresos que obtiene el productor por la venta de carne, fibra, lana y reproductores. La producción de carne se estimó utilizando las salidas de las simulaciones correspondientes a los animales de saca, es decir, ancutas mayores, llamas adultas, tuis mayores, alpacas adultas, carnerillos, borreguillas, carneros y borregas de saca. El valor proyectado fue multiplicado por el peso vivo promedio de cada categoría animal (Tabla 6).

Para estimar la producción de fibra y lana se utilizaron los valores proyectados para los niveles de tuis, alpacas adultas, borreguillas, carnerillos, borregas y carneros. Estos valores fueron multiplicados por el peso promedio de vellón, considerando 3, 2.5, 1.15 y 3.75 kilogramos por animal para tuis, alpacas, borreguillas/carnerillos y borregas/carneros, respectivamente. La venta de reproductores se estimó utilizando las salidas de los animales machos adultos para venta de las tres especies.

Tabla 6. Pesos vivos utilizados para la estimación de producción de carne de la CC San Pedro de Racco

Categoría	Peso vivo (Kg)
Ancuta hembra	80
Ancuta macho	90
Llama hembra adulta	110
Llama macho adulto	130
Tui hembra	55
Tui macho	53
Alpaca hembra adulta	60
Alpaca macho adulto	65
Borreguilla	21
Carnerillo	23
Borrega	40
Carnero	55

Fuente: Elaboración propia

Para determinar los ingresos por la venta de carne, lana y fibra se utilizaron los precios promedio recibido por el productor del departamento de Pasco en el año 2014 según MINAGRI (2015), mientras que los precios de venta de reproductores utilizados fueron los reportados por la cooperativa (Tabla 7). Asimismo, se realizó un análisis de los ingresos por hectárea, considerando las reducciones de área de pastoreo en los escenarios 2 y 3.

Tabla 7. Precios utilizados para la estimación de los ingresos de la CC San Pedro de Racco por la venta de carne, fibra, lana y reproductores

Concepto	Precio (S/.)
Carne de llama (Kg de PV)	3.9
Llama reproductor (Cabeza)	8000
Carne de alpaca (Kg de PV)	4.22
Fibra (Kg)	15.12
Alpaca reproductor (Cabeza)	2500
Carne de ovino (Kg de PV)	5.73
Lana (Kg)	5.46
Ovino reproductor (Cabeza)	1300

Fuente: Elaboración propia

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 MODELOS DE SIMULACIÓN

4.1.1. Escenario de línea base

El desarrollo del modelo de simulación permitió observar el comportamiento de los rebaños de llamas, alpacas y ovinos de la CC San Pedro de Racco a lo largo de un horizonte de tiempo de cien años. En este primer escenario (Anexos 1, 2 y 3) se observó que la población de ovinos tuvo un mayor crecimiento, expresado en número de cabezas, con respecto a los camélidos (Figura 7). Esto puede ser explicado por la condición buena de los pastizales para ovinos, así como por una mejor respuesta reproductiva de los ovinos frente a las alpacas y llamas en pastizales de buena condición y la tendencia positiva que exhiben sus pastizales (Zarria, 2015). Ciertamente ello podría ser considerado una debilidad del modelo, ya que éste resulta dependiente de la condición de pastizal inicial y no toma en cuenta variaciones de la condición en el futuro. Por otro lado, el área destinada al pastoreo de ovinos y alpacas constituyen cerca del 90% del área total de pastoreo de la cooperativa, lo cual limita aún más el crecimiento de la población de llamas.

4.1.2 Escenario de cambio climático de emisiones intermedias con pastoreo excluyente

En este escenario (Anexos 12, 13 y 14) se simularon los efectos del cambio climático, como la disminución de las áreas de pajonal y la aparición de arbustivas en las áreas de pastoreo de los rebaños de llamas, alpacas y ovinos de la CC San Pedro de Racco. Se asumió la aparición y expansión de arbustivas, en concordancia a las proyecciones del efecto del cambio climático para la totalidad de la región Puna, incluyendo Puna Seca y Puna Húmeda, debido al aumento de temperatura y el índice de aridez (Flores *et al.*, 2015).

El resultado de la simulación del presente escenario fue una reducción en las poblaciones de borregas y alpacas hembras adultas (Figura 8) debido principalmente a la disminución de las áreas de pajonales y césped de puna. La rápida disminución de la población de ovinos, comparada con la disminución más lenta en el caso de los camélidos, refleja lo reportado por Kuznar (1991), quien resalta la superioridad de esta especie en su capacidad para resistir sequías y heladas, así como su eficiencia en el consumo de vegetación de baja calidad; ambos factores que se ven intensificados con el cambio climático. No obstante, en la población de llamas hembras adultas se observó un crecimiento debido al aprovechamiento de las áreas de tolar que aparecerían en los próximos años desplazando parte de los otros tipos de vegetación (Flores *et al.*, 2015). Este aprovechamiento se debe a la capacidad que tienen las llamas para incorporar tolas en más de un 70% de su dieta durante la época seca, a diferencia de ovinos y alpacas quienes incorporan este arbusto en un 39.5% y 49% de su dieta, respectivamente (Flores, 1997). Asimismo, Coates y Ayerza (2004) indican que el uso de llamas es una opción lógica y natural para el desarrollo de sistemas de producción sostenibles para la zona altoandina. El comportamiento observado en la presente simulación respalda lo reportado por Radolf (2014), quien menciona que los productores de la Sierra Central proyectan incrementar el número de llamas en sus rebaños y disminuir los ovinos como estrategia de adaptación al cambio climático. Además, Stemmer y Valle-Zárate (2016) infieren que la llama, a comparación de la alpaca, tiene mejores posibilidades de adaptarse a los efectos del cambio climático por su preferencia por pastos con un alto contenido de fibra, poca exigencia en el consumo de agua y alta rusticidad que se manifiesta en pocos problemas sanitarios.

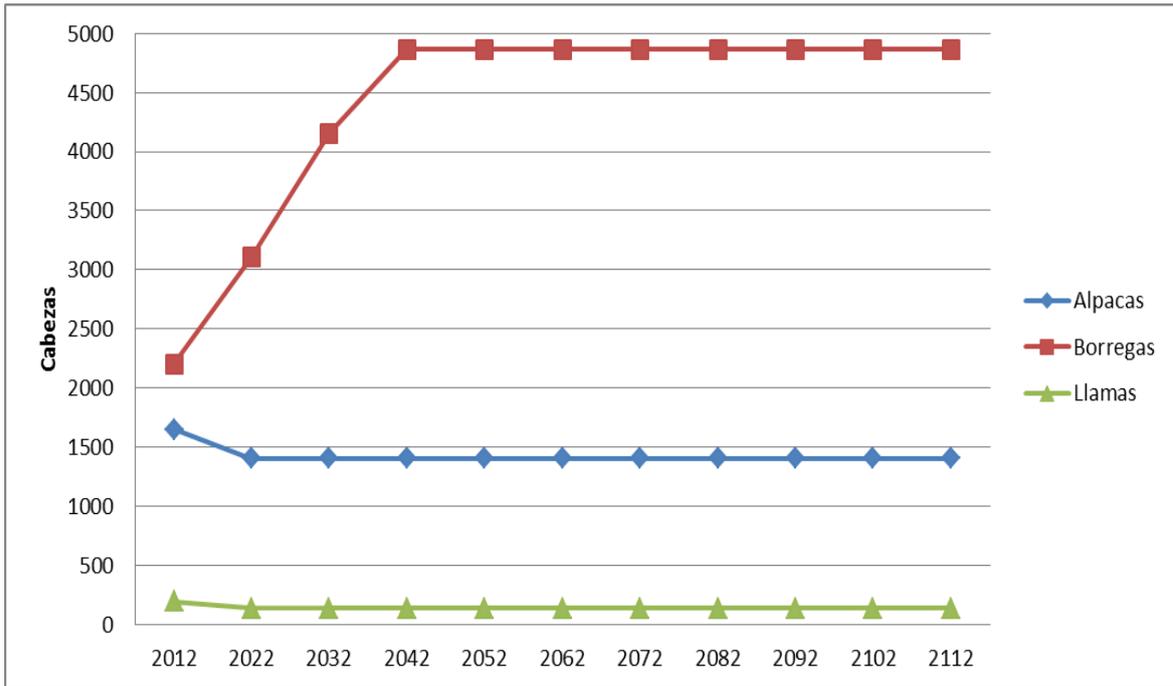


Figura 7. Proyección de la población de borregas, llamas y alpacas hembras adultas de la CC San Pedro de Racco en pastoreo excluyente bajo escenario de cambio climático de emisiones actuales constantes

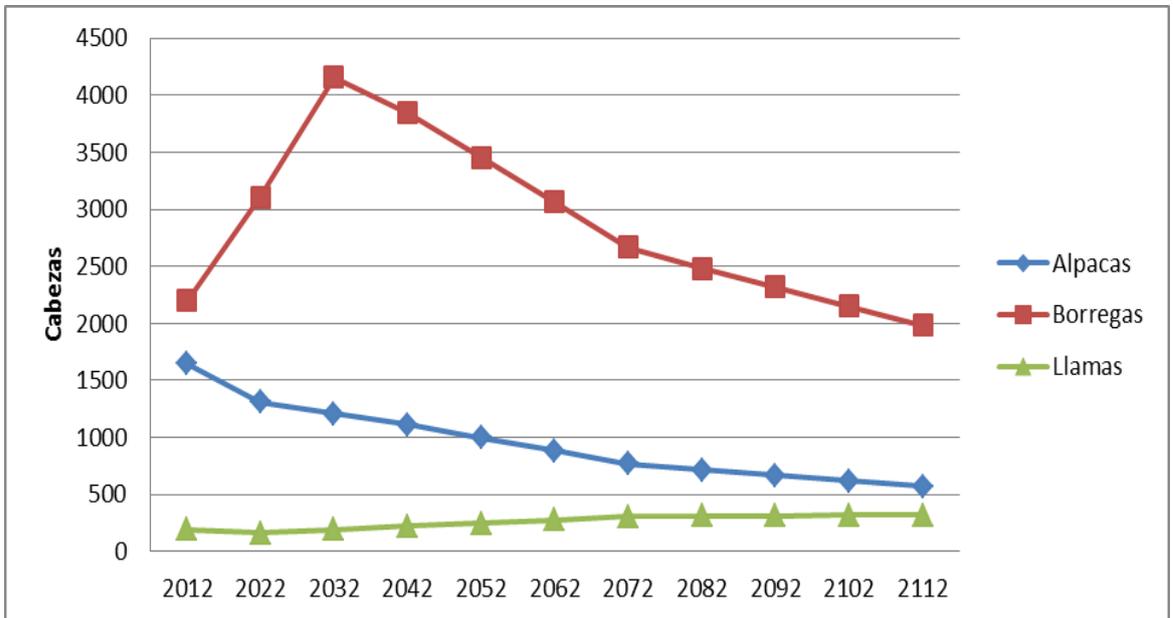


Figura 8. Proyección de la población de borregas, llamas y alpacas hembras adultas de la CC San Pedro de Racco en pastoreo excluyente bajo escenario de cambio climático de emisiones intermedias

4.1.3 Escenario de cambio climático de emisiones intermedias con pastoreo mixto llama-ovino

En este escenario (Anexo 15) se analizó el comportamiento de las poblaciones de llamas y ovinos bajo un pastoreo mixto, en el cual las áreas de pajonal y césped de puna son aprovechadas por ambas especies, y las áreas de tolares son aprovechadas exclusivamente por llamas. En el presente estudio se sugirió el pastoreo mixto entre llamas y ovinos, debido a estudios que demuestran que, en condiciones altiplánicas, las llamas y los ovinos ocupan nichos alimentarios complementarios y existe poca competencia en el uso de los forrajes entre ambas especies (Genin *et al.*, 1994). Por otro lado, Dulphy *et al.* (1994) mencionan que las llamas utilizan con una mejor eficiencia la vegetación pobre de la Puna en comparación con los ovinos, por lo que el pastoreo mixto representa una estrategia para manejar los diferentes riesgos. Además, Genin y Alzérreca (2006) mencionan que las llamas brindan un componente de estabilización al sistema gracias a su habilidad para sobrevivir durante periodos drásticos de perturbación climática, mientras que los ovinos poseen una alta tasa de crecimiento en años buenos, lo que promueve la recomposición rápida del hato después de una descapitalización importante.

Si bien es cierto que en la Sierra Central es posible encontrar pastoreo mixto de alpacas con ovinos (Flores *et al.*, 2007), en el presente estudio no se consideró esta alternativa debido a que las dietas de éstas especies incluyen gramíneas de porte bajo y herbáceas, sugiriendo que comparten el mismo nicho alimenticio y, por ende, competirían por el alimento (Pfister *et al.*, 1989). Lo mismo ocurre con el pastoreo mixto de llamas y alpacas pues al observar la composición botánica de las dietas de ambas especies se sugiere un manejo del pastoreo diferenciado para evitar una eventual competencia (Castellaro *et al.*, 2004).

Al simular el pastoreo mixto entre llamas y ovinos, se reveló un crecimiento de la población de borregas en los próximos 40 años, pero luego de ello, la población empezó a disminuir. No obstante, se observó que ésta disminución de la población ovina es más tenue a comparación del escenario anterior (Figura 8), corroborando los estudios que demuestran que los ovinos pueden habitar conjuntamente con las llamas sin que exista una competencia por el recurso forrajero (Genin *et al.*, 1994). No ocurre lo mismo con las llamas, quienes son capaces de aprovechar las áreas de tolar, teniendo más espacio pastoreable que los ovinos,

mostrando su ventaja como especie bajo condiciones adversas como el cambio climático (Kuznar, 1991).

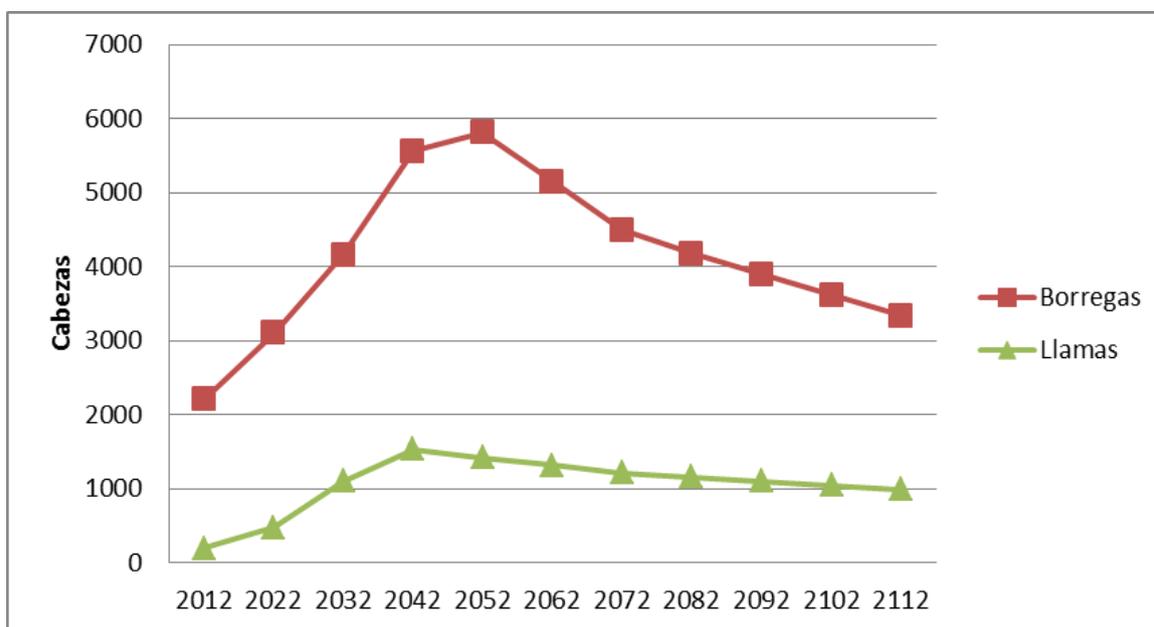


Figura 9. Proyección de la población de borregas y llamas hembras adultas de la CC San Pedro de Racco en pastoreo mixto bajo escenario de cambio climático de emisiones intermedias

4.2 EVALUACIÓN DE INGRESOS ECONÓMICOS

La evaluación económica entre los tres escenarios simulados se realizó en función a los productos animales proyectados de la CC San Pedro de Racco en un horizonte de tiempo de 100 años.

4.2.1 Producción de carne

La producción de carne se estimó de acuerdo a las salidas de las simulaciones correspondientes a todos los animales de saca. Como se observa en la Figura 10, la producción de carne inicial en el Escenario 3 (Pastoreo mixto) es menor que en los otros dos escenarios debido a que no se consideran alpacas, por lo que inicia con mucho menor

cantidad de animales que en los otros escenarios. Por otro lado, la población de llamas se encuentra en un periodo de crecimiento en el cual sólo se considera saca de animales adultos. Recién en el año 2042 se logra tener ancutas para saca que incluso permite obtener una mayor producción de carne que la del Escenario 1, como resultado del mayor número de cabezas de llama que soporta la pastura en el escenario con pastoreo mixto y al potencial que poseen las llamas para la producción de carne, que se demuestra en un mayor rendimiento de carcasa (58%, Bravo *et al.*, 1981) frente a las alpacas (52%, Calderón y Fernández-Baca, 1972) y ovinos (39.5%, Fernández-Baca, 1961). Además, en los escenarios 2 y 3 se aprecia una reducción considerable de la producción cárnica por efecto de los cambios en el tipo de vegetación y disminución de las áreas de pastoreo como consecuencia del cambio climático (Flores *et al.*, 2015).

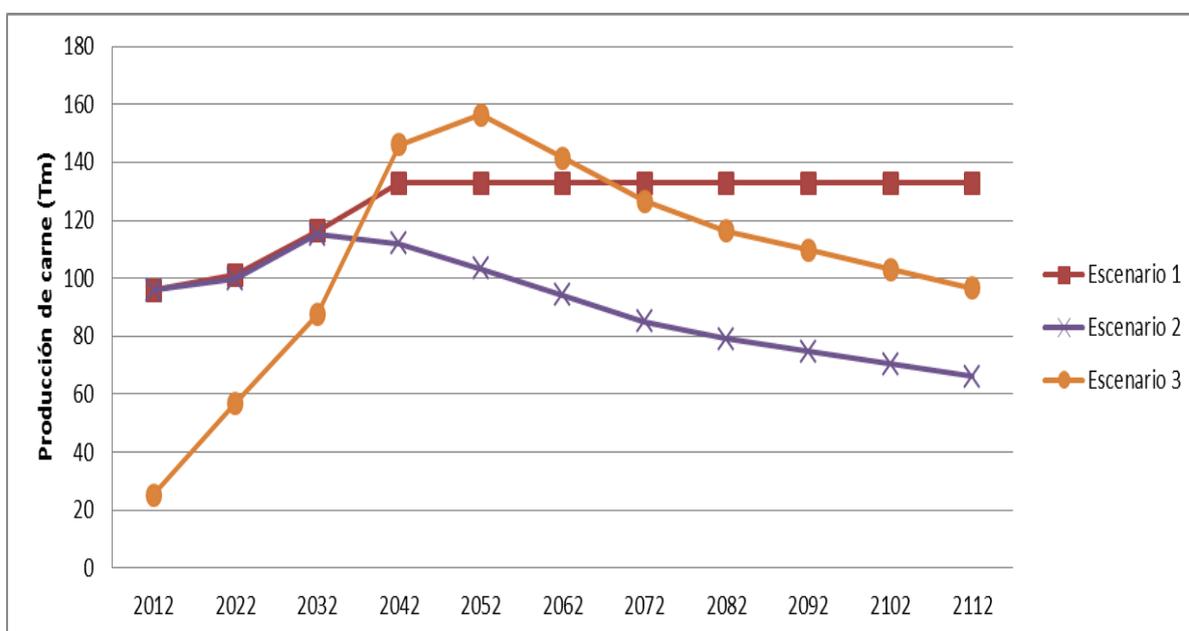


Figura 10. Proyección de la producción de carne (Tm) de llama, alpaca y ovino de la CC San Pedro de Racco

4.2.2 Producción de lana y fibra

En las Figuras 11 y 12, se puede observar la disminución proyectada de la producción de lana y fibra en los escenarios que simulan los efectos del cambio climático. En la Figura 11 se aprecia que la producción de lana tiene un comportamiento similar para los tres escenarios; sin embargo, a partir del año 2032 se observa que en el Escenario 3 la producción

de lana es superior que en el Escenario 2, mostrando la ventaja del pastoreo mixto sobre el pastoreo excluyente en el uso de los pastizales para la crianza de ovinos.

En la Figura 12 sólo se muestra el comportamiento de la producción de fibra en los escenarios 1 y 2, debido a que en el presente estudio no se consideró un escenario de pastoreo mixto en el cual se incluya a la alpaca. No obstante, la proyección revela una alarmante disminución de la producción de fibra de alpaca, incluso a niveles por debajo de lo actual. Si bien es cierto, que en el presente modelo se asume que la producción de fibra por animal se mantiene constante a lo largo del horizonte de tiempo estudiado, una reducción del valor nutricional de los pastos tendría un efecto negativo en la calidad y cantidad del vellón producido (McGregor, 2002), que se sumarían a la reducción proyectada en el modelo. Esta caída en la producción de fibra traería graves consecuencias ya que actualmente gran parte de los ingresos de los productores, incluida la Cooperativa Comunal San Pedro de Racco, provienen de la venta de fibra de alpaca (Radolf, 2014).

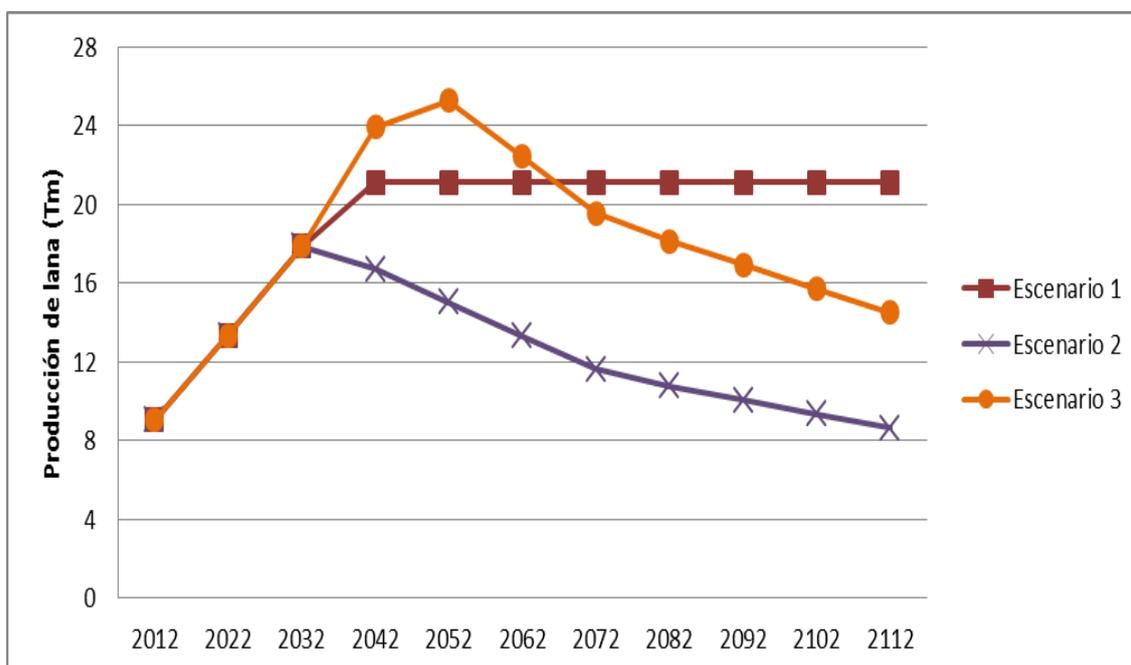


Figura 11. Proyección de la producción de lana (Tm) de la CC San Pedro de Racco

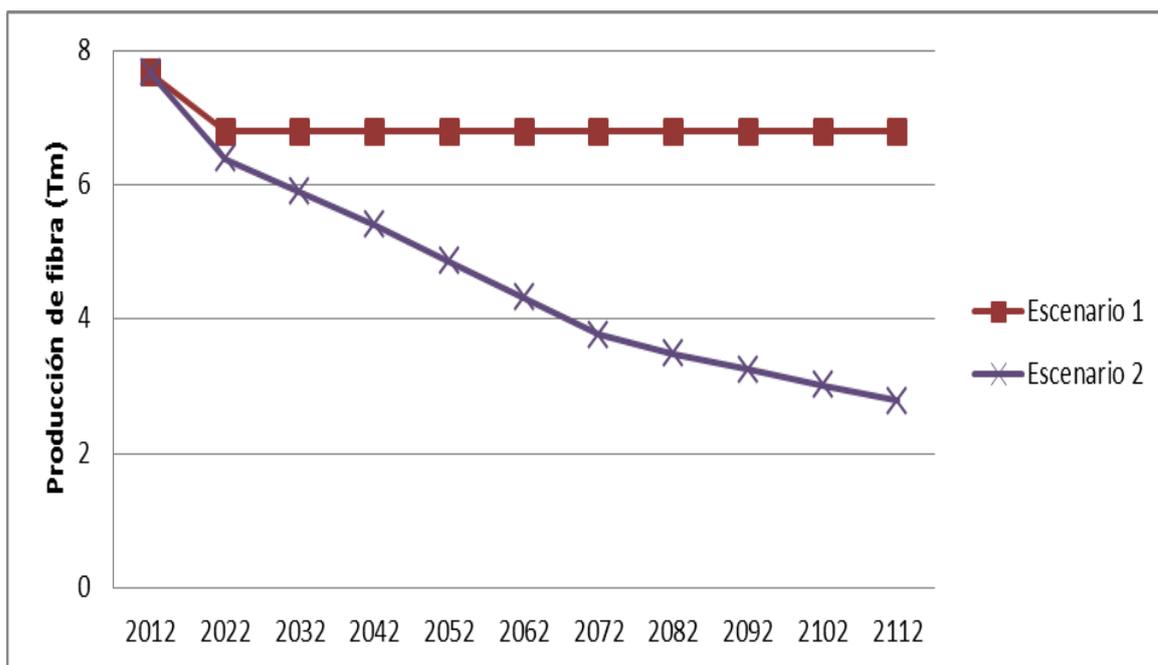


Figura 12. Proyección de la producción de fibra (Tm) de la CC San Pedro de Racco

4.2.3 Ingresos totales e ingresos por hectárea

La proyección de la producción de carne, lana, fibra, así como de reproductores permitió estimar los ingresos totales de la CC San Pedro de Racco. Asimismo, se realizó un análisis de los ingresos por hectárea, considerando las reducciones de área de pastoreo en los escenarios 2 y 3. La comparación de los escenarios en base a los ingresos totales e ingresos por hectárea se realizó a lo largo del horizonte de tiempo estudiado. En los tres escenarios se asumió que la producción (carne, fibra y lana) por animal y los precios de cada producto se mantuvieron constantes a lo largo del horizonte de tiempo estudiado. En la Figura 13 se observa que los ingresos totales en los primeros del Escenario 3 (Pastoreo mixto) son inferiores a los escenarios 1 y 2, ya que gran parte de los ingresos en éstos escenarios provienen de la venta de fibra de alpaca. Sin embargo, a partir del año 2032, los ingresos totales del Escenario 3 logran superar los ingresos de los otros dos escenarios. Además, en la Figura 13, se observa el impacto directo del cambio climático en los ingresos de la CC San Pedro de Racco, donde para el año 2032 se estima un ingreso de ochocientos mil soles, para el año 2112 por efecto del cambio climático este ingreso anual disminuiría a cuatrocientos mil soles aproximadamente en el Escenario 2 (Pastoreo excluyente).

Asimismo, al evaluar el ingreso por hectárea (Figura 14), se observa que el ingreso por hectárea en el tercer escenario está por encima de los escenarios 1 y 2, mostrando claramente el beneficio económico que se obtendría al manejar los pastos bajo un sistema de pastoreo mixto. Los resultados del presente estudio demuestran la ventaja que tiene el pastoreo mixto sobre el excluyente al brindarle un uso más eficaz y eficiente al recurso vegetal (Taylor, 1985; Nicol, 1997).

Además, muestra el importante papel que tendrían los camélidos, en especial las llamas, en la adaptación al cambio climático. Esta adaptación, en gran medida, se debe a su capacidad para utilizar pastos más fibrosos que de acuerdo con Flores *et al.* (2015) serían más prevalente en los pastizales por efecto del cambio climático.

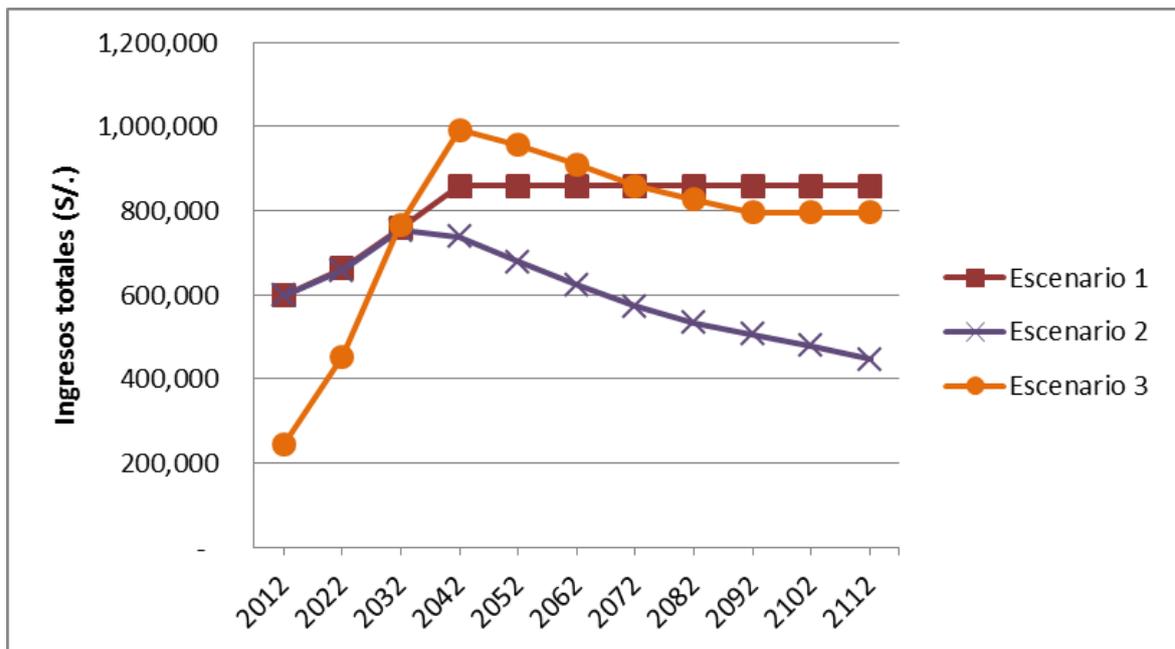


Figura 13. Proyección de los ingresos totales (S/.) de la CC San Pedro de Racco

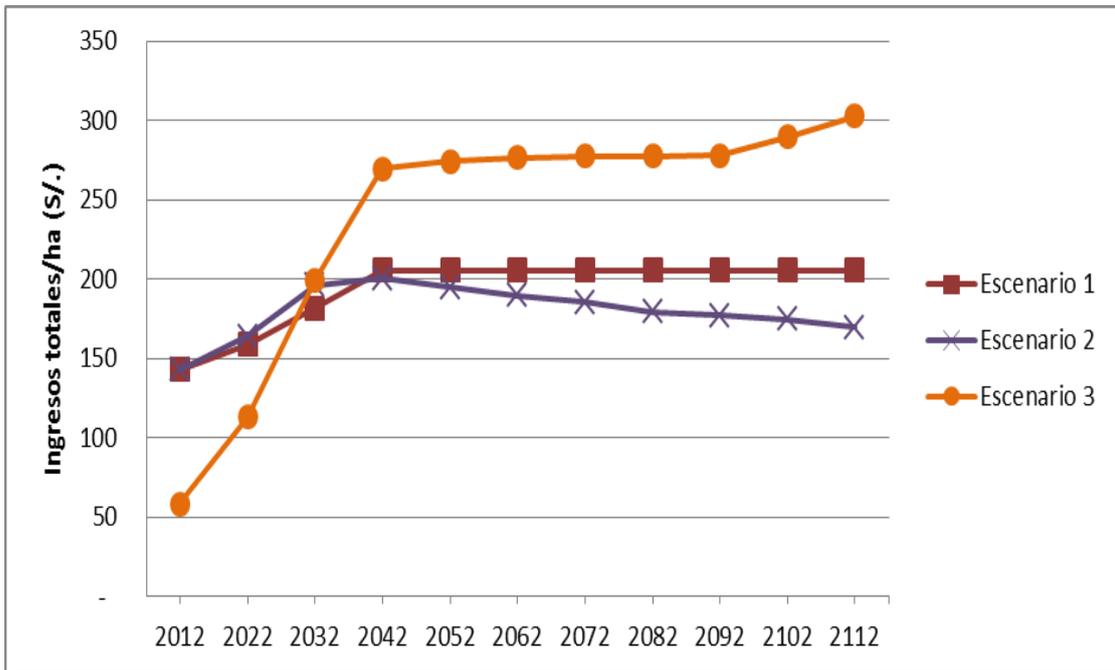


Figura 14. Proyección de los ingresos totales por hectárea (S/.) de la CC San Pedro de Racco

V. CONCLUSIONES

1. El modelo de simulación dinámica una vez calibrado permitió proyectar la dinámica de la población de llamas, alpacas y ovinos para los próximos cien años bajo un escenario de cambio climático de emisiones intermedias.
2. Los ingresos económicos en el escenario de cambio climático con emisiones intermedias fueron inferiores a los ingresos obtenidos en el escenario con emisiones actuales constantes, sugiriendo una disminución del rendimiento económico de los pastizales altoandinos en el futuro debido al cambio climático.
3. Los ingresos económicos por hectárea en el escenario con pastoreo mixto fueron superiores al escenario con pastoreo excluyente, lo que sugiere que el sistema mixto sería una buena estrategia de adaptación al cambio climático.

VI. RECOMENDACIONES

1. Incorporar variables climáticas al modelo, como temperatura y precipitación, que deriven en estimaciones más certeras de los cambios en la composición vegetal y representen mejor el impacto del cambio climático en la ganadería altoandina.
2. Incluir, para otros casos de estudio, las evaluaciones del modelo como el análisis de sensibilidad, validación o pruebas de bondad de ajuste, que no se llevaron a cabo por la falta de registros productivos previos al año 2012.
3. Desarrollar investigaciones para la determinación de cargas animales recomendadas para pastoreo mixto de más de dos especies (llama, alpaca y ovino), en diferentes ecosistemas (por ejemplo, tolares) y en diferentes épocas del año (lluvia y seca).

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALIAGA, J.L. 2006. Producción de ovinos. Juan Gutemberg Editores. Lima, Perú. 420pp.

ARACIL, J. 1983. Introducción a la dinámica de sistemas. Alianza Universidad Textos. Madrid, España. 262 pp.

ARACIL, J. 1995. Dinámica de sistemas. ISDEFE. Madrid, España. 87 pp.

ARCE, B. A. 1994. A Simulation Model of an Alpaca System in the Dry Puna of the Andes. *Agricultural Systems* 46: 205-225.

BATIMA, P., BAT, B., TSERENDORJ TS. 2006. Evaluation of Adaptation Measures for Livestock Sector in Mongolia. AIACC Working Paper No. 41. 32pp.

BATIMA, P., 2007. Climate change vulnerability and adaptation in the livestock sector of Mongolia. Assessments of impacts and adaptations to climate change. International START Secretariat, Washington DC, US.

BERTALANFFY, L. V. 1976. Teoría general de los sistemas. 2da Edición. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 312 pp

BID – CEPAL. 2014. La economía del cambio climático en el Perú - Síntesis. Pereira, M., Ludeña, C., Sánchez-Aragón, L., Miguel, C., Martínez, K. (Ed). Lima, Perú. 151 pp.

BRELIN, B. 1979. Mixed grazing with sheep and cattle compared with single grazing. *Swedish Journal of Agricultural Research* 9: 113-120.

BRAVO, W.; E. FRANCO; J. SUMAR. 1981. Rendimiento de canal en llamas. Resúmenes 4ta Convención Internacional sobre Camélidos Sudamericanos. Punta Arenas, Chile. p 60

BUONO, G. 2005. Sistema de Pastoreo Ovino-Bovino en Mallines. Revista IDIA XXI 7: 41-44.

BYRNE, M. D., CATRAMBONE, R., STASKO, J. T. 1999. Evaluating animations as student aids in learning computer algorithms. Computers & Education 33: 253-278

CALDERÓN, W., FERNÁNDEZ-BACA, S. 1972. Peso vivo y rendimiento de canal en la alpaca. Revista de Investigaciones Pecuarias IVITA 1(1):5-9

CALVASA C., CHULUUNBAATAR D., FARA K. 2009. Livestock thematic papers- tools for project design: Livestock and climate change. International Fund for Agricultural Development (IFAD). Rome, Italy. 20 pp

CARAZAS, Y. 2007. Línea de base: estrategias de mitigación en comunidades campesinas criadoras de alpaca. En: Familias alpaqueras enfrentando al cambio climático. Soluciones Prácticas. Moya, Enrique y Torres, Juan (Ed). 110 pp.

CASTELLARO, G., ULLRICH T., WACKWITZ, B., RAGGI A. 2004. Composición botánica de la dieta de alpacas (*Lama pacos* L.) y llamas (*Lama glama* L.) en dos estaciones del año, en praderas altiplánicas de un sector de la Provincia de Parinacota, Chile. Agricultura Técnica 64(4): 353-363

CAYO, I. S. 2001. Evaluación zootécnica de la crianza de ovinos Corriedale de la SAIS Pachacútec, de 1990 a 1998. Tesis Mg. Sc. en Producción Animal de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. 139 pp.

CHINBAT, U. 2009. Using simulation for reducing risk of a mining optimization project. International Journal of Simulation Modelling 8(3): 166-177.

COATES, W., AYERZA, R. 2004. Comparison of llama fibre obtained from two production

regions of Argentina. *Journal of Arid Environments* 58, 513-524.

CONDORENA, N. 1987. Proyecto de aplicación del sistema estabilizado en la crianza de alpacas de la CAP Tupala. Proyecto de desarrollo de la crianza de alpacas. CICCS, IVITA. UNMSM. Lima, Perú. p. 33-42.

COUGHENOUR, M. B. 1991. Spatial components of plant-herbivore interactions in pastoral, ranching, and native ungulate ecosystems. *Journal of Range Management* 44(6): 530-542.

CRAIG, D. C. 1996. Extensible Hierarchical Object-Oriented Logic Simulation with an Adaptable Graphical User Interface. MSc thesis submitted to the School of Graduate Studies, Department of Computer Science, Memorial University of Newfoundland, 197 pp.

CRUZ, J.A. 2012. Evaluación técnica de la producción animal. Curso de Administración y Gestión de Empresa Campesinas. Escuela Campesina de Ganadería. Universidad Nacional Agraria La Molina – Lima.

DITOMASO, J. M. 2000. Invasive weeds in rangelands: Species, impacts, and management. *Weed Science* 48(2): 255-265.

DULPHY J. P., DARDILLAT, C., JAILLER, M., JOUANY J. P. Comparison of the intake and digestibility of different diets in llamas and sheep. *Annales De Zootechnie* 43: 379-387

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2004. Perú: Primer informe nacional sobre la situación de los recursos zoogenéticos. 66pp.

FAO. 2005a. Situación actual de los camélidos sudamericanos en Bolivia. Proyecto de Cooperación Técnica en apoyo a la crianza y aprovechamiento de los Camélidos Sudamericanos en la Región Andina TCP/RLA/2914. 55pp.

FAO. 2005b. Situación Actual de los Camélidos Sudamericanos en Perú. Organización de

las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Proyecto de Cooperación Técnica en apoyo a la crianza y aprovechamiento de los Camélidos Sudamericanos en la Región Andina TCP/RLA/2914. 62pp.

FEATHERSTON, C. R., DOOLAN M. 2012. A Critical Review of the Criticisms of System Dynamics. The 30th International Conference of the System Dynamics Society. St. Gallen, Switzerland. 13 pp

FERNÁNDEZ-BACA, S. 1961. Ensayo de engorde de ovinos en la altura. Rev. Fac. Med. Vet. UNMSM 16-17: 109-127.

FLORES, E. R. 1991. Manejo y utilización de pastizales - Capítulo VI. En: Avances y Perspectivas del Conocimiento de los Camélidos Sud Americanos. Fernández-Baca, S. (ed). Santiago de Chile. FAO. 191-212 p.

FLORES, E. R. 1992. Manejo y Evaluación de Pastizales. Folleto divulgativo. Lima, Proyecto TTA – INIAA, p.27.

FLORES E. R. 1997. Tambos Alpaqueros y Pastizales: Manejo y Conservación de Praderas Naturales. Proyecto Especial Tambo Alpaqueros, Publicación Técnica. Lima Perú. 11pp.

FLORES, E. R. 2013. Pastores de Puna, Cambio climático y Seguridad Alimentaria. En conferencia “Pastores de Puna: Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático”. Lima, Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales – UNALM.

FLORES, E. R., CRUZ, J. A., LOPEZ, M. 2003. Manejo y Uso de los Recursos Genéticos en los Sistemas de Producción Ovina de los Andes Centrales del Perú. En Memorias taller sobre “Uso y manejo de los recursos genéticos de rumiantes menores en sistemas ganaderos tradicionales en países de Sudamérica”. Bariloche, Argentina: 16 -30

FLORES, E. R., CRUZ, J. A., LOPEZ, M. 2007. Management of sheep genetic resources in the central Andes of Peru. People and animals. Traditional livestock keepers: Guardians of

domestic animal diversity Edited. FAO Inter-Departmental Working Group on Biological Diversity for Food and Agriculture. 11 pp.

FLORES, E. R., GUTIÉRREZ, G. 1995. Ingestive Mastication and Forage Fragmentation in Sheep, Alpacas and Llamas. In: Proceedings of the Fifth International Rangeland Congress. Contributed Presentations. Salt Lake City – Utah, USA. Volume I:151-152.

FLORES, E., ÑAUPARI, J., TÁCUNA, R. 2015. La economía del cambio climático en el Perú: Ganadería altoandina. Eds. Ludeña, C. E., Sánchez-Aragón, L. Washington DC, USA. 44p.

FLORES, A., MALPARTIDA, E. 1987. Manejo de praderas nativas y pasturas en la región altoandina del Perú. Banco Agrario del Perú. V. I y II. 637 pp.

FORRESTER, J. W. 1961. Industrial dynamics. Productivity Press. Cambridge, MA. 464 pp.

FORRESTER, J. W. 1996. System Dynamics and K-12 Teachers: A lecture at the University of Virginia School of Education, Massachusetts Institute of Technology. System Dynamics Group Paper D-4664-4.

FRASER, M. D. 1998. Diet composition of guanacos (*Lama guanicoe*) and sheep (*Ovis aries*) grazing in grassland communities typical of UK uplands. Small Ruminant Research 29: 201-212.

GALLEGOS, R. B. 2013. Índices productivos de alpacas del centro de Investigación y Producción “La Raya”. Rev Investig Altoandin 15(2): 255 – 262

GAULY, M., VAUGHAN, J., CEBRA, C. 2011. Neuweltkameliden: Haltung, Zucht, Erkrankungen. 3ra edición, Enke Verlag, Stuttgart. pp. 14 - 18.

GEBRE, K. T. 2014. Effect of Genetic Improvement of Sheep in Ethiopia : Development of a Dynamic Stochastic Simulation Herd Model. Ph. D. thesis. University of Natural

Resources and Life Sciences. Vienna, Austria. 167 pp.

GENIN D., VILLCA, Z., ABASTO, P. 1994. Diet selection and utilization by llamas and sheep in a high-altitud arid rangeland of Bolivia. *Journal of Range Management* 47:245-8.

GENIN, D., & ALZÉRRECA, H. 2006. Campos nativos de pastoreo y producción animal en la puna semiárida y árida andina. *Sécheresse* 17 (1-2): 265-74.

GIAGLIS, G, PAUL, R., DOUKIDIS, G. 1996. Simulation for intra- and inter-organisational business process modelling. *Proceedings of the 28th conference on Winter simulation*. John M. Charnes, Douglas J. Morrice, Daniel T. Brunner, and James J. Swain eds. 1297–1308

GONZÁLEZ-BUSTO, B. 1998. La dinámica de sistemas como metodología para la elaboración de modelos de simulación. Departamento de administración de empresas y contabilidad, Universidad de Oviedo, España. 30 pp.

GRANT, W., PEDERSEN, E., MARIN, S. 1997. *Ecology & Natural Resource Management: Systems Analysis and Simulation*. John Wiley & Sons. New York, USA. 373 pp.

GRIKŠTAITĖ J. 2008. Business process modelling and simulation: advantages and disadvantages. *Global Academic Society Journal: Social Science Insight* 1(3): 4-14.

GUIMARÃES, V. P., TEDESCHI, L. O., RODRIGUES, M. T. 2009. Development of a mathematical model to study the impacts of production and management policies on the herd dynamics and profitability of dairy goats. *Agricultural Systems* 101: 186-196.

GUTIERREZ, G., MENDOZA, A., WOLFINGER, B., QUINA, E., RODRIGUEZ, A., MENDOZA, M., TANTAHUILCA, F., WURZINGER, M. 2012. Caracterización de la crianza de llamas de la Sierra Central del Perú. VI Congreso Mundial de Camélidos Sudamericanos. Arica, Chile

GUY, R. S., LOWNES-JACKSON, M. 2015. The use of computer simulation to compare student performance in traditional versus distance learning environments. *Issues in Informing Science and Information Technology* 12: 95-109.

HOFFMAN, D., OETTING, I., ARNILLAS, C. A., ULLOA, R. 2011. Climate Change and Protected Areas in the Tropical Andes. In: *Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes*. Sebastian K. Herzog, Rodney Martínez, Peter M. Jørgensen, Holm Tiessen Eds. 311-325.

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). 1994. III Censo Nacional Agropecuario. Perú. Disponible en: <http://www.inei.gob.pe/estadisticas/censos/>

INEI. 2012. IV Censo Nacional Agropecuario. Perú. Disponible en: <http://www.inei.gob.pe/estadisticas/censos/>

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.). Geneva, Switzerland, 151 pp.

IZAURRALDE, R. C., THOMSON, A. M., MORGAN, J. A., FAY, P. A., POLLEY, H. W., HATFIELD, J. L. 2011. Climate Impacts on Agriculture: Implications for Forage and Rangeland Production. *Agronomy Journal* 103(2): 351-370.

KADWELL, M., FERNANDEZ, M., STANLEY, H. F., BALDI, R., WHEELER, J. C., ROSADIO, R., BRUFORD, M. W. 2001. Genetic analysis reveals the wild ancestors of the llama and the alpaca. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 268(1485): 2575–2584.

KAMPMANN, C. E. 2012. Feedback loop gains and system behavior (1996). *System Dynamics Review* 28: 370–395.

KARKI, U. 2010. Pasture and Grazing Management for Parasite Control. Workshop “Integrated Management of Internal Parasites in Goats”. Tuskegee University Cooperative Program. 10 pp.

KIRKWOOD, C. W. 1998. System Dynamics Methods: A Quick Introduction. Tempe, Arizona, College of Business, Arizona State University. 117 pp.

KOPAINSKY, B., ALESSI, S. M., DAVIDSEN, P. I. 2011. Measuring Knowledge Acquisition in Dynamic Decision Making Tasks. In The 29th International Conference of the System Dynamics Society. Washington, D. C. – USA. pp. 1–31.

KURUKULASURIYA, P., ROSENTHAL, S. 2003. Climate change and agriculture: A review of impacts and adaptations. Paper No. 91 in Climate Change Series, Agriculture and Rural Development Department and Environment Department, World Bank, Washington, D. C. – USA. 96 pp.

KUZNAR, L. 1991. Herd composition in an Aymara community of the Peruvian Altiplano: a linear programming problem. *Human Ecology*, 19:369-386.

LEARY, N., KULKARNI, J. 2006. Climate Change Vulnerability and Adaptation in Developing Country Regions. AIACC Working Paper No. 41. 31pp.

LEDDER, G. 2013 *Mathematics for the Life Sciences. Calculus, Modeling, Probability, and Dynamical Systems*. Springer. 516 pp.

LEUP (Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales). 2013. Inventario y Plan de Manejo de Pastizales para la Producción de Alpacas de la Cooperativa Comunal San Pedro de Racco. Proyecto VLIR – Alpacas y Pastizales. Pasco, Perú. 27 pp.

LOPEZ, M. G. 2004. Determinación de cuatro indicadores productivos en la tama de Llamas (*Lama glama*) en el Ayllu Pumasara, Saucari, Oruro. Tesis de la Universidad Católica Boliviana San Pablo, La Paz, Bolivia. 87pp.

LUGINBUHL, J. M., PIETROSEMOLI CASTAGNI, S. 2007. Utilización de caprinos para el control de vegetación indeseable. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. 15: 294-309.

MARIA, A. 1997. Introduction to modeling and simulation. Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference. S. Andradottir, K. J. Healy, D. H. Withers, and B. L. Nelson, eds. 13 pp.

MARIN, J. C., ZAPATA, B., GONZALEZ, B. A., BONACIC, C., WHEELER, J. C., CASEY, C., BRUFORD, M. W., PALMA, R. E., POULIN, E., ALLIENDE, M. A., SPOTORNO, A. E. 2007. Systematics, taxonomy and domestication of alpaca and llama: new chromosomal and molecular evidence. Revista Chilena De Historia Natural 80(2): 121-140.

MARTÍN, J. 2006. System Dynamics - Exercises. 1st ed. Barcelona, España, Juan Martín García. 294 pp.

MAQUERA, F. 1991. Caracterización y persistencia fenotípica en llamas Karas y Lanudas del Centro experimental La Raya – Puno. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae. Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina, Escuela de postgrado especialidad de Producción Animal. 104 pp.

MC GREGOR, B. A. 2002. Comparative productivity and grazing behaviour of Huacaya alpacas and Peppin Merino sheep grazed on annual pastures. Small Ruminant Research 44, 219-232.

MCKEON, G. M., STONE, G. S., SYKTUS, J. I., CARTER, J. O., FLOOD, N. R., AHRENS, D. G., BRUGET, D. N., CHILCOTT, C. R., COBON, D. H., COWLEY, R. A., CRIMP, S. J., FRASER, G. W., HOWDEN, S. M., JOHNSTON, P.W., RYAN, J. G., STOKES, C. J., DAY, K. A. 2009. Climate change impacts on northern Australian rangeland livestock carrying capacity: A review of issues. Rangeland Journal 31(1): 1-29.

MENDOZA, A. C. 2013. Situación de la crianza y manejo genético de llamas en las Provincias de Pasco y Daniel Alcides Carrión en la Región Pasco. Tesis Mg. Sc. en Producción Animal de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. 102 pp.

MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). 2015. Sistema Integrado de Estadística Agraria (SIEA) - Estadística Mensual. Dirección General de Seguimiento y Evaluación de Políticas. 164 pp.

MUELLER, J. P., FLORES, E.R., GUTIÉRREZ, G. 1999. El proyecto de mejoramiento ovino de la Sierra Central del Perú. Reunión Científica Anual de la Asociación Peruana de Producción Animal. Huancavelica, Perú. 6 pp.

MULINDWA, H. E. 2010. Modelling of ecological and economic sustainability of a pastoral production system in Uganda. Ph. D. thesis. University of Natural Resources and Life Sciences. Vienna, Austria. 154 pp.

NICHOLSON, C. F. 2007. Review of Methods for Modelling Systems Evolution. International Livestock Research Institute (ILRI). Discussion Paper: No. 3 Targeting and Innovation. Nairobi, Kenya. 130 pp.

NICOL, A. M. 1997. The application of mixed grazing. In Proceedings of the XVIII International Grassland Congress, Winnipeg, Canada. pp. 8-17.

NOVOA, C., LEYVA, V. 1996. Reproducción en alpacas y llamas. Publ. Cient. IVITA N° 26. Lima, Perú. 30 p.

ORTIZ, A., SARRIEGI, J. M., SANTOS, J. 2006. Modelización de Variables Soft. Revista de Dinámica de Sistemas 2: 67-101.

OSCANOA, L., FLORES E. R. 1992. Avances en la ecología de la nutrición de ovinos, alpacas y llamas en el ecosistema de Puna seca. Boletín Técnico N° 3. Programa de Ovinos

y Camélidos Americanos – División de Pastos Naturales. Lima, Perú. 13 pp.

OSORIO, J. M. 2006. Evaluación de escenarios bioeconómicos para la crianza de llamas (*Lama glama*) en el altiplano central de Bolivia. Tesis Mg. Sc. en Producción Animal de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. 70 pp.

PALACIOS, M. 2009. Evaluación técnica-productiva del núcleo de alpacas Huacaya del fundo Mallkini - Azángaro Puno. Tesis Ingeniero Zootecnista. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. 64 pp.

PANTOJA, A. C., CAJACURI, P. K., CURI, C.W. 2012. Estudio de las características reproductivas en llamas, Pasco - Perú. VI Congreso Mundial de Camélidos Sudamericanos. Arica, Chile.

PARSONS, D., NICHOLSON, C. F., BLAKE, R. W., KETTERINGS, Q. M., RAMÍREZ-AVILES, L., CHERNEY, J. H., FOX, D. G. 2011. Application of a simulation model for assessing integration of smallholder shifting cultivation and sheep production in Yucatán, Mexico. *Agricultural Systems* 104: 13-19.

PATZ, J.A., GRACZYK, T. K., GELLER, N., VITTOR, A. Y. 2000. Effects of environmental change on emerging parasitic diseases. *International Journal for Parasitology* 30: 1395 - 1405.

PFISTER, J. A., SAN MARTIN, F., ROSALES, L., SISSON, D. V., FLORES, E., BRYANT, F. C. 1989. Grazing behaviour of llamas, alpacas and sheep in the Andes of Peru. *Applied Animal Behaviour Science* 23: 237-246.

POSTIGO, J. C. 2014. Perception and Resilience of Andean Populations Facing Climate Change. *Journal of Ethnobiology* 34 (3), 383-400.

QUINA, E. Y. 2015. Diagnóstico de la crianza y caracterización fenotípica de las llamas K'ara (*Lama glama*) en Marcapomacocha, Región Junín. Tesis Mg. Sc. en Producción Animal de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. 94 pp.

QUISPE, C., ÑAUPARI, J., FLORES, E. 2015. Selectividad y composición química de dietas de alpacas y ovinos bajo pastoreo mixto. VII Congreso Mundial en Camélidos Sudamericanos. Puno, Perú.

QUISPE, E., ALFONSO, L., FLORES, A., GUILLÉN, H. 2008. Bases para establecer un programa de mejora de alpacas en la región altoandina de Huancavelica – Perú. En: Actualidades sobre Adaptación, Producción, Reproducción y Mejora Genética en Camélidos. 1.ed. (Ed.) Quispe E. Huancayo: Imprenta Edición Gráfica Industrial EIRL, 2008. p. 93-112.

RAMIREZ-VILLEGAS, J., CUESTA, F., DEVENISH, C., PERALVO, M., JARVIS, A., ARNILLAS, C. A. 2014. Using species distributions models for designing conservation strategies of Tropical Andean biodiversity under climate change. *Journal for Nature Conservation* 22: 391-404

RADOLF, M. 2014. Livelihood and production strategies of smallholder livestock keepers in the Central Peruvian Andes. Master Thesis. University of Natural Resources and Life Sciences. Vienna, Austria. 94 pp.

RADOLF, M., GUTIÉRREZ, G., WURZINGER, M. 2014. Alpacas or Llamas? Management of Uncertainty Among Livestock Keepers in the High Andes. In Kohler, T., Wehrli, A. & Jurek, M., eds. *Mountains and climate change: A global concern. Sustainable Mountain Development Series*. Bern, Switzerland, Centre for Development and Environment (CDE), Swiss Agency for Development and Cooperation (SDC) and Geographica Bernensia. 136 pp.

RICHARDSON, G. P., PUGH III, A. L. 1981. *Introduction to System Dynamics Modeling with DYNAMO*, Productivity Press, Cambridge, Massachusetts.

RIVINGTON, M., MATTHEWS, K. B., BELLOCCHI, G., BUCHAN, K., STÖCKLE, C.O., DONATELLI, M. 2007. An integrated assessment approach to conduct analyses of

climate change impacts on whole-farm systems. *Environmental Modelling & Software* 22, 202–210.

ROBINSON, S. 2004. *Simulation: The Practice of Model Development and Use*. John Wiley & Sons Ltd. Chichester, United Kingdom. 316 pp.

RODRIGUEZ, C. T., QUISPE, J. L. 2007. Domesticated Camelids, the Main Animal Genetic Resource of Pastoral Systems in the region of Turco, Bolivia. FAO, Rome, Italy, pp. 33–45

RUIZ, J. A., GUTIÉRREZ, G. A., FLORES, E. R. 2015. Índices pecuarios de tres unidades de producción de alpacas en Pasco. VII Congreso Mundial en Camélidos Sudamericanos. Puno, Perú.

SAN MARTIN, F., BRYANT, F. 1989. Nutrition of domesticated South American llamas and alpacas. *Small Ruminant Research* 2: 191-216.

SENAMHI. 2009. Escenarios Climáticos en el Perú para el año 2030. Autores Díaz A., Rosas G., Avalos G., Oria C., Acuña D., Llacza, A., Miguel R. Proyecto SCNCC, Segunda Comunicación Nacional del Cambio Climático. Editor Ministerio del Ambiente.

SHANNON, R. E. 1975. *Systems Simulation – The Art and Science*, Prentice-Hall.

SHANNON, R. E. 1998. Introduction to the art and science of simulation. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference. D.J. Medeiros, E.F. Watson, J.S. Carson and M.S. Manivannan, eds. 14pp.

SIDAHMED, A. 2008. Livestock and Climate Change: Coping and Risk Management Strategies for a Sustainable Future. In Livestock and Global Climate Change conference proceeding, May 2008, Tunisia.

SIEBERS, P. O., MACAL, C. M., GARNETT, J., BUXTON, D., PIDD, M. 2010. Discrete-event simulation is dead, long live agent-based simulation! *Journal of Simulation* 4(3): 204-

210.

SMITH, R. 2000. Simulation: The Engine behind the Virtual World. *Simulation* 2000 (1). 24 pp.

SQUIRES, V. R. 1982. Dietary Overlap between Sheep, Cattle, and Goats when Grazing in Common. *Journal of Range Management* 35(1): 116-119.

STANISLAO, A. A., FORD, D., ORLINDO, T. L., ANTONELLO, C., ZOOTECHNICHE, S., SASSARI, U. 2011. Policy Modeling for Greenhouses Gas Emissions on Dairy Cattle Sector: the Importance of the Milk Production Improvement. 2011: 1-16.

STEMMER, A., VALLE-ZÁRATE, A. 2016. La llama de Ayopaya: un recurso zoogenético originario de Bolivia. Desafíos para su conservación. *Quehacer Científico en Chiapas* 11(1): 38-49.

STERMAN, J. D. 2000. *Business Dynamics, Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Boston: Irwin McGraw-Hill. 982 pp.

STERMAN, J. D. 2001. System Dynamics Modeling: Tools for Learning in a Complex World. *California Management Review* 43(4): 8-25.

SUMAR, J., CAMINO, A. 1992. The Andean Camelids, llama and alpaca. The Potentials and Prerequisites for introducing these animals into other mountain environments. *Mountain Farming Systems*. International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD) Discussion Paper No. 33. Nepal. 76 pp.

TAYLOR, C. A. 1985. Multispecies Grazing Research Overview (Texas). In: *Proceedings of a conference on multispecies grazing*. June 25-28, 1985, Winrock International, Morrilton, AR. p. 65–83.

TAYLOR, H. M., KARLIN, S. 1998. *An Introduction to Stochastic Modeling*. Third

Edition. Academic Press, USA. 631 pp.

TEDESCHI, L. O., NICHOLSON, C. F., RICH, E. 2011. Using System Dynamics modelling approach to develop management tools for animal production with emphasis on small ruminants. *Small Ruminant Research* 98(1-3): 102-110.

THORNTON P. K., GERBER P. 2010. Climate change and the growth of the livestock sector in developing countries. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 15, 169-184.

THORNTON P., HERRERO, M., FREEMAN, A., MWAI, O., REGE, E., JONES, P., MCDERMOTT, J. 2008. "Vulnerability, Climate Change and Livestock – Research Opportunities and Challenges for Poverty Alleviation". ILRI, Kenya.

TICHIT, M., GENIN, D. 1997. Factors affecting herd structure in a mixed camelid–sheep pastoral system in the arid Puna of Bolivia. *Journal of Arid Environments* 36: 167-180.

TICHIT M, HUBERT B, DOYEN L, GENIN D. 2004. A viability model to assess sustainability of pastoral systems under climatic uncertainty. *Animal Research* 53:405-17.

TREYDTE, A. C., SALVATIERRA, A., SAUERBORN, J., LAMERS, M. 2011. Modelling llama population development under environmental and market constraints in the Bolivian highlands. *Ecological Modelling* 222: 3157-3165.

URRUTIA, R., VUILLE, M. 2009. Climate Change Projections for the Tropical Andes Using a Regional Climate Model: Temperature and Precipitation Simulations for the End of the 21st Century. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 114 D02108,

VAN AUKEN, O. W. 2009. Causes and consequences of woody plant encroachment into western North American grasslands. *Journal of Environmental Management* 90(10): 2931-2942.

WALKER, J. W. 1994. *Multispecies Grazing: The Ecological Advantage*. Sheep Research

Journal no. Special Issue: 52-64.

WANG, Q., NING, X., YOU, J. 2005. Advantages of System Dynamics Approach in Managing Project Risk Dynamics. *Journal of Fudan University Natural Science* 44(2): 201-206.

WARREN, K. 2006. Improving strategic management with the fundamental principles of systems dynamics. *System Dynamics Review* 21, 329–350.

WHEELER, J.C. 1984. La domesticación de la alpaca (*Lama pacos* L.) y la llama (*Lama glama* L.) y el desarrollo temprano de la ganadería autóctona en los Andes Centrales. *Boletín de Lima* 36:74-84.

WHEELER, J. C. 1995. Evolution and present situation of the South American Camelidae. *Biological Journal of the Linnean Society*, 54:271-295.

WHITEHEAD, C. E., ANDERSON, D. E. 2006. Neonatal diarrhea in llamas and alpacas. *Small Ruminant Research* 61(2): 207-215.

WOLFINGER B. 2012. Characterisation of the production system of llamas and description of breeding strategies of smallholders in the Central Peruvian Andes. Master Thesis. University of Natural Resources and Life Sciences. Department of Sustainable Agricultural Systems. Division of Livestock Sciences. Vienna, Austria. 91 pp.

WURZINGER, M., DELGADO, J., NÜRNBERG, M; VALLE ZÁRATE, A., STEMMER, A., UGARTE, G., SÖLKNER, J. 2005. Growth curves and genetic parameters for growth traits in Bolivian llamas. *Livestock Production Science* 95: 73-81.

ZARRIA, M. R., TÁCUNA, R. E., RUIZ, J. A., FLORES, E. R. 2012. Condición ecológica y manejo de pastizales en los sistemas de producción de alpacas. VI Congreso Mundial de Camélidos Sudamericanos. Arica, Chile.

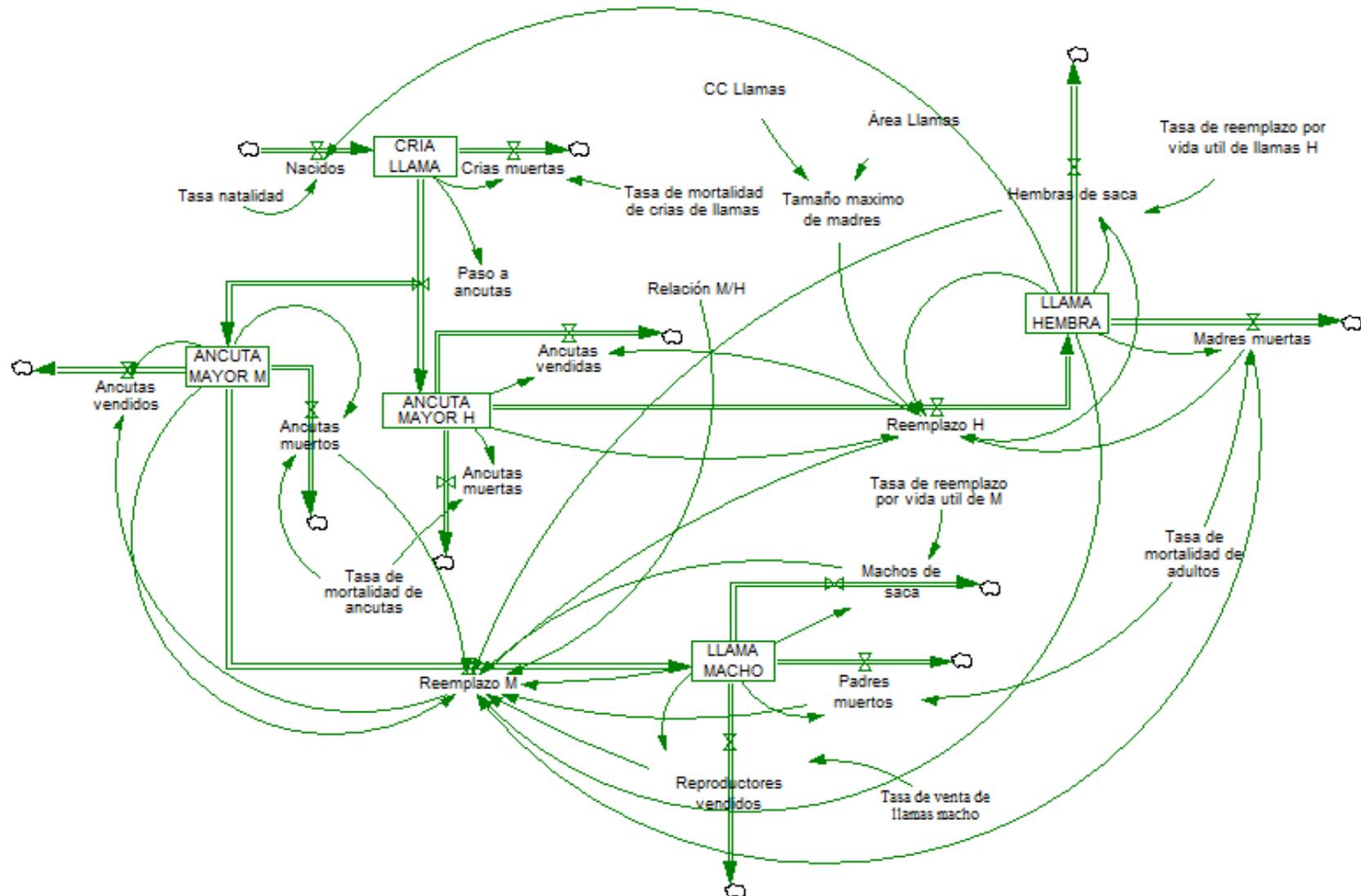
ZARRIA, M. R. 2015. Inventario y estrategias de mejora de los pastizales de los sistemas

de producción de alpacas en la Sierra Central. Tesis Mg. Sc. en Producción Animal de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. 200 pp.

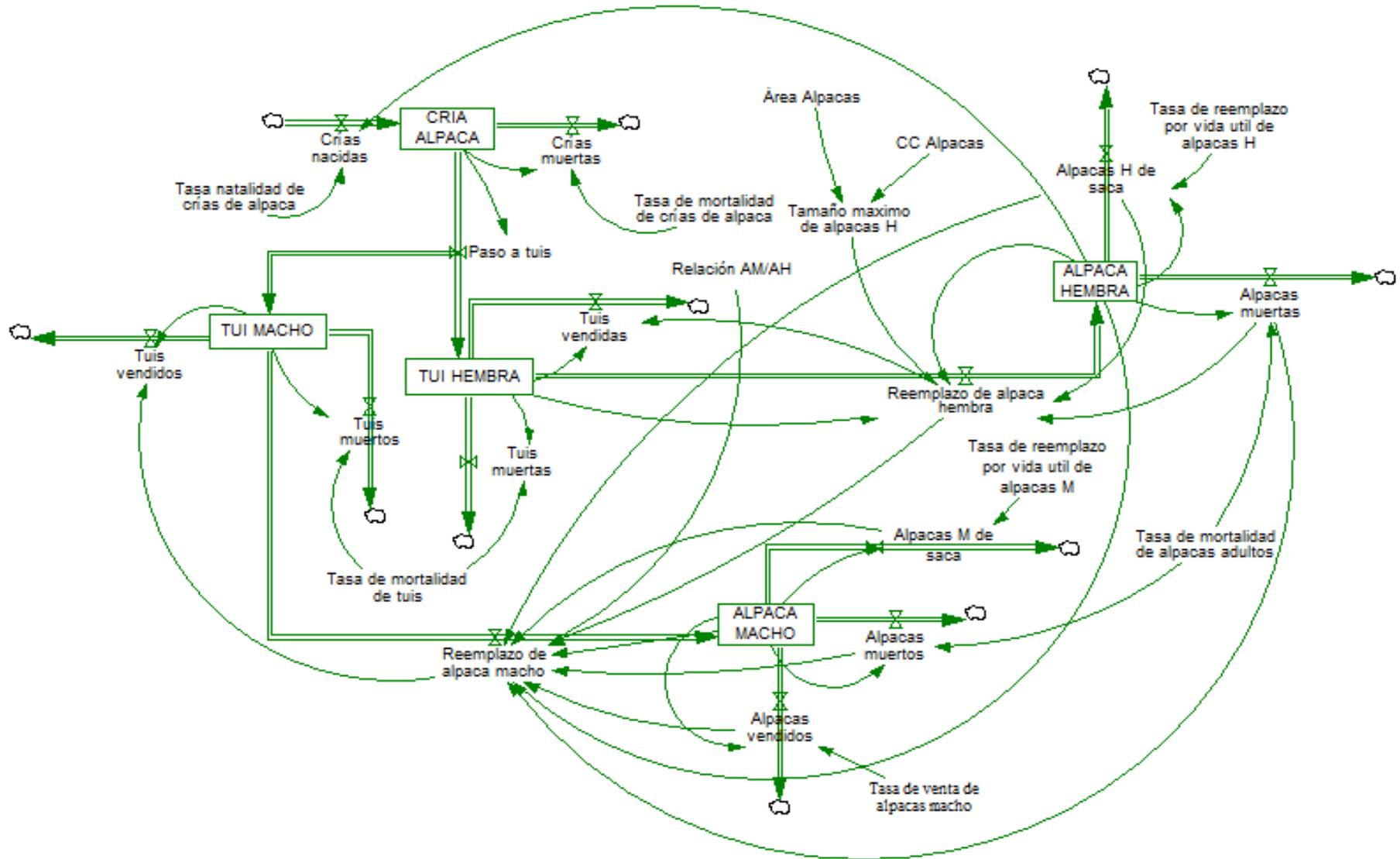
ZEIGLER, B. P. 1990. Object-Oriented Simulation with Hierarchical, Modular Models: Intelligent Agents and Endomorphic Systems. Academic Press. Boston, USA. 395 pp.

IX. ANEXOS

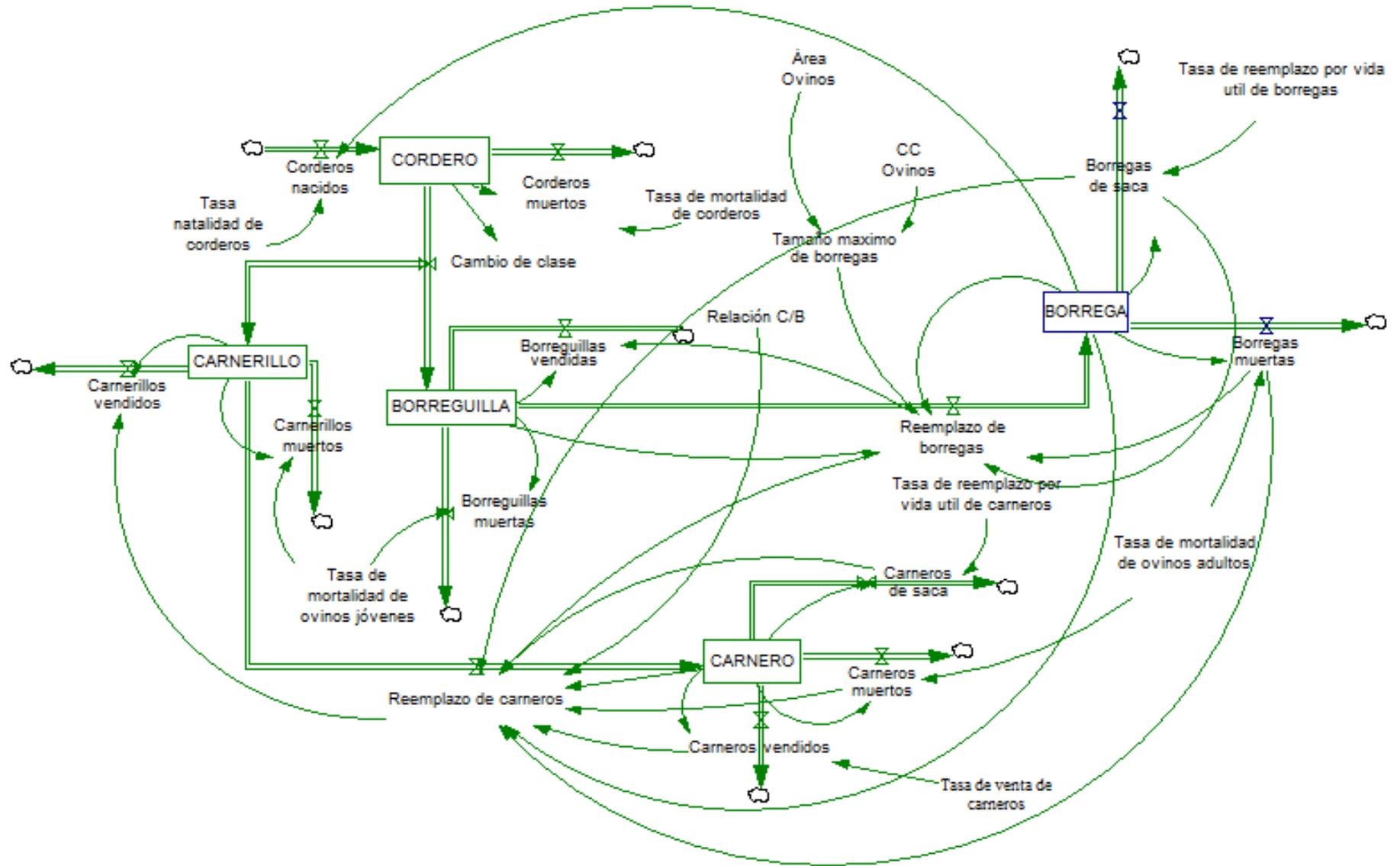
Anexo 1. Submodelo de la crianza de llamas en el escenario de línea base



Anexo 2. Submodelo de la crianza de alpacas en el escenario de línea base



Anexo 3. Submodelo de la crianza de ovinos en el escenario de línea base



AÑO	MESES	CONTADA	MES ANTERIOR	INGRESOS											EGRESOS											EXISTENCIA FIN DE MES																								
				COMPRAS						MUERTAS					VENTAS						TOTAL EGRESOS																													
				A. HEMBRAS	A. MACHOS	MADRES	PADRES	PREÑADAS	TOTAL	CRÍAS	A. HEMBRAS	A. MACHOS	MADRES	PADRES	CAPONES	PREÑADAS	TOTAL	CRÍAS	A. HEMBRAS	A. MACHOS		MADRES	PADRES	CAPONES	PREÑADAS	TOTAL	CRÍAS	A. HEMBRAS	A. MACHOS	A. CAPONES	MADRES	PADRES	CAPONES	PREÑADAS	TOTAL															
2014	ENERO	Gral	428	13											2			1											3			2								2	5	52	55	65		53	71		140	436
	FEBRERO	Gral	436	22											2	1			1										4			1								5	72	54	64		75	70		118	453	
	MARZO	Gral	453	21											4			3											7			3								10	89	55	60		93	70		97	464	
	ABRIL	Gral	464	8											2			1											3	1	4									9	95	54	56		100	69		89	463	
	MAYO	Gral	463	6																									0											1	101	54	56		106	68		83	468	
	JUNIO	Gral	468	38											1														1											8	138	48	61		144	62		45	498	
	JULIO	Gral	498	21											4			3											7											10	89	55	60		93	70		97	464	
	AGOSTO	Gral	464																										0	2	3									11	143	46	58		149	56		40	492	
	SEPTIEMBRE	Gral	492	2																									2											6	145	46	58		149	52		38	488	
	OCTUBRE	Gral	488	7											1			1											2	6	6									16	151	38	52		155	50		33	479	
	NOVIEMBRE	Gral	479															1	1										2											6	136	11	56		28	49		193	473	
	DICIEMBRE	Gral	473	3																									0											1	28	63	53		3	101		225	473	
TOTAL			141	0	0	0	0	0	0	0	16	1	0	12	2	0	0	31	0	9	27	0	21	0	0	57	88																							
2015	ENERO	Gral	473	18											1													2	3										4	36	68	57		21	100		205	487		
	FEBRERO	Gral	487	23											1		1												2										6	42	76	61		44	100		181	504		
	MARZO	Gral	504	51																									0										0	93	76	61		95	100		130	555		
	ABRIL	Gral	555	3											5														5										7	91	76	60		169	28		127	551		
	MAYO	Gral	551	2													1												1										3	93	76	60		99	97		125	550		
	JUNIO	Gral	550																										1										3	93	75	59		99	96		125	547		
	JULIO	Gral	547												1														1	1									8	92	74	59		99	94		121	539		
	AGOSTO	Gral	539	7											1		1	1											3										4	98	74	59		105	92		114	542		
	SEPTIEMBRE	Gral	542														1												3										5	20	41	35		7	150		284	537		
	OCTUBRE	Gral	537																										0										0	5	42	49		7	150		284	537		
	NOVIEMBRE	Gral	537												2		1												3										11	3	42	48		7	145		281	526		
	DICIEMBRE	Gral	526	7													2												2										8	7	45	48		7	141		277	525		
TOTAL			111	0	0	0	0	0	0	13	0	1	6	2	0	2	24	0	2	6	11	16	0	0	35	59																								

Anexo 5. Planillas de contada mensual de ovinos de la Cooperativa Comunal San Pedro de Racco (2014 - 2015)

AÑO	MESES	CONTADA	MES ANTERIOR	INGRESOS														EGRESOS														EXISTENCIA FIN DE MES												
				NACIDOS							COMPRAS							MUERTAS							VENTAS							TOTAL EGRES												
				Corderos	Borreguillas	Carnerillos	Caponcillos	Borregas	Carneros	Capones	TOTAL	Corderos	Borreguillas	Carnerillos	Caponcillos	Borregas	Carneros	Capones	Preñadas	TOTAL	Corderos	Borreguillas	Carnerillos	Caponcillos	Borregas	Carneros	Capones	TOTAL	Corderos	Borreguillas	Carnerillos		Caponcillos	Borregas	Carneros	Capones	Preñadas	TOTAL						
2014	ENERO	Gral	5,038															46	1	10	0	12	0	0	0	69		1	4	0	1	0	0	6	75	1,398	596	540	0	2,323	106	0	0	4,963
	FEBRERO	Gral	4,963															8	3	3		19	1			34		3	269		4	35	311	345	1,390	590	268		2,300	70		4,618		
	MARZO	Gral	4,618															14	1	1		5	0			21	55	0	6		1	0		62	83	1,338	573	261		2,297	73		4,542	
	ABRIL	Gral	4,542															14				12				26					4	47	51	77	1,324	3	0		2,853	287		4,467		
	MAYO	Gral	4,467															15				8	1			24					2		2	26	1,309	3			2,845	284		4,441		
	JUNIO	Gral	4,441															14				4	1			19	30				27	3	60	79	1,275	3			332	280	2,482	4,372		
	JULIO	Gral	4,372															18				8	4			30					3		3	33	1,257	3	0	0	330	276	0	2,473	4,339	
	AGOSTO	Gral	4,339															15				12	1			28	2				105	63	170	198	1,240	3			219	212		2,467	4,141	
	SETIEMBR	Gral	4,141															0	2	8		13				23	0	2	0	0	200	43	0	245	268	0	662	569		95	169		2,378	3,873
	OCTUBRE	Gral	3,873	1,295														244	5	13		21	4		1	288	0	4	6	0	51	17	0	78	366	1,051	653	550	0	1,309	148	0	1,091	4,802
	NOVIEMBR	Gral	4,802	660														88	2	6	0	5	1	0	0	102		2	3		16			21	123	1,623	649	541		2,379	147		5,339	
DICIEMBR	Gral	5,339	12														62	6	10		19				97		7	151		3	22		183	280	1,573	637	379		2,357	125	0	5,071		
TOTAL			1,967	0			0	0	0	0	0	0	0	538	20	51		138	13	0	1	761	87	19	439	415	232	0	1,192	1,953														
2015	ENERO	Gral	5,071															30	8	10		17			65			4			1		5	70	1,543	629	365		2,340	124		5,001		
	FEBRERO	Gral	5,001															28	4	7		15	0		54		2	6		2	1		11	65	1,515	623	352		2,323	123		4,936		
	MARZO	Gral	4,936															19		3		8	1		31		1	236			20		257	288	1,496	622	113		2,315	102		4,648		
	ABRIL	Gral	4,648															19	3			9	1		32	12	4	8		2	1		27	59	1,465	615	105		2,304	100		4,589		
	MAYO	Gral	4,589															9				4			13					6	1		7	20	1,456				2,909	204		4,569		
	JUNIO	Gral	4,569															9				4			13	3				30	1		34	47	1,444				370	203		2,505	4,522	
	JULIO	Gral	4,522																	12	4		13	1		30	16	1	61		24			102	132		735	615		339	202		2,499	4,390
	AGOSTO	Gral	4,390																4	6		10	1		21	0	2	5		1	2		10	31		729	604		337	199		2,490	4,359	
	SEPTIEMBR	Gral	4,359																	2	9		3			28		3	5		53	1		62	90		724	590		284	199		2,473	4,270
	OCTUBRE	Gral	4,270	1,130															171	2	6		21	2	5	207		3	4		230	66		303	510	959	719	580		1,259	131		1,242	4,890
	NOVIEMBR	Gral	4,890	711															156	5	4		17	1	0	183	0	5	2		1	2		10	193	1,514	709	574		1,952	128		531	5,408
DICIEMBR	Gral	5,408																77	6	3		19			105		12	11		167	1		191	296	1,437	687	564		2,297	127		0	5,112	
TOTAL			1,841	0			0	0	0	0	0	0	518	46	52		140	7	0	19	782	31	33	342	516	97		1,019	1,801															

Anexo 7. Ecuaciones utilizadas en el desarrollo del escenario de línea base

NIVELES:

CRIA LLAMA=

INTEG (Planillas de contada mensual de alpacas de la Cooperativa Comunal San Pedro de Racco (2012 - 2015)Crias muertas-Paso a ancutas)

Unidades: Cabezas

ANCUTA MAYOR H=

INTEG (Paso a ancutas/2-Ancutas muertas-Reemplazo H-Ancutas vendidas)

Unidades: Cabezas

ANCUTA MAYOR M=

INTEG (Paso a ancutas/2-Ancutas muertos-Reemplazo M-Ancutas vendidos)

Unidades: Cabezas

LLAMA HEMBRA=

INTEG (Reemplazo H-Madres muertas-Hembras de saca)

Unidades: Cabezas

LLAMA MACHO=

INTEG (Reemplazo M-Padres muertos-Machos de saca-Reproductores vendidos)

Unidades: Cabezas

CORDERO=

INTEG (Corderos nacidos-Corderos muertos-Cambio de clase)

Unidades: Cabezas

BORREGUILLA=

INTEG (Cambio de clase/2-Borreguillas muertas-Reemplazo de borregas-Borreguillas vendidas)

Unidades: Cabezas

CARNERILLO=

INTEG (Cambio de clase/2-Carnerillos muertos-Reemplazo de corderos-Carnerillos vendidos)

Unidades: Cabezas

BORREGA=

INTEG (Reemplazo de borregas-Borregas muertas-Borregas de saca)

Unidades: Cabezas

CARNERO=

INTEG (Reemplazo de corderos-Carneros muertos-Carneros de saca-Carneros vendidos)

Unidades: Cabezas

CRIA ALPACA=

INTEG (Crías nacidas-Crías muertas-Paso a tuis)

Unidades: Cabezas

TUI H=

INTEG (Paso a tuis/2-Tuis muertas-Reemplazo de alpaca hembra-Tuis vendidas)

Unidades: Cabezas

TUI M=

INTEG (Paso a tuis/2-Tuis muertos-Reemplazo de alpaca macho-Tuis vendidos)

Unidades: Cabezas

ALPACA HEMBRA=

INTEG (Reemplazo de alpaca hembra-Alpacas muertas-Alpacas H de saca)

Unidades: Cabezas

ALPACA MACHO=

INTEG (Reemplazo de alpaca macho-Alpacas muertos-Alpacas M de saca-Alpacas vendidos)

Unidades: Cabezas

FLUJOS

Nacidos=

LLAMA HEMBRA*Tasa natalidad

Unidades: cabezas/año

Crías muertas=

CRIA LLAMA*Tasa de mortalidad de crías de llamas

Unidades: cabezas/año

Paso a ancutas=

CRIA LLAMA

Unidades: cabezas/año

Ancutas vendidas=

ANCUTA MAYOR H-Reemplazo H

Unidades: cabezas/año

Ancutas muertas=

ANCUTA MAYOR H*Tasa de mortalidad de ancutas

Unidades: cabezas/año

Reemplazo H=

if then else(LLAMA HEMBRA<Tamaño maximo de madres, if then else(ANCUTA MAYOR H<(Tamaño maximo de madres-LLAMA HEMBRA+Madres muertas+Hembras de saca), ANCUTA MAYOR H, Tamaño maximo de madres-LLAMA HEMBRA+Madres

muertas+Hembras de saca),if then else((LLAMA HEMBRA-Madres muertas-Hembras de saca<Tamaño maximo de madres), Tamaño maximo de madres-LLAMA HEMBRA+Madres muertas+Hembras de saca, 0))

Unidades: cabezas/año

Hembras de saca=

LLAMA HEMBRA*Tasa de reemplazo por vida util de llamas H

Unidades: cabezas/año

Madres muertas=

LLAMA HEMBRA*Tasa de mortalidad de adultos

Unidades: cabezas/año

Ancutas vendidos=

ANCUTA MAYOR M-Reemplazo M

Unidades: cabezas/año

Ancutas muertos=

ANCUTA MAYOR M*Tasa de mortalidad de ancutas

Unidades: cabezas/año

Reemplazo M=

if then else((ANCUTA MAYOR M-Ancutas muertos)>((Reemplazo H+LLAMA HEMBRA-Madres muertas-Hembras de saca)*"Relación M/H"-LLAMA MACHO+Machos de saca+Padres muertos+Reproductores vendidos), (Reemplazo H+LLAMA HEMBRA-Madres muertas-Hembras de saca)*"Relación M/H"-LLAMA MACHO+Machos de saca+Padres muertos+Reproductores vendidos, ANCUTA MAYOR M-Ancutas muertos)

Unidades: cabezas/año

Machos de saca=

Tasa de reemplazo por vida útil de M*LLAMA MACHO

Unidades: cabezas/año

Padres muertos=

Tasa de mortalidad de adultos*LLAMA MACHO

Unidades: cabezas/año

Reproductores vendidos=

LLAMA MACHO*Tasa de venta de llamas macho

Unidades: cabezas/año

Corderos nacidos=

BORREGA*Tasa natalidad de corderos

Unidades: cabezas/año

Corderos muertos=

CORDERO*Tasa de mortalidad de corderos

Unidades: cabezas/año

Cambio de clase=

CORDERO

Unidades: cabezas/año

Borreguillas vendidas=

BORREGUILLA-Reemplazo de borregas

Unidades: cabezas/año

Borreguillas muertas=

BORREGUILLA *Tasa de mortalidad de ovinos jóvenes

Unidades: cabezas/año

Reemplazo de borregas=

if then else(BORREGA<Tamaño maximo de borregas, if then else(BORREGUILLA<(Tamaño maximo de borregas-BORREGA+Borregas muertas+Borregas de saca), BORREGUILLA, Tamaño maximo de borregas-BORREGA+Borregas muertas+Borregas de saca),if then else((BORREGA-Borregas muertas-Borregas de saca<Tamaño maximo de borregas), Tamaño maximo de borregas-BORREGA+Borregas muertas+Borregas de saca, 0))

Unidades: cabezas/año

Borregas de saca=

BORREGA*Tasa de reemplazo por vida util de borregas

Unidades: cabezas/año

Borregas muertas=

BORREGA*Tasa de mortalidad de ovinos adultos

Unidades: cabezas/año

Carnerillos vendidos=

CARNERILLO-Reemplazo de corderos

Unidades: cabezas/año

Carnerillos muertos=

CARNERILLO*Tasa de mortalidad de ovinos jóvenes

Unidades: cabezas/año

Reemplazo de carneros=

Carneros vendidos+Carneros de saca+Carneros muertos+(Reemplazo de borregas+BORREGA-Borregas muertas-Borregas de saca)*"Relación C/B"-CARNERO

Unidades: cabezas/año

Carneros de saca=

Tasa de reemplazo por vida útil de carneros*CARNERO

Unidades: cabezas/año

Carneros muertos=

Tasa de mortalidad de ovinos adultos*CARNERO

Unidades: cabezas/año

Carneros vendidos=

CARNERO*Tasa de venta de carneros

Unidades: cabezas/año

Crías nacidas=

ALPACA HEMBRA*Tasa natalidad de crías de alpaca

Unidades: cabezas/año

Crías muertas=

CRIA ALPACA*Tasa de mortalidad de crías de alpaca

Unidades: cabezas/año

Paso a tuis=

CRIA ALPACA

Unidades: cabezas/año

Tuis vendidas=

TUI HEMBRA-Reemplazo de alpaca hembra

Unidades: cabezas/año

Tuis muertas=

TUI HEMBRA*Tasa de mortalidad de tuis

Unidades: cabezas/año

Reemplazo de alpaca hembra=

if then else(ALPACA HEMBRA<Tamaño maximo de alpacas H, if then else(TUI HEMBRA<(Tamaño maximo de alpacas H-ALPACA HEMBRA+Alpacas muertas+Alpacas H de saca), TUI HEMBRA, Tamaño maximo de alpacas H-ALPACA HEMBRA+Alpacas muertas+Alpacas H de saca),if then else((ALPACA HEMBRA-Alpacas muertas-Alpacas H de saca<Tamaño maximo de alpacas H), Tamaño maximo de alpacas H-ALPACA HEMBRA+Alpacas muertas+Alpacas H de saca, 0))

Unidades: cabezas/año

Alpacas H de saca=

ALPACA HEMBRA*Tasa de reemplazo por vida util de alpacas H

Unidades: cabezas/año

Alpacas muertas=

ALPACA HEMBRA*Tasa de mortalidad de alpacas adultos

Unidades: cabezas/año

Tuis vendidos=

TUI MACHO-Reemplazo de alpaca macho

Unidades: cabezas/año

Tuis muertos=

Tasa de mortalidad de tuis*TUI MACHO

Unidades: cabezas/año

Reemplazo de alpaca macho=

Alpacas vendidos+Alpacas M de saca+Alpacas muertos+(Reemplazo de alpaca hembra+ALPACA HEMBRA-Alpacas muertas-Alpacas H de saca)*"Relación AM/AH"-ALPACA MACHO

Unidades: cabezas/año

Alpacas M de saca=

Tasa de reemplazo por vida util de alpacas M*ALPACA MACHO

Unidades: cabezas/año

Alpacas muertos=

Tasa de mortalidad de alpacas adultos*ALPACA MACHO

Unidades: cabezas/año

Alpacas vendidos=

ALPACA MACHO*Tasa de venta de alpacas macho

Unidades: cabezas/año

VARIABLES AUXILIARES:

Tamaño máximo de madres=

Área Llamas*CC Llamas

Unidades: cabezas/año

Tamaño máximo de borregas=

Área Ovinos*CC Ovinos

Unidades: cabezas/año

Tamaño máximo de alpacas H=

Área Alpacas*CC Alpacas

Unidades: cabezas/año

CONSTANTES:

Tasa de natalidad=

0.497

Unidades: 1/año

Tasa de mortalidad de crías de llamas=

0.019

Unidades: 1/año

Tasa de mortalidad de ancutas=

0.006

Unidades: 1/año

"Relación M/H"=

1/2

Unidades: dmnl

Tasa de mortalidad de adultos=

0.019

Unidades: 1/año

Tasa de reemplazo por vida útil de llamas H=

0.1

Unidades: 1/año

CC Llamas=

0.33

Unidades: cabezas/año/ha

Área Llamas=

416.8

Unidades: ha

Tasa de reemplazo por vida útil de M=

0.125

Unidades: 1/año

Tasa de venta de llamas macho=

0.056

Unidades: 1/año

Tasa de natalidad de corderos=

0.633

Unidades: 1/año

Tasa de mortalidad de corderos=

0.109

Unidades: 1/año

Tasa de mortalidad de ovinos jóvenes=

0.021

Unidades: 1/año

"Relación C/B"=

1/20

Unidades: dmnl

Tasa de mortalidad de ovinos adultos=

0.035

Unidades: 1/año

Tasa de reemplazo por vida útil de borregas=

0.2

Unidades: 1/año

CC Ovinos=

1.96

Unidades: cabezas/año/ha

Área Ovinos=

2482.2

Unidades: ha

Tasa de reemplazo por vida útil de carneros=

0.33

Unidades: 1/año

Tasa de venta de carneros=

0.035

Unidades: 1/año

Tasa natalidad de crías de alpaca=

0.710

Unidades: 1/año

Tasa de mortalidad de crías de alpaca=

0.039

Unidades: 1/año

Tasa de mortalidad de tuis=

0.011

Unidades: 1/año

"Relación AM/AH"=

1/8

Unidades: dmnl

Tasa de mortalidad de alpacas adultos=

0.011

Unidades: 1/año

Tasa de reemplazo por vida util de alpacas H=

0.1

Unidades: 1/año

CC Alpacas=

1.1

Unidades: cabezas/año/ha

Área Alpacas=

1276.4

Unidades: ha

Tasa de reemplazo por vida util de alpacas M=

0.125

Unidades: 1/año

Tasa de venta de alpacas macho=

0.052

Unidades: 1/año

Anexo 8. Parámetros utilizados para la calibración del modelo de simulación

		Especie/clase	2013	2014	2015
Tasa de natalidad		Llamas	49.7	39.8	49.2
		Alpacas	60.2	48.4	71
		Ovinos	-	69.1	63.3
Tasa de mortalidad	Llamas	Crías	1.9	3.5	2.1
		Ancutas	0.6	0.9	0.1
		Adultos	1.9	3.2	1.9
	Alpacas	Crías	3.5	3.7	3.9
		Tuis	1.1	0.2	0.8
		Adultos	1.8	0.6	0.8
	Ovinos	Corderos	-	11.7	10.9
		Borreguillas/Carnerillos	-	1.5	2.1
		Adultos	-	3.3	3.5

Anexo 9. Valores simulados y observados del año 2015 utilizando las tasas de natalidad y mortalidad de los años 2013, 2014 y 2015.

		Valores simulados (2015)			Valores observados (2015)
		Tasas año 2013	Tasas año 2014	Tasas año 2015	
Llamas	Crías	73	56	72	98
	Ancutas H	41.4977	32	41.2227	45
	Ancutas M	41.4977	32	41.2227	48
	Madres	137.544	137.544	137.544	284
	Padres	68.772	68.772	68.772	141
Alpacas	Crías	815	654	957	913
	Tuis H	415	341	495	445
	Tuis M	415	341	495	453
	Madres	1404	1404	1404	1405
	Padres	175	175	175	185
Ovinos	Corderos	-	1557	1429	1487
	Borreguillas	-	737	675	687
	Carnerillos	-	737	675	564
	Borregas	-	2593	2516	2297
	Carneros	-	129	125	127

Anexo 10. Ecuaciones utilizadas en el desarrollo del escenario de cambio climático de emisiones intermedias con pastoreo excluyente

NIVELES:

CRIA LLAMA=

INTEG (Nacidos-Crias muertas-Paso a ancutas)

Unidades: Cabezas

ANCUTA MAYOR H=

INTEG (Paso a ancutas/2-Ancutas muertas-Reemplazo H-Ancutas vendidas)

Unidades: Cabezas

ANCUTA MAYOR M=

INTEG (Paso a ancutas/2-Ancutas muertos-Reemplazo M-Ancutas vendidos)

Unidades: Cabezas

LLAMA HEMBRA=

INTEG (Reemplazo H-Madres muertas-Hembras de saca)

Unidades: Cabezas

LLAMA MACHO=

INTEG (Reemplazo M-Padres muertos-Machos de saca-Reproductores vendidos)

Unidades: Cabezas

CORDERO=

INTEG (Corderos nacidos-Corderos muertos-Cambio de clase)

Unidades: Cabezas

BORREGUILLA=

INTEG (Cambio de clase/2-Borreguillas muertas-Reemplazo de borregas-Borreguillas vendidas)

Unidades: Cabezas

CARNERILLO=

INTEG (Cambio de clase/2-Carnerillos muertos-Reemplazo de corderos-Carnerillos vendidos)

Unidades: Cabezas

BORREGA=

INTEG (Reemplazo de borregas-Borregas muertas-Borregas de saca)

Unidades: Cabezas

CARNERO=

INTEG (Reemplazo de corderos-Carneros muertos-Carneros de saca-Carneros vendidos)

Unidades: Cabezas

CRIA ALPACA=

INTEG (Crías nacidas-Crías muertas-Paso a tuis)

Unidades: Cabezas

TUI H=

INTEG (Paso a tuis/2-Tuis muertas-Reemplazo de alpaca hembra-Tuis vendidas)

Unidades: Cabezas

TUI M=

INTEG (Paso a tuis/2-Tuis muertos-Reemplazo de alpaca macho-Tuis vendidos)

Unidades: Cabezas

ALPACA HEMBRA=

INTEG (Reemplazo de alpaca hembra-Alpacas muertas-Alpacas H de saca)

Unidades: Cabezas

ALPACA MACHO=

INTEG (Reemplazo de alpaca macho-Alpacas muertos-Alpacas M de saca-Alpacas vendidos)

Unidades: Cabezas

FLUJOS

Nacidos=

LLAMA HEMBRA*Tasa natalidad

Unidades: cabezas/año

Crías muertas=

CRIA LLAMA*Tasa de mortalidad de crías de llamas

Unidades: cabezas/año

Paso a ancutas=

CRIA LLAMA

Unidades: cabezas/año

Ancutas vendidas=

ANCUTA MAYOR H-Reemplazo H

Unidades: cabezas/año

Ancutas muertas=

ANCUTA MAYOR H*Tasa de mortalidad de ancutas

Unidades: cabezas/año

Reemplazo H=

if then else(LLAMA HEMBRA<Tamaño maximo de madres, if then else(ANCUTA MAYOR H<(Tamaño maximo de madres-LLAMA HEMBRA+Madres muertas+Hembras de saca), ANCUTA MAYOR H, Tamaño maximo de madres-LLAMA HEMBRA+Madres

muertas+Hembras de saca),if then else((LLAMA HEMBRA-Madres muertas-Hembras de saca<Tamaño maximo de madres), Tamaño maximo de madres-LLAMA HEMBRA+Madres muertas+Hembras de saca, 0))

Unidades: cabezas/año

Hembras de saca=

LLAMA HEMBRA*Tasa de reemplazo por vida util de llamas H

Unidades: cabezas/año

Madres muertas=

LLAMA HEMBRA*Tasa de mortalidad de adultos

Unidades: cabezas/año

Ancutas vendidos=

ANCUTA MAYOR M-Reemplazo M

Unidades: cabezas/año

Ancutas muertos=

ANCUTA MAYOR M*Tasa de mortalidad de ancutas

Unidades: cabezas/año

Reemplazo M=

if then else((ANCUTA MAYOR M-Ancutas muertos)>((Reemplazo H+LLAMA HEMBRA-Madres muertas-Hembras de saca)*"Relación M/H"-LLAMA MACHO+Machos de saca+Padres muertos+Reproductores vendidos), (Reemplazo H+LLAMA HEMBRA-Madres muertas-Hembras de saca)*"Relación M/H"-LLAMA MACHO+Machos de saca+Padres muertos+Reproductores vendidos, ANCUTA MAYOR M-Ancutas muertos)

Unidades: cabezas/año

Machos de saca=

Tasa de reemplazo por vida útil de M*LLAMA MACHO

Unidades: cabezas/año

Padres muertos=

Tasa de mortalidad de adultos*LLAMA MACHO

Unidades: cabezas/año

Reproductores vendidos=

LLAMA MACHO*Tasa de venta de llamas macho

Unidades: cabezas/año

Corderos nacidos=

BORREGA*Tasa natalidad de corderos

Unidades: cabezas/año

Corderos muertos=

CORDERO*Tasa de mortalidad de corderos

Unidades: cabezas/año

Cambio de clase=

CORDERO

Unidades: cabezas/año

Borreguillas vendidas=

BORREGUILLA-Reemplazo de borregas

Unidades: cabezas/año

Borreguillas muertas=

BORREGUILLA *Tasa de mortalidad de ovinos jóvenes

Unidades: cabezas/año

Reemplazo de borregas=

if then else(BORREGA<Tamaño maximo de borregas, if then
else(BORREGUILLA<(Tamaño maximo de borregas-BORREGA+Borregas
muertas+Borregas de saca), BORREGUILLA, Tamaño maximo de borregas-
BORREGA+Borregas muertas+Borregas de saca),if then else((BORREGA-Borregas
muertas-Borregas de saca<Tamaño maximo de borregas), Tamaño maximo de borregas-
BORREGA+Borregas muertas+Borregas de saca, 0))

Unidades: cabezas/año

Borregas de saca=

BORREGA*Tasa de reemplazo por vida util de borregas

Unidades: cabezas/año

Borregas muertas=

BORREGA*Tasa de mortalidad de ovinos adultos

Unidades: cabezas/año

Carnerillos vendidos=

CARNERILLO-Reemplazo de corderos

Unidades: cabezas/año

Carnerillos muertos=

CARNERILLO*Tasa de mortalidad de ovinos jóvenes

Unidades: cabezas/año

Reemplazo de carneros=

Carneros vendidos+Carneros de saca+Carneros muertos+(Reemplazo de
borregas+BORREGA-Borregas muertas-Borregas de saca)*"Relación C/B"-CARNERO

Unidades: cabezas/año

Carneros de saca=

Tasa de reemplazo por vida util de carneros*CARNERO

Unidades: cabezas/año

Carneros muertos=

Tasa de mortalidad de ovinos adultos*CARNERO

Unidades: cabezas/año

Carneros vendidos=

CARNERO*Tasa de venta de carneros

Unidades: cabezas/año

Crías nacidas=

ALPACA HEMBRA*Tasa natalidad de crías de alpaca

Unidades: cabezas/año

Crías muertas=

CRIA ALPACA*Tasa de mortalidad de crías de alpaca

Unidades: cabezas/año

Paso a tuis=

CRIA ALPACA

Unidades: cabezas/año

Tuis vendidas=

TUI HEMBRA-Reemplazo de alpaca hembra

Unidades: cabezas/año

Tuis muertas=

TUI HEMBRA*Tasa de mortalidad de tuis

Unidades: cabezas/año

Reemplazo de alpaca hembra=

if then else(ALPACA HEMBRA<Tamaño maximo de alpacas H, if then else(TUI HEMBRA<(Tamaño maximo de alpacas H-ALPACA HEMBRA+Alpacas muertas+Alpacas H de saca), TUI HEMBRA, Tamaño maximo de alpacas H-ALPACA HEMBRA+Alpacas muertas+Alpacas H de saca),if then else((ALPACA HEMBRA-Alpacas muertas-Alpacas H de saca<Tamaño maximo de alpacas H), Tamaño maximo de alpacas H-ALPACA HEMBRA+Alpacas muertas+Alpacas H de saca, 0))

Unidades: cabezas/año

Alpacas H de saca=

ALPACA HEMBRA*Tasa de reemplazo por vida util de alpacas H

Unidades: cabezas/año

Alpacas muertas=

ALPACA HEMBRA*Tasa de mortalidad de alpacas adultos

Unidades: cabezas/año

Tuis vendidos=

TUI MACHO-Reemplazo de alpaca macho

Unidades: cabezas/año

Tuis muertos=

Tasa de mortalidad de tuis*TUI MACHO

Unidades: cabezas/año

Reemplazo de alpaca macho=

Alpacas vendidos+Alpacas M de saca+Alpacas muertos+(Reemplazo de alpaca hembra+ALPACA HEMBRA-Alpacas muertas-Alpacas H de saca)*"Relación AM/AH"-ALPACA MACHO

Unidades: cabezas/año

Alpacas M de saca=

Tasa de reemplazo por vida util de alpacas M*ALPACA MACHO

Unidades: cabezas/año

Alpacas muertos=

Tasa de mortalidad de alpacas adultos*ALPACA MACHO

Unidades: cabezas/año

Alpacas vendidos=

ALPACA MACHO*Tasa de venta de alpacas macho

Unidades: cabezas/año

VARIABLES AUXILIARES:

Tamaño máximo de madres=

Área Pajonal Llamas*CC Pajonal Llamas+CC Tolar Llamas*Area tolar llamas

Unidades: cabezas/año

Tamaño máximo de borregas=

Área Ovinos*CC Ovinos

Unidades: cabezas/año

Tamaño máximo de alpacas H=

Área Alpacas*CC Alpacas

Unidades: cabezas/año

Área Pajonal Llamas=

Reducción de pajonal llamas(Time)

Unidades: ha

Área Tolar Llamas=

Aumento de tolar llamas(Time)

Unidades: ha

Área Ovinos=

Reducción de pajonal ovinos(Time)

Unidades: ha

Área Alpacas=

Reducción de pajonal alpacas(Time)

Unidades: ha

Reducción de pajonal llamas=

WITH LOOKUP [(0,0)-(3000,500)],(2012,416.8),(2042,326.1),(2072,225.3),(2112,168.6)

Unidades: dmnl

Aumento de tolar Llamas=

WITH LOOKUP [(0,0)-(3000,1000)],(2012,0),(2042,411.6),(2072,836.8),(2112,941.3)

Unidades: dmnl

Reducción de pajonal ovinos=

WITH LOOKUP [(0,0)-

(3000,3000)],(2012,2482.2),(2042,1942.1),(2072,1341.9),(2112,1004.2)

Unidades: dmnl

Reducción de pajonal alpacas=

WITH LOOKUP [(0,0)-(3000,2000)],(2012,1276.4),(2042,998.7),(2072,690),(2112,516.4)

Unidades: dmnl

CONSTANTES:

Tasa de natalidad=

0.497

Unidades: 1/año

Tasa de mortalidad de crias de llamas=

0.019

Unidades: 1/año

Tasa de mortalidad de ancutas=

0.006

Unidades: 1/año

"Relación M/H"=

1/2

Unidades: dmnl

Tasa de mortalidad de adultos=

0.019

Unidades: 1/año

Tasa de reemplazo por vida util de llamas H=

0.1

Unidades: 1/año

CC Pajonal Llamas=

0.33

Unidades: cabezas/año/ha

CC Tolar Llamas=

0.28

Unidades: cabezas/año/ha

Tasa de reemplazo por vida util de M=

0.125

Unidades: 1/año

Tasa de venta de llamas macho=

0.056

Unidades: 1/año

Tasa de natalidad de corderos=

0.633

Unidades: 1/año

Tasa de mortalidad de corderos=

0.109

Unidades: 1/año

Tasa de mortalidad de ovinos jóvenes=

0.021

Unidades: 1/año

"Relación C/B"=

1/20

Unidades: dmnl

Tasa de mortalidad de ovinos adultos=

0.035

Unidades: 1/año

Tasa de reemplazo por vida util de borregas=

0.2

Unidades: 1/año

CC Ovinos=

1.96

Unidades: cabezas/año/ha

Tasa de reemplazo por vida útil de carneros=

0.33

Unidades: 1/año

Tasa de venta de carneros=

0.035

Unidades: 1/año

Tasa natalidad de crías de alpaca=

0.710

Unidades: 1/año

Tasa de mortalidad de crías de alpaca=

0.039

Unidades: 1/año

Tasa de mortalidad de tuis=

0.011

Unidades: 1/año

"Relación AM/AH"=

1/8

Unidades: dmnl

Tasa de mortalidad de alpacas adultos=

0.011

Unidades: 1/año

Tasa de reemplazo por vida util de alpacas H=

0.1

Unidades: 1/año

CC Alpacas=

1.1

Unidades: cabezas/año/ha

Tasa de reemplazo por vida util de alpacas M=

0.125

Unidades: 1/año

Tasa de venta de alpacas macho=

0.052

Unidades: 1/año

Anexo 11. Ecuaciones utilizadas en el desarrollo del escenario de cambio climático de
emisiones intermedias con pastoreo mixto llama-ovino

NIVELES:

CRIA LLAMA=

INTEG (Nacidos-Crias muertas-Paso a ancutas)

Unidades: Cabezas

ANCUTA MAYOR H=

INTEG (Paso a ancutas/2-Ancutas muertas-Reemplazo H-Ancutas vendidas)

Unidades: Cabezas

ANCUTA MAYOR M=

INTEG (Paso a ancutas/2-Ancutas muertos-Reemplazo M-Ancutas vendidos)

Unidades: Cabezas

LLAMA HEMBRA=

INTEG (Reemplazo H-Madres muertas-Hembras de saca)

Unidades: Cabezas

LLAMA MACHO=

INTEG (Reemplazo M-Padres muertos-Machos de saca-Reproductores vendidos)

Unidades: Cabezas

CORDERO=

INTEG (Corderos nacidos-Corderos muertos-Cambio de clase)

Unidades: Cabezas

BORREGUILLA=

INTEG (Cambio de clase/2-Borreguillas muertas-Reemplazo de borregas-Borreguillas vendidas)

Unidades: Cabezas

CARNERILLO=

INTEG (Cambio de clase/2-Carnerillos muertos-Reemplazo de corderos-Carnerillos vendidos)

Unidades: Cabezas

BORREGA=

INTEG (Reemplazo de borregas-Borregas muertas-Borregas de saca)

Unidades: Cabezas

CARNERO=

INTEG (Reemplazo de corderos-Carneros muertos-Carneros de saca-Carneros vendidos)

Unidades: Cabezas

FLUJOS

Nacidos=

LLAMA HEMBRA*Tasa natalidad

Unidades: cabezas/año

Crías muertas=

CRÍA LLAMA*Tasa de mortalidad de crías de llamas

Unidades: cabezas/año

Paso a ancutas=

CRÍA LLAMA

Unidades: cabezas/año

Ancutas vendidas=

ANCUTA MAYOR H-Reemplazo H

Unidades: cabezas/año

Ancutas muertas=

ANCUTA MAYOR H*Tasa de mortalidad de ancutas

Unidades: cabezas/año

Reemplazo H=

if then else(LLAMA HEMBRA<Tamaño maximo de madres, if then else(ANCUTA MAYOR H<(Tamaño maximo de madres-LLAMA HEMBRA+Madres muertas+Hembras de saca), ANCUTA MAYOR H, Tamaño maximo de madres-LLAMA HEMBRA+Madres muertas+Hembras de saca),if then else((LLAMA HEMBRA-Madres muertas-Hembras de saca<Tamaño maximo de madres), Tamaño maximo de madres-LLAMA HEMBRA+Madres muertas+Hembras de saca, 0))

Unidades: cabezas/año

Hembras de saca=

LLAMA HEMBRA*Tasa de reemplazo por vida util de llamas H

Unidades: cabezas/año

Madres muertas=

LLAMA HEMBRA*Tasa de mortalidad de adultos

Unidades: cabezas/año

Ancutas vendidos=

ANCUTA MAYOR M-Reemplazo M

Unidades: cabezas/año

Ancutas muertos=

ANCUTA MAYOR M*Tasa de mortalidad de ancutas

Unidades: cabezas/año

Reemplazo M=

if then else((ANCUTA MAYOR M-Ancutas muertos)>((Reemplazo H+LLAMA HEMBRA-Madres muertas-Hembras de saca)*"Relación M/H"-LLAMA MACHO+Machos de saca+Padres muertos+Reproductores vendidos), (Reemplazo H+LLAMA HEMBRA-Madres muertas-Hembras de saca)*"Relación M/H"-LLAMA MACHO+Machos de saca+Padres muertos+Reproductores vendidos, ANCUTA MAYOR M-Ancutas muertos)

Unidades: cabezas/año

Machos de saca=

Tasa de reemplazo por vida util de M*LLAMA MACHO

Unidades: cabezas/año

Padres muertos=

Tasa de mortalidad de adultos*LLAMA MACHO

Unidades: cabezas/año

Reproductores vendidos=

LLAMA MACHO*Tasa de venta de llamas macho

Unidades: cabezas/año

Corderos nacidos=

BORREGA*Tasa natalidad de corderos

Unidades: cabezas/año

Corderos muertos=

CORDERO*Tasa de mortalidad de corderos

Unidades: cabezas/año

Cambio de clase=

CORDERO

Unidades: cabezas/año

Borreguillas vendidas=

BORREGUILLA-Reemplazo de borregas

Unidades: cabezas/año

Borreguillas muertas=

BORREGUILLA*Tasa de mortalidad de ovinos jóvenes

Unidades: cabezas/año

Reemplazo de borregas=

if then else(BORREGA<Tamaño maximo de borregas, if then
else(BORREGUILLA<(Tamaño maximo de borregas-BORREGA+
Borregas muertas+Borregas de saca), BORREGUILLA, Tamaño maximo de borregas-
BORREGA+
Borregas muertas+Borregas de saca),if then else((BORREGA-Borregas
muertas-Borregas de saca<Tamaño maximo de borregas), Tamaño maximo de borregas-
BORREGA+
Borregas muertas+Borregas de saca, 0))

Unidades: cabezas/año

Borregas de saca=

BORREGA*Tasa de reemplazo por vida util de borregas

Unidades: cabezas/año

Borregas muertas=

BORREGA*Tasa de mortalidad de ovinos adultos

Unidades: cabezas/año

Carnerillos vendidos=

CARNERILLO-Reemplazo de corderos

Unidades: cabezas/año

Carnerillos muertos=

CARNERILLO*Tasa de mortalidad de ovinos jóvenes

Unidades: cabezas/año

Reemplazo de carneros=

Carneros vendidos+Carneros de saca+Carneros muertos+(Reemplazo de borregas+BORREGA-Borregas muertas-Borregas de saca)*"Relación C/B"-CARNERO

Unidades: cabezas/año

Carneros de saca=

Tasa de reemplazo por vida útil de carneros*CARNERO

Unidades: cabezas/año

Carneros muertos=

Tasa de mortalidad de ovinos adultos*CARNERO

Unidades: cabezas/año

Carneros vendidos=

CARNERO*Tasa de venta de carneros

Unidades: cabezas/año

VARIABLES AUXILIARES:

Tamaño máximo de madres=

Área Pajonal Llamas*CC Pajonal Llamas+CC Tolar Llamas*Area tolar llamas

Unidades: cabezas/año

Tamaño máximo de borregas=

Área Ovinos*CC Ovinos

Unidades: cabezas/año

Área Pajonal Llamas=

Reducción de pajonal llamas(Time)

Unidades: ha

Área Tolar Llamas=

Aumento de tolar llamas(Time)

Unidades: ha

Área Ovinos=

Reducción de pajonal ovinos(Time)

Unidades: ha

Reducción de área pajonal=

WITH LOOKUP [(0,0)-

(3000,5000)],(2012,4175.4),(2042,3266.9),(2072,2257.2),(2112,1689.2)

Unidades: dmnl

Aumento de área tolar=

WITH LOOKUP [(0,0)-(3000,1000)],(2012,0),(2042,411.6),(2072,836.8),(2112,941.3)

Unidades: dmnl

CONSTANTES:

Tasa de natalidad=

0.497

Unidades: 1/año

Tasa de mortalidad de crías de llamas=

0.019

Unidades: 1/año

Tasa de mortalidad de ancutas=

0.006

Unidades: 1/año

"Relación M/H"=

1/2

Unidades: dmnl

Tasa de mortalidad de adultos=

0.019

Unidades: 1/año

Tasa de reemplazo por vida útil de llamas H=

0.1

Unidades: 1/año

CC Pajonal Llamas=

0.33

Unidades: cabezas/año/ha

CC Tolar Llamas=

0.28

Unidades: cabezas/año/ha

Tasa de reemplazo por vida útil de M=

0.125

Unidades: 1/año

Tasa de venta de llamas macho=

0.056

Unidades: 1/año

Tasa de natalidad de corderos=

0.633

Unidades: 1/año

Tasa de mortalidad de corderos=

0.109

Unidades: 1/año

Tasa de mortalidad de ovinos jóvenes=

0.021

Unidades: 1/año

"Relación C/B"=

1/20

Unidades: dmnl

Tasa de mortalidad de ovinos adultos=

0.035

Unidades: 1/año

Tasa de reemplazo por vida útil de borregas=

0.2

Unidades: 1/año

CC Ovinos=

1.96

Unidades: cabezas/año/ha

Tasa de reemplazo por vida útil de carneros=

0.33

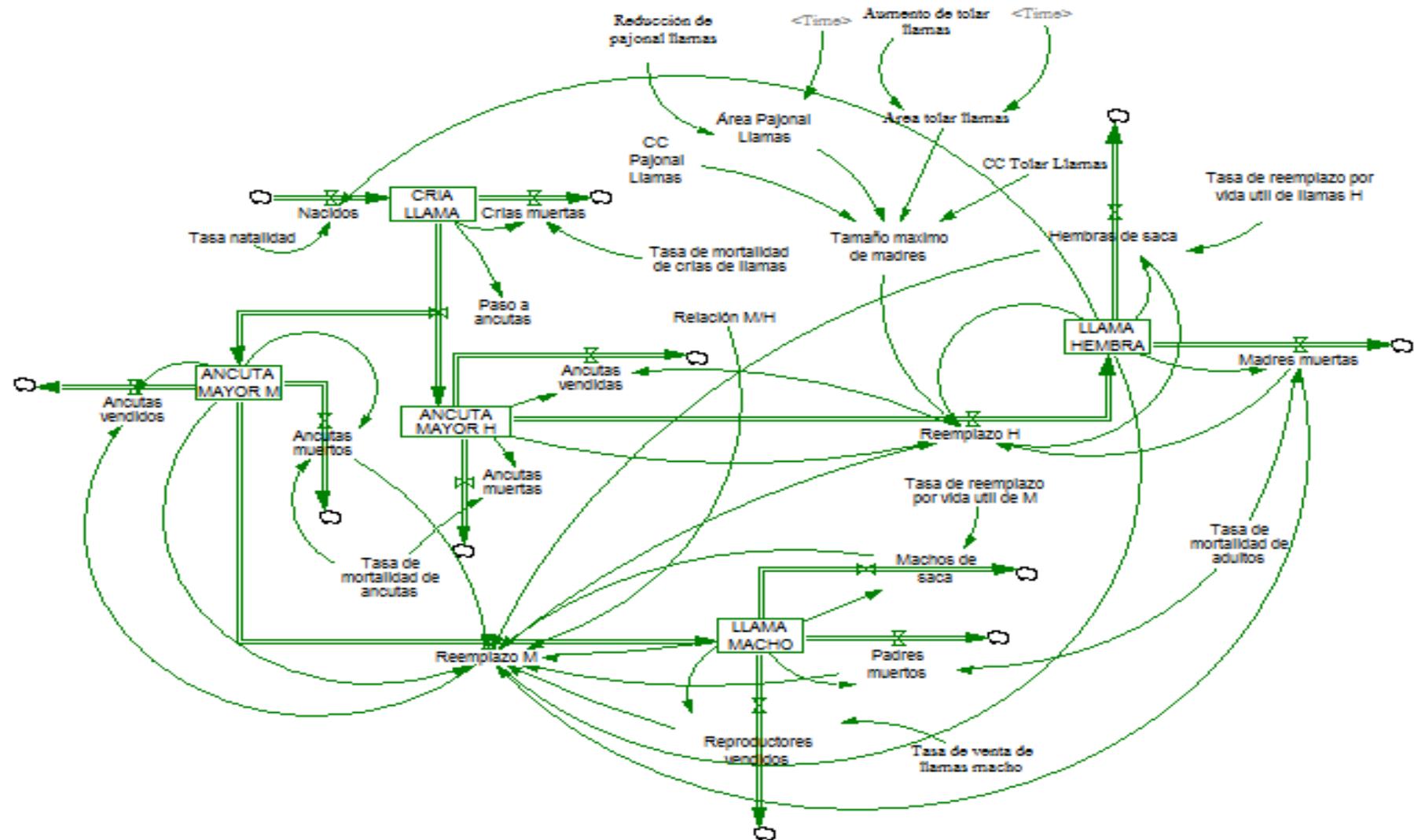
Unidades: 1/año

Tasa de venta de carneros=

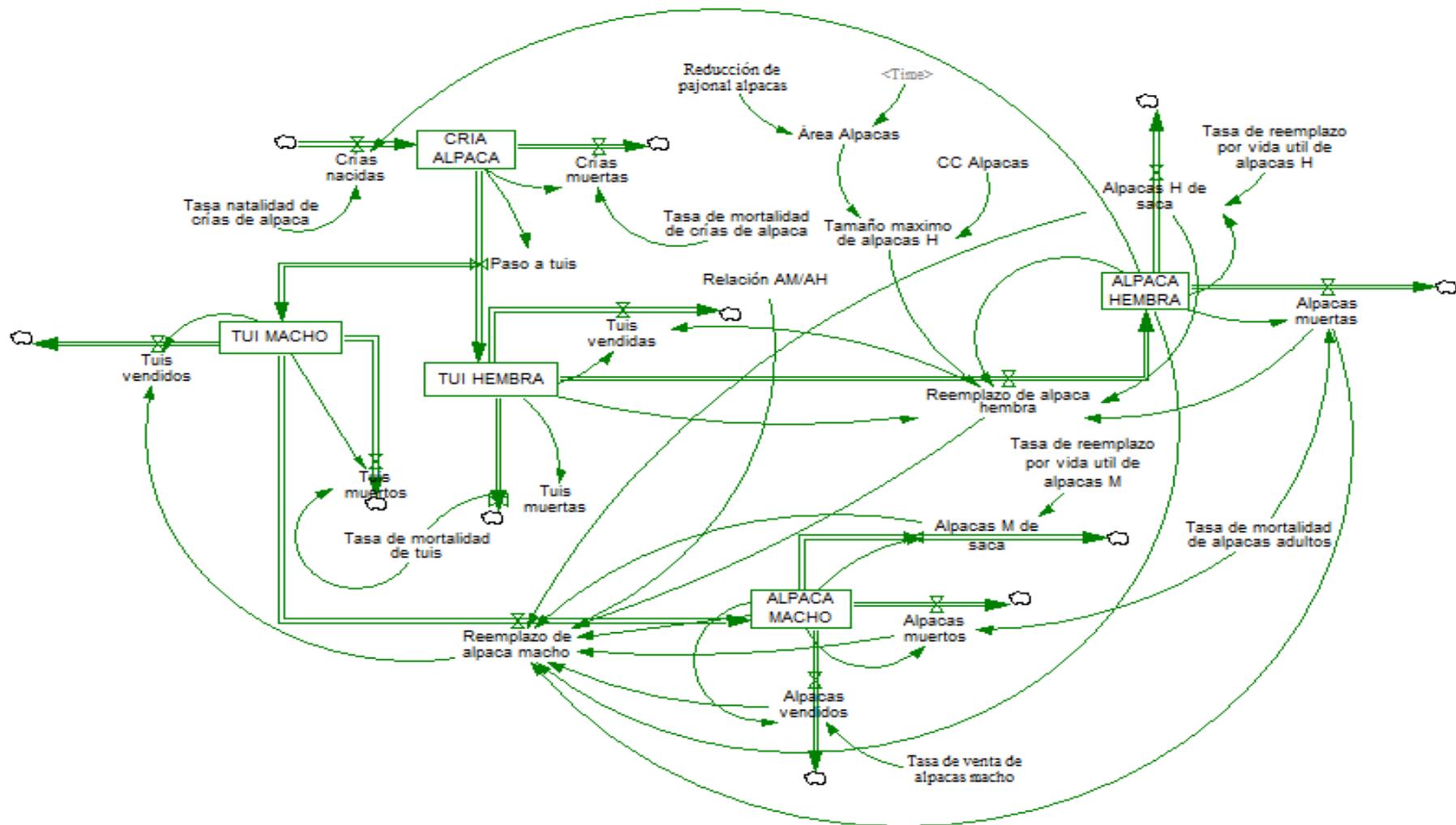
0.035

Unidades: 1/año

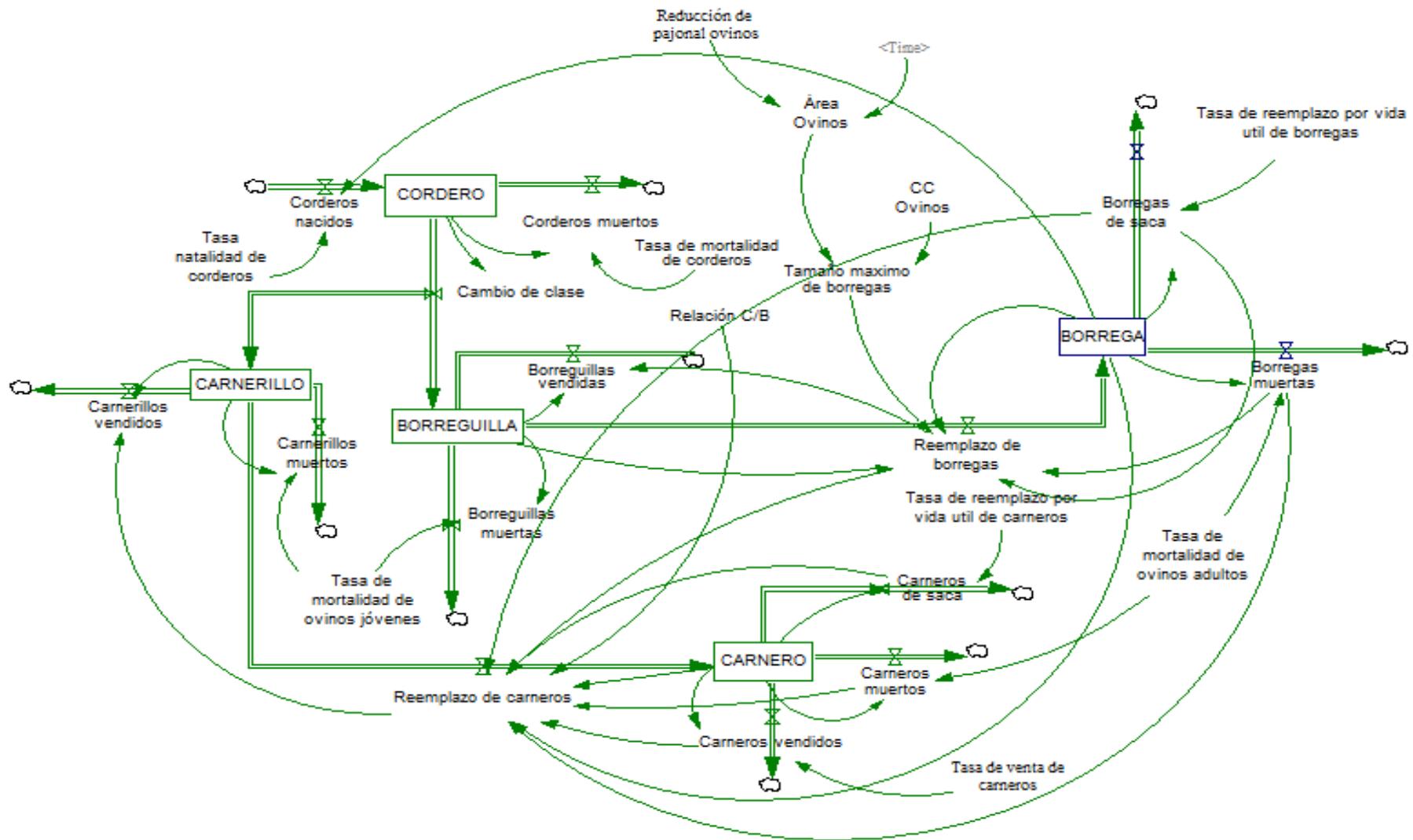
Anexo 12. Submodelo de la crianza de llamas en el escenario de cambio climático de emisiones intermedias con pastoreo excluyente



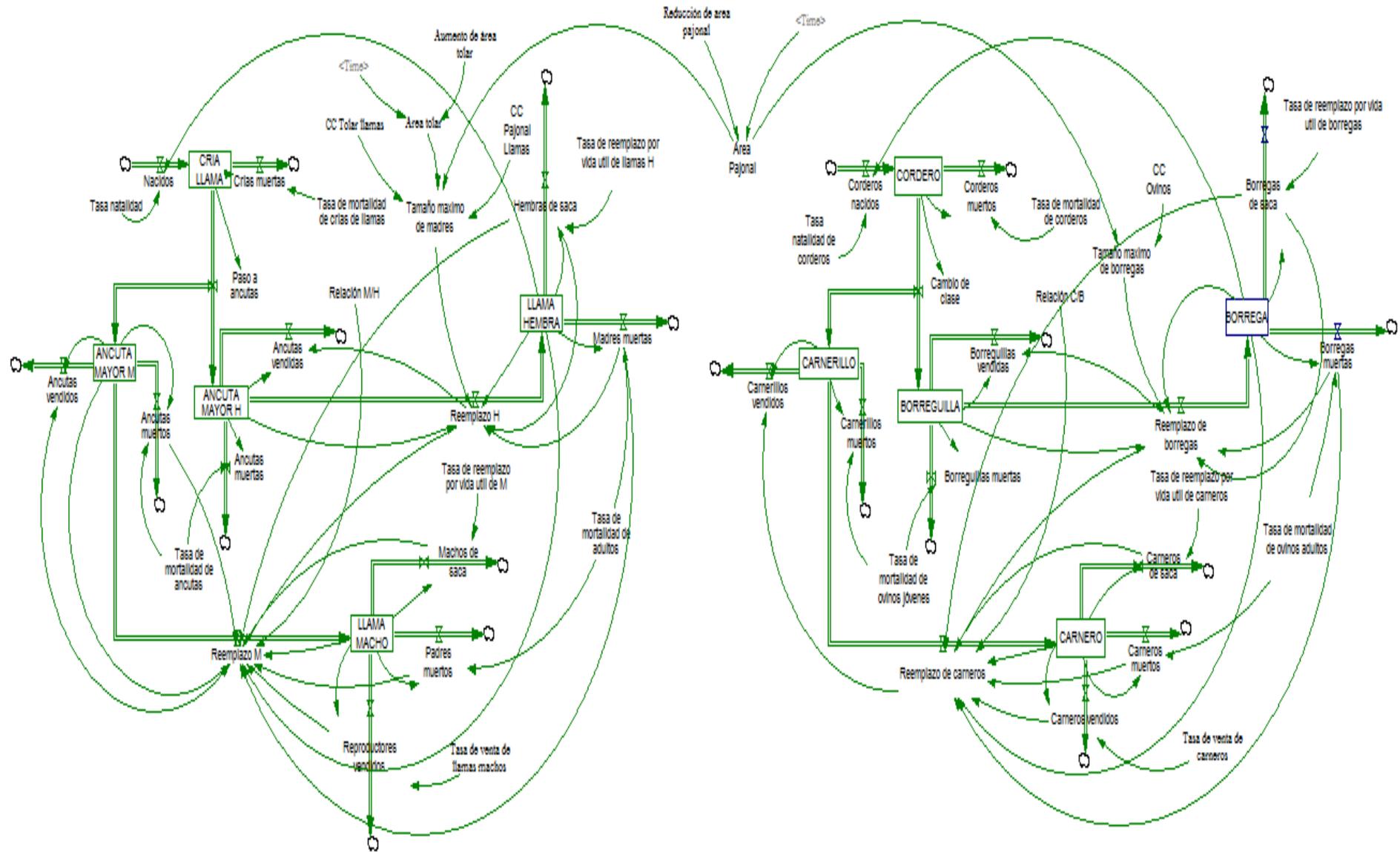
Anexo 13. Submodelo de la crianza de alpacas en el escenario de cambio climático de emisiones intermedias con pastoreo excluyente



Anexo 14. Submodelo de la crianza de ovinos en el escenario de cambio climático de emisiones intermedias con pastoreo excluyente



Anexo 15. Modelo de la crianza de llamas y ovinos en el escenario de cambio climático de emisiones intermedias con pastoreo mixto



Anexo 16. Asunciones del modelo

1. El total de área de pastoreo de la Cooperativa Comunal San Pedro de Racco es aprovechada exclusivamente por llamas, alpacas y ovinos; no considera vacunos, équidos ni fauna silvestre.
2. Las tasas de natalidad, mortalidad, reemplazo y venta se mantienen constantes a lo largo del horizonte de tiempo evaluado.
3. Los animales adultos son animales reproductivamente activos.
4. En el Escenario 1 las áreas de pastoreo permanecen constantes.
5. En los Escenarios 2 y 3 el cambio climático tiene un efecto exclusivamente en los tipos de vegetación, mas no en los índices productivos.
6. Los precios de venta de carne, fibra, lana y reproductores se mantienen constantes a lo largo del horizonte de tiempo evaluado.

Anexo 17. Proyección de los productos animales para los tres escenarios simulados

Productos animales proyectados	Años de evaluación										
	2012	2022	2032	2042	2052	2062	2072	2082	2092	2102	2112
Escenario 1											
Llamas											
Carne (kg)	8570	5460	5460	5460	5460	5460	5460	5460	5460	5460	5460
Reproductores	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Ovinos											
Carne (kg)	22668	44970	60210	76882	76882	76882	76882	76882	76882	76882	76882
Lana (kg)	9063	13356	17876	21098	21098	21098	21098	21098	21098	21098	21098
Reproductores	3	5	7	8	8	8	8	8	8	8	8
Alpacas											
Carne (kg)	64553	50628	50628	50628	50628	50628	50628	50628	50628	50628	50628
Fibra (kg)	7664	6792	6792	6792	6792	6792	6792	6792	6792	6792	6792
Reproductores	7	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Escenario 2											
Llamas											
Carne (kg)	8570	6060	7200	8390	9550	10740	11930	12800	12880	12880	12970
Reproductores	2	4	5	6	6	7	8	8	8	8	8
Ovinos											
Carne (kg)	22668	44970	62847	62280	56267	50137	43923	39894	37328	34686	32025
Lana (kg)	9063	13356	17876	16701	15019	13323	11620	10780	10056	9342	8624
Reproductores	3	5	7	6	6	5	4	4	4	3	3
Alpacas											
Carne (kg)	64553	48690	44999	41313	37401	33328	29318	26409	24644	22939	21174
Fibra (kg)	7664	6390	5893	5401	4864	4319	3767	3483	3252	3015	2784
Reproductores	7	8	7	7	6	5	5	4	4	4	3
Escenario 3											
Llamas											
Carne (kg)	2610	11880	27190	65570	61640	57240	52730	49220	47040	44710	42580
Reproductores	2	13	30	42	39	36	34	32	30	29	27
Ovinos											
Carne (kg)	22668	44970	60210	80581	94739	84291	73959	67165	62793	58370	54002
Lana (kg)	9063	13356	17876	23933	25272	22410	19550	18130	16923	15713	14506
Reproductores	3	5	7	9	10	9	7	7	6	6	5

Anexo 18. Proyección de los ingresos totales (S/.) e ingresos por hectárea (S/. / ha) para la CC San Pedro de Racco

Escenario		2012	2022	2032	2042	2052	2062	2072	2082	2092	2102	2112
1	Ingresos totales	597,841	663,602	758,047	858,100	858,100	858,100	858,100	858,100	858,100	858,100	858,100
	Has de pastoreo	4,175	4,175	4,175	4,175	4,175	4,175	4,175	4,175	4,175	4,175	4,175
	Ingresos totales/ha	143	159	182	206	206	206	206	206	206	206	206
2	Ingresos totales	597,841	657,193	753,455	737,295	678,668	624,359	573,221	533,815	507,057	479,622	446,355
	Has de pastoreo	4,175	4,010	3,844	3,678	3,484	3,289	3,094	2,978	2,862	2,746	2,631
	Ingresos totales/ha	143	164	196	200	195	190	185	179	177	175	170
3	Ingresos totales	243,638	454,021	767,094	991,167	956,090	909,358	858,422	825,777	796,034	796,034	796,034
	Has de pastoreo	4,175	4,010	3,844	3,678	3,484	3,289	3,094	2,978	2,862	2,746	2,631
	Ingresos totales/ha	58	113	200	269	274	276	277	277	278	290	303