

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN ECONOMÍA DE LOS RECURSOS  
NATURALES Y DEL AMBIENTE**



**“ANÁLISIS BIOECONÓMICO DEL NIVEL DE REMOCIÓN  
DE LA VEGETACIÓN Y CARGA ANIMAL EN CONDICIONES DE  
PASTOREO EXTENSIVO DE LA SIERRA CENTRAL DEL PERÚ”**

**Presentada por:**

**MARCO ANTONIO GUTIÉRREZ TANG**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAGISTER SCIENTIAE EN ECONOMÍA DE LOS RECURSOS  
NATURALES Y DEL AMBIENTE**

**Lima – Perú**

**2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN ECONOMÍA DE LOS RECURSOS  
NATURALES Y DEL AMBIENTE**

**“ANÁLISIS BIOECONÓMICO DEL NIVEL DE REMOCIÓN  
DE LA VEGETACIÓN Y CARGA ANIMAL EN CONDICIONES DE  
PASTOREO EXTENSIVO DE LA SIERRA CENTRAL DEL PERÚ”**

**Presentada por:**

**MARCO ANTONIO GUTIÉRREZ TANG**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAGISTER SCIENTIAE EN  
ECONOMÍA DE LOS RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE**

**Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:**

---

**Dr. Luis Jiménez Díaz**

**PRESIDENTE**

---

**Mg.Sc. Carlos Palomares Palomares**

**PATROCINADOR**

---

**Dr. Enrique Flores Mariazza**

**MIEMBRO**

---

**Mg.Sc. Juan Magallanes Díaz**

**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

En primer lugar, a nuestro Señor Dios todopoderoso

y a mi familia

A mis padres: Serafín Ezequiel y Juana Isabel

A mis hermanos: José Carlos, Víctor Hugo, Juan Martín y Julio César

Así mismo, a todas las personas, amigos y profesores que contribuyeron a la realización de este trabajo.

## AGRADECIMIENTOS

A nuestro Señor Dios, por guiar y proteger a mí y a toda mi familia en todo momento.

A mi familia y amigos, por su inagotable apoyo y comprensión.

Al mi profesores de la maestría, por los conocimientos compartidos.

A los investigadores responsables de los estudios de *Perfiles Alimentarios*, por su gentileza y grandeza en publicar sus datos de campo.

.

# ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1.	Economía y Recursos Naturales.....	3
2.2.	Derechos de propiedad.....	5
2.3.	La tragedia de los comunes .....	6
2.4.	Modelos Bioeconómicos.....	7
2.5.	Crecimiento de la Biomasa .....	8
2.5.1.	La Ecuación Logística .....	8
2.5.2.	Función de producción .....	12
2.5.3.	Función de producción de Cobb-Douglas.....	12
2.6.	Externalidades.....	15
2.7.	Características de los Pastizales .....	16
2.8.	Carga Animal.....	17
2.9.	Efecto de la Carga Animal en el Retorno Económico .....	19
2.10.	Producción de Forraje y capacidad de carga .....	21
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
3.1.	Formulación de Hipótesis .....	23
3.1.1.	Hipótesis General .....	23
3.1.2.	Hipótesis Específicas .....	23
3.2.	Base de Datos .....	23
3.3.	Función de Crecimiento del Recurso (Ct).....	25
3.4.	Función de Consumo del Recurso (Yt) .....	25
3.5.	Función de Producción de Leche (L) .....	26
3.6.	Función de Ingresos y Costos .....	27
3.7.	Función de Beneficios.....	28
3.8.	Estimación de los Óptimos.....	28
3.9.	Estimación de los Niveles de Capacidad de carga segura y Capacidad de carga máxima .....	28

3.10. Estimación del Precio Sombra .....	29
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	30
4.1. Análisis de la Dinámica del Recurso.....	30
4.1.1. Función de Crecimiento del Recurso (Ct).....	30
4.1.2. Función de Consumo del Recurso (Yt).....	34
4.1.3. Función de Producción de Leche (L).....	40
4.2. Análisis de los Ingresos y Costos sobre la carga y el consumo animal.....	41
4.2.1. Función de Ingresos y Costos .....	41
4.2.2. Análisis de los beneficios .....	44
4.2.3. Precio Sombra del Recurso.....	45
V. CONCLUSIONES.....	49
VI. RECOMENDACIONES .....	51
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	52
VIII. ANEXOS .....	60

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de bienes .....	4
Tabla 2. Condición y Capacidad de Carga /ha/año en Pastizales Naturales.....	19
Tabla 3. Condición, Carga y Producción de Forraje en Pasturas .....	19
Tabla 4. Estadísticos descriptivos.....	24
Tabla 5. Función de crecimiento de la biomasa forrajera.....	30
Tabla 6. Parámetros de la función logística.....	30
Tabla 7. Función de consumo animal estimado .....	35
Tabla 8. Función de consumo animal sostenible.....	35
Tabla 9. Función de consumo que depende de la biomasa.....	36
Tabla 10. Nivel de capacidad de caga animal segura y máxima. ....	40
Tabla 11. Función de producción de leche .....	40
Tabla 12. Función de ingresos y costos dependientes de la carga animal.....	41
Tabla 13. Beneficios óptimos de la actividad ganadera .....	42
Tabla 14. Beneficios del nivel de carga en libre acceso .....	43
Tabla 15. Beneficios del nivel de carga animal actual .....	43
Tabla 16. Variación de beneficios según la carga animal .....	44
Tabla 17. Precio sombra del recurso forrajero .....	46
Tabla 18. Variación de beneficios usando el precio sombra .....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Función de crecimiento logístico de la biomasa pesquera. ....	9
Figura 2. Función de crecimiento logístico de una biomasa vegetal. ....	10
Figura 3. Modelo conceptual del cambio en la biomasa .....	11
Figura 4. Incremento de la biomasa respecto del tiempo .....	31
Figura 5. Crecimiento del recurso con respecto al tiempo .....	32
Figura 6. Crecimiento del recurso respecto al nivel de biomasa .....	32
Figura 7. Efecto del $Ca=0.25$ UAM sobre el crecimiento del recurso .....	33
Figura 8. Efecto del $Ca=0.50$ UAM sobre el crecimiento del recurso .....	33
Figura 9. Efecto del $Ca=0.75$ UAM sobre el crecimiento del recurso .....	34
Figura 10. Efecto del $Ca=1.00$ UAM sobre el crecimiento del recurso .....	34
Figura 11. Función de consumo animal sostenible.....	36
Figura 12. Función de consumo que depende de la biomasa. ....	37
Figura 13. Nivel de consumo animal igual al crecimiento del recurso .....	37
Figura 14. Nivel de carga animal actual .....	38
Figura 15. Nivel de consumo igual al máximo crecimiento.....	39
Figura 16. Nivel de carga animal en el máximo crecimiento del recurso. ....	39
Figura 17. Trayectoria de la función de producción de leche. ....	41
Figura 18. Trayectoria de la función de ingresos y costos totales .....	42
Figura 19. Beneficios según nivel de la carga animal .....	43
Figura 20. Nivel de beneficios máximos .....	45
Figura 21. Nivel de beneficios con el precio sombra .....	47
Figura 22. Curvas de beneficio marginal.....	47
Figura 23. Variación de beneficios.....	48

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Base de datos.....	61
Anexo 2. Ingresos y costos .....	62
Anexo 3. Estimaciones econométricas .....	63

## RESUMEN

Inadecuadas prácticas de manejo sobre los recursos naturales hacen que los niveles de uso excedan su capacidad de regeneración natural constituyendo un gran problema ambiental y económico. Para evitar la degradación será necesario diseñar planes de manejo sostenibles que consideren factores biológicos y económicos para alcanzar una producción óptima, para lo cual debemos hacer uso de modelos bioeconómicos. Se construyó la base de datos con información proveniente de estudios de perfiles alimentarios de explotaciones ganaderas en condiciones de sierra central del Perú para conocer el efecto de la carga animal sobre la dinámica de vegetación y el nivel de remoción de la vegetación, entendido como consumo animal óptimo, de vacunos que maximice los beneficios. Se aplicó el enfoque del modelo bioeconómico de Gordon y Scheafer (1954), el enfoque de carga animal segura y máxima de Noy Meier (1975) y el método de Galarza y Collado (2013) para la estimación del precio sombra de los recursos naturales. Los resultados evidencian que la vegetación responde cuando niveles de carga animal de 0.25, 0.50, 0.75, 1.0 UA, es introducida en un nivel del crecimiento del recurso forrajero de la pastura tal que pudo soportar la remoción o consumo respectivo desplazándose hacia la derecha, es decir, que la vegetación prolongo el tiempo en el cual llega al máximo nivel de crecimiento consistente con las teorías ecológicas de crecimiento de la vegetación y respuesta a la defoliación descritas por Holoccheck (1985) y Odum (2006). Se estimó que la carga animal optima expresada en UAM/ha que fue de 2.26 cuando se empleó el precio de mercado. El nivel de carga optima tiene asociado un stock de biomasa disponible de 4587.32 Kg MS/ha/mes, un nivel de consumo de 970 Kg MS/ha/mes y un nivel de producción de leche 381.43 litros. Con el precio sombra del forraje, calculado en 0.52 S/ Kg MS la carga animal optima disminuye hasta 2.01 UAM. Los beneficios económicos se redujeron de S/ 224.26 a S/ 154.42 soles al emplear ambos enfoques de precios. Se determinó que niveles de carga animal superiores de 4.52 UAM representan pérdidas económicas para la actividad ganadera. La regla practica de uso del forraje de pasturas en explotaciones similares a las utilizadas en los perfiles alimentarios considerados para esta investigación fue de 2 a 3 UAM/ha

**Palabras claves:** Análisis bioeconómico, crecimiento y disponibilidad de forraje, consumo animal, carga animal, maximización de beneficios.

## ABSTRACT

Unsuitable management practices over natural resources cause the levels of use to exceed their natural regeneration capacity, constituting a major environmental and economic problem. In order to prevent degradation, it will be necessary to design sustainable management plans that take into account biological and economic factors in order to achieve optimum production, for which we should make use of bioeconomic models. The database was built with information from studies of food profiles of cattle farms in central highland conditions of Peru to know the effect of stocking rate on the dynamics of vegetation and the level of vegetation removal, understood as optimal animal consumption of cattle to maximize benefits. The bioeconomic model approach of Gordon and Scheafer (1954), the maximum and safe stocking rate approach of Noy Meier (1975) and the method of Galarza and Collado (2013) were applied for the estimation of the shadow price of natural resources. The results show that vegetation responds when stocking rate levels of 0.25, 0.50, 0.75, 1.0 AU are introduced at a growth level of the pasture forage resource such that it could withstand removal or respective consumption by moving to the right, i.e., that vegetation prolonged the time at which it reaches the maximum growth level consistent with the ecological theories of vegetation growth and response to defoliation described by Holocheck (1985) and Odum (2006). It was estimated that the optimum stocking rate expressed in AUM/ha was 2.26 when the market price was used. The optimal stocking rate level is associated with an available biomass stock of 4587.32 Kg DM/ha/month, a consumption level of 970 Kg DM/ha/month and a milk production level of 381.43 liters. With the shadow price of the forage, calculated at 0.52 S/ Kg DM the optimum stocking rate decreases to 2.01 UAM. The economic benefits were reduced from S/ 224.26 to S/ 154.42 soles when using both price approaches. It was determined that stocking rate levels higher than 4.52 UAM represent economic losses for livestock activity. The practical rule of use of pasture forage in farms similar to those used in the food profiles considered for this research was 2 to 3 AUM/ha.

**Key words:** Bioeconomic analysis, growth and availability of forage, animal consumption, stocking rate, maximization of benefits.

## **I. INTRODUCCIÓN**

En la región andina del Perú, el área ocupada por los pastizales naturales abarca cerca de 18 millones de hectáreas (MINAM 2018) de las cuales alrededor del 5 por ciento tiene el potencial de introducción a pastos cultivados. Estas praderas son la fuente de alimento para el sustento de más del 80 por ciento de la población ganadera del país. La producción animal en dichas condiciones no está libre de limitaciones, debido a una inapropiada gestión del recurso forrajero por parte de los agentes económicos localizados en ellas.

La degradación de los ecosistemas de pastos naturales en las partes altas de la sierra central es un problema muy crítico, estudios señalan que el 62 por ciento de los pastizales se encuentran en un estatus de condición pobre a muy pobre. Por otro lado, el Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú señala que el 46.8 por ciento de los pobres y el 70.4 por ciento de los pobres extremos del país, se encuentran localizados en la región sierra del Perú percibiendo ingresos mensuales promedios menores a los 300 soles (INEI 2019).

Las comunidades altoandinas dependen exclusivamente de los recursos naturales y ecosistemas circundantes, no solo desde el punto de vista productivo sino también ecológico, económico y ambiental. Los servicios ecosistémicos agregan valor a la producción, valor que las comunidades desconocen y no aprovechan sosteniblemente. Sin embargo, los ecosistemas son muy frágiles por lo que es responsabilidad directa de los usuarios conservarlos, para asegurar así su bienestar y el de sus generaciones futuras.

Las malas prácticas de manejo sobre los recursos naturales hacen que los niveles de uso de los recursos excedan su capacidad de regeneración natural constituyendo un gran problema, no solo desde una perspectiva ambiental sino también económico, porque trae consigo impactos negativos como la reducción de los insumos directamente relacionados en la producción ganadera (agua y pasto) y disminución en las cantidades de bienes producidos, muchas veces de manera irreversible.

La degradación de un ecosistema pastoril ocurre cuando la biomasa forrajera es utilizada sin respetar las tasas naturales de reposición es decir ocurre el sobrepastoreo, con lo cual hacemos referencia a la carga animal o mejor dicho una sobre carga animal, la cual es muy superior a la capacidad de soportabilidad del ecosistema. En nuestro país, el procedimiento tradicional para estimar la capacidad de carga animal ó el número de animales que soporta el sistema sin causar deterioro ni retrogresión, se basa muchas veces solo en cálculos a partir de los cambios en la disponibilidad de forraje mes a mes, sin tomar en cuenta la tasa de crecimiento del forraje, el nivel de uso de la vegetación ni el aporte energético de este (Ñaupari y Flores 1996), es decir, existen deficiencias en las técnicas de medición del recurso para una óptima estimación.

Una alternativa para evitar la degradación de estos ecosistemas y conducir un sistema de producción racional es la implementación de planes de manejo sostenibles que consideren factores de producción biológicos como económicos, para alcanzar niveles de producción óptimos. Para alcanzar lo antes mencionado, debemos de apoyarnos en las experiencias de manejo de otros recursos naturales, mediante el uso de modelos bioeconómicos para la estimación del nivel de producción óptima asociada a sus respectivos factores de producción.

El tal sentido, el objetivo de la presente investigación fue estimar el nivel de remoción de la vegetación de una pastura, entendido como el consumo animal optimo, considerando aspectos biológicos y económicos, que permita la sostenibilidad del recurso y la maximización de los beneficios de los involucrados en la actividad ganadera. Para lo cual se plantearon los siguientes objetivos específicos: a) Analizar la dinámica del stock de biomasa vegetal y su respuesta frente a la carga animal, y b) Determinar el efecto de los ingresos y costos involucrados en una actividad ganadera al pastoreo sobre el nivel de remoción de la vegetación y la carga animal.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Economía y Recursos Naturales

La ciencia económica tiene como objetivo lograr la asignación eficiente de los recursos escasos entre fines alternativos, esta definición básica implica que las decisiones que realizan los individuos y las empresas se llevan a cabo en un contexto de escasez relativa de recursos, cuyos usos son variados y existe un costo de oportunidad asociado a cada decisión (Pindick y Rubinfeld 2009). De acuerdo con la teoría economía tradicional, la sociedad dispone de varios factores de producción que pueden clasificarse en las siguientes categorías: trabajo, capital y tierra; en esta última se incluye a los recursos naturales y se les denomina como capital natural (Riera *et al.* 2005).

Los recursos naturales se les considera fuente proveedora de materias primas en la producción de bienes y servicios que aportan en la mejora del bienestar individual y de la sociedad al momento de consumirlos. La economía de los recursos naturales se dedica al estudio de la relación de la actividad económica que toma recursos de su entorno para llevarla a cabo, es decir, los recursos como parte de la función de producción, como inputs ó insumos para la actividad humana (Riera *et al.* 2005).

La economía de los recursos naturales estudia aspectos muy diversos, pero principalmente se enfoca en dos clasificaciones: los recursos renovables y no renovables. Los recursos renovables incluyen los bosques, las pesquerías, la ganadería, el agua y los no renovables son aquellos cuyo periodo de reposición es demasiado largo, a escala humana, como para considerarlos renovables, siendo el petróleo, al igual que la mayoría de los minerales son ejemplos de recursos no renovables (Maldonado 2008).

La búsqueda de la eficiencia económica requiere la comparación de beneficios y costos asociados a intervenciones en el medio ambiente, sin embargo, la existencia de externalidades y el hecho de que muchos recursos naturales tienen características de bienes

públicos o semipúblicos hacen que los mercados no operen en la dirección correcta de maximizar el bienestar social (Conrad 2010). En la tabla 1 se presenta la clasificación de los bienes según sus características de rivalidad y exclusión.

Tabla 1. Clasificación de bienes

	<b>Excluible</b>	<b>No Excluible</b>
<b>Rival</b>	<i>Bienes Privados</i>	<i>Bienes Comunes</i>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alimentos</li> <li>• Ropa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Áreas de pesca</li> <li>• Tierras de pastoreo</li> </ul>
<b>No Rival</b>	<i>Bienes cuasi-públicos</i>	<i>Bienes Públicos</i>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Autopista de peaje no congestionada</li> <li>• Televisión de pago</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Defensa Nacional</li> <li>• Televisión en señal abierta</li> </ul>

Fuente: Pindick y Rubinfeld, 2009

Los bienes públicos se caracterizan por la imposibilidad de aplicar la exclusión en su consumo y por la inexistencia de rivalidad y los bienes comunes se caracterizan por el hecho de que no se puede aplicar la exclusión, pero existe rivalidad en el consumo (Pindick y Rubinfeld 2009). Desde la perspectiva de la valoración económica, los aspectos más importantes de los bienes públicos tienen que ver con la información que es factible obtener a partir de un mercado específico, estos bienes públicos carecen de un mercado del que se pueda obtener información sobre el precio o la cantidad, pero para el caso de los bienes comunes se puede inferir el precio a partir del comportamiento de los individuos con respecto a un bien privado (Mendieta 2001).

Las características principales de los bienes públicos son las siguientes:

- a) No son intercambiables en los mercados.
- b) Cualquier número de individuos pueden disfrutar del bien y no reduce la cantidad disponible para otros.
- c) El acceso no puede ser controlado.
- d) La cantidad del bien o del servicio no puede determinarse por observación o inferencia.

En ocasiones nos referimos a los recursos naturales como capital natural. Esta denominación puede resultar útil para entender, que las cuestiones a resolver respecto de la gestión de recursos naturales se asemejan bastante a los problemas a resolver cuando se toman decisiones de inversión. También, permite entender a los recursos naturales como bienes en los cuales invertir. Así tal y como sucede con los activos financieros, en los recursos naturales habrá que decidir cuanta inversión realizar hoy, es decir, que cantidad del recurso ahorrar para el futuro y qué cantidad consumir en el presente (Riera *et al.* 2005).

Los recursos naturales se les puede clasificar de dos formas: Renovables y No Renovables (Pearce y Turner 1995). Los recursos renovables son aquellos que se producen sin la intervención del hombre o poseen un stock no fijo y se regeneran a una tasa natural la cual debe ser mayor a la tasa de uso. Los recursos no renovables son aquellos que poseen un stock fijo, es decir poseen una cantidad dada y su tasa de regeneración es nula desde la perspectiva humana. (Maldonado 2008).

La capacidad de regeneración de un recurso renovable no evita que se pueda agotar, ello depende de cómo se gestione dicho recurso, para lo cual se debe de identificar las tasas de extracciones del recurso que maximice el bienestar social. Sin embargo, la identificación de aquellas tasas que no comprometan la continuidad y capacidad de regeneración del recurso, denominadas sustentables o sostenibles, representan un problema (Maldonado 2008).

Para determinar estas tasas, se debe de conocer información técnica-científica y esta debe de ser provista por otras disciplinas del conocimiento (ciencias físicas, biológicas, químicas, etc.). Al reunir ambos tipos de información se generan los denominados modelos bioeconómicos, partiendo de la información biológica que describe las características principales del crecimiento del recurso incorporándoseles las variables económicas, para determinar el mejor ritmo de explotación del recurso (Conrad, 2010).

## **2.2. Derechos de propiedad**

Cuando se poseen derechos de propiedad completos sobre los recursos naturales se puede realizar una óptima asignación de estos, ya que se puede internalizar todas las externalidades y se generarían los incentivos necesarios para que el comportamiento racional de los agentes los impulse a su uso eficiente (Bromley 1991). Un agente posee derechos de propiedad

completos sobre un recurso cuando posee los derechos de uso y de exclusión, es decir puede usar el recurso como mejor le convenga asumiendo los beneficios y las obligaciones que de sus decisiones se desprenden y puede excluir a terceros de su uso (Canavese 2007). Los recursos pueden estar sujetos a cuatro regímenes de propiedad: estatal, privada, común y de acceso abierto (Bromley 1991).

Los pastizales se caracterizan por ser un recurso catalogado como de uso común (no excluibles pero rivales), es decir pueden ser utilizados o consumidos por cualquier agente económico sin ningún tipo de limitaciones debido a la ausencia de derechos de propiedad. Estas dos características en simultáneo hacen que los pastizales y más precisamente el recurso forrajero de estos se caracterice por ser un recurso de uso común y por ende que estén inmersos en una situación conocida como la tragedia de los comunes (Ward 2006).

Los niveles de ganancia pueden variar en función de los derechos de propiedad del operador ganadero asociados con la titularidad de la tierra y/o de los recursos que hay sobre ella. La tenencia de la tierra genera incentivos sobre el nivel de unidades productivas a usar o carga animal, influyendo en el horizonte de planeación del operador ganadero y también sobre la estructura de costos de la empresa ganadera (Workman, 1986).

### **2.3. La tragedia de los comunes**

Descrito por Garrett Hardin en 1968 plantea una situación que sucede cuando existe un recurso común o comunal, es decir no existen restricciones al acceso y su uso ocasiona costos cada vez mayores a los agentes que lo explotan (rivalidad), de igual forma, los agentes económicos actuando racionalmente pero individualmente en su afán por maximizar sus beneficios terminan por destruir el recurso (Caffera 2018). Esto ocurre porque los individuos al existir libre acceso no asumen de forma directa los costos externos de su explotación si no únicamente los costos privados y por lo tanto el proceso de maximización de los beneficios los lleva a que individualmente les sea conveniente explotar cada vez más el recurso.

Hardin (1968), en su ejemplo de la tragedia de los comunes menciona: *“imagínese un pastizal cuyo uso es compartido entre un número cualquiera de individuos, cada uno de esos pastores tiene un número dado de animales en ese pastizal. Los pastores observan que, a pesar de ese uso, queda suficiente pasto no consumido como para pensar que se podría*

*alimentar aún a más animales. Consecuentemente, uno tras otro lo hacen. Pero en algún punto de ese proceso de expansión de la explotación del pastizal, la capacidad de éste para proveer suficiente alimento para los animales es sobrepasada y ocasiona que todos los animales perezcan debido al agotamiento o sobreexplotación del recurso”.*

Ostrom (2011), menciona que *“es importante que los agentes o usuarios locales de un recurso que tenga características de bien de uso común tengan acuerdos claros sobre reglas de definición de límites, mecanismos de solución de conflictos, planes de monitoreo, sanciones graduadas apropiadas y sus propias reglas relacionadas con el aprovechamiento del recurso a fin de evitar caer en la trampa de la tragedia”.*

#### **2.4. Modelos Bioeconómicos**

La clasificación de los recursos naturales en renovables y no renovables nos proporcionan tres tipos de modelos de análisis: para los recursos renovables se tienen los llamados modelos de pesca y modelos de bosques, y para los no renovables los modelos de minas (Romero 1994, Riera *et al.* 2005, Maldonado 2008). A pesar de las actividades de las cuales derivan los nombres de los modelos, estos deben de verse como propuestas de análisis más generales y no excluyen a que otros recursos naturales se puedan ajustar a la metodología de análisis de los modelos mencionados (Romero 1994, Galarza 2004).

En líneas generales los modelos de pesca se usan para recursos que tienen tasas de regeneración relativamente rápidas y usualmente están caracterizados como recursos de uso común (no excluibles pero rivales), en los que la asignación de los derechos de propiedad es un reto institucional (Galarza 2004, Galarza y Collado 2013). Por otro lado, los modelos de bosques se aplican a recursos con tasas de crecimiento más lentas y tradicionalmente en casos en los que la asignación de los derechos de propiedad no sea un problema estando bien definidos (Romero 1994). Los modelos de los recursos no renovables se orientan más a entender y encontrar las sendas óptimas de utilización en el tiempo y a comparar el efecto que diferentes estructuras de mercado causan en ellos (Riera *et al.* 2005, Maldonado 2008).

Al gestionar un recurso natural ó un ecosistema son muchas las decisiones a tomar, así pues, podemos decidirnos por una explotación especializada por un único recurso (pastos, pesca, madera, etc) ó podemos diversificar los productos a explotar en base a funciones alternativas

(servicios ambientales y/o recreativos) como el gestionar una reserva paisajista, valorar económicamente el secuestro de carbono ó la recarga de acuíferos (Azqueta 1994, Riera *et al.* 2005). La solución óptima desde un punto de vista económico resultara de la combinación de información de origen biológico y de ciertas variables económicas para determinar el momento óptimo de uso del recurso o la combinación de alternativas que generen los mayores beneficios económicos (Conrad 2010, Ward 2006).

Los pastizales naturales de la Sierra del Perú, de acuerdo al III y IV Censo Nacional Agropecuario (INEI 1994, INEI 2012), cubren entre el 12 – 14 por ciento del territorio nacional, sobrepasando el uso potencial del suelo de 8 por ciento (ONERN, 1985), estos pastizales son fuente generadora de beneficios económicos (ganadería, agricultura, minería, turismo, etc.) y servicios ambientales (secuestro de carbono, regulación hídrica, control de inundaciones, etc.) cumplen funciones de conservación de la biodiversidad y protección de hábitats (MEA 2005, TEEB 2010).

## **2.5. Crecimiento de la Biomasa**

La biomasa se puede definir como cualquier grupo de organismos de la misma especie que habitan un área geográfica particular (nicho ecológico o ecosistema) en un tiempo determinado y se reproducen entre sí a una determinada tasa (Odum y Barret 2006).

### **2.5.1. La Ecuación Logística**

La ecuación logística fue propuesta por Verhulst (1838) y describe la tasa de crecimiento de una población hasta alcanzar su capacidad de carga a partir de una población inicial conocida (Seijo *et al.* 1997), su ecuación matemática presenta la siguiente ecuación (e1):

$$F(S_t) = r * S_t * \left(1 - \frac{S_t}{k}\right) \quad (e1)$$

Donde:

r = Tasa intrínseca de crecimiento de la biomasa.

S<sub>t</sub> = Biomasa disponible o cantidad de recurso en un momento dado.

K = Capacidad de carga de sistema, definida como el número máximo de individuos que un ecosistema puede soportar bajo determinadas condiciones.

La función logística (e1), forma una parábola simétrica con dirección hacia abajo con cortes en el origen y en la capacidad de carga, mostrándonos que la población puede comenzar a crecer con una cantidad de la especie muy pequeña, de casi cero (figura 1), lo cual es una simplificación de la realidad (Maldonado 2008). La capacidad de carga es un punto de equilibrio estable ya que, en un punto a la izquierda de K, la tasa de crecimiento de la especie es positiva por lo tanto se retorna a K y a la derecha de K ocurre lo contrario (Maldonado 2008, Conrad 2010).

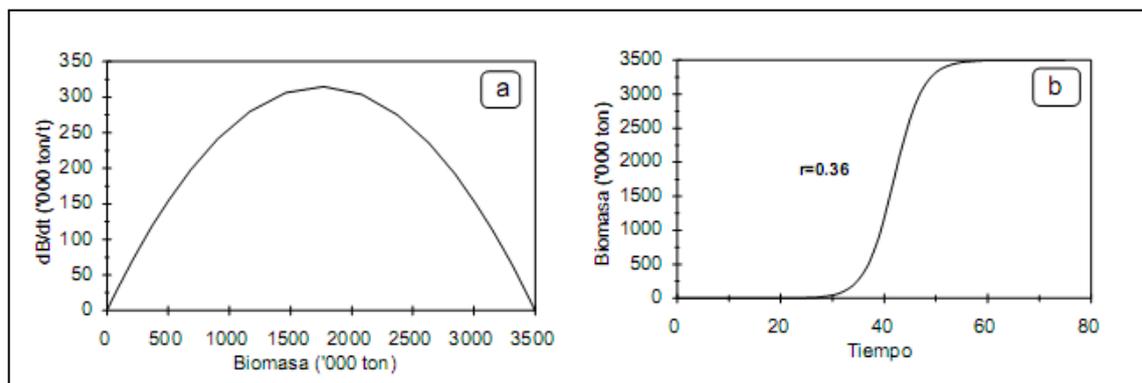


Figura 1. Función de crecimiento logístico de la biomasa pesquera.  
Fuente: Seijo *et al.* 1975

Schaefer (1954) utilizó la función logística para explicar su modelo de rendimientos excedentes en los recursos pesqueros, modelo que posteriormente fue ampliado por Gordon (1954), quien introdujo los componentes económicos al modelo (Seijo *et al.* 1997). Aunque con limitantes la ecuación logística es la más utilizada para estimar modelos bioeconómicos debido a su sencillez, practicidad y lógica operacional (Maldonado 2008, Conrad 2010).

La función logística también fue empleada para calcular el crecimiento y la capacidad de carga de diversos tipos de recursos, entre ellos la vegetación como la demuestra Noy-Meir (1975) y esto se puede observar en la figura 2.

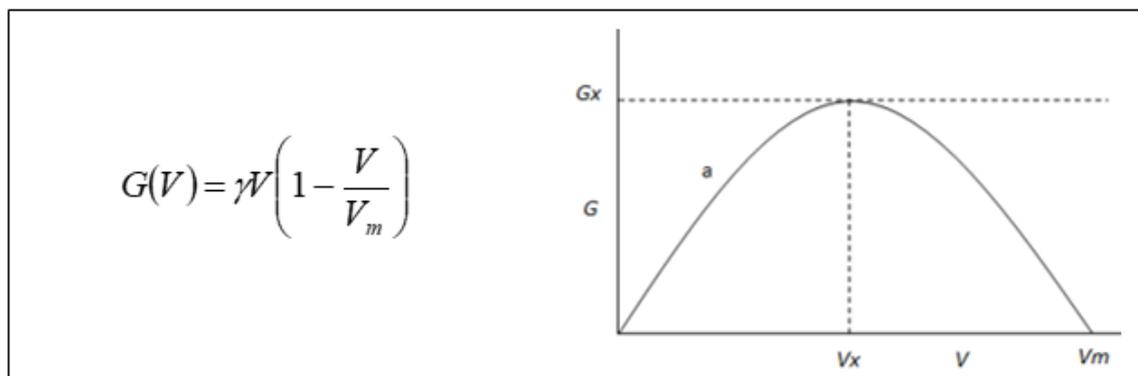


Figura 2. Función de crecimiento logístico de una biomasa vegetal.

Donde:

G = Crecimiento de Biomasa

G<sub>x</sub> = Máximo crecimiento de Biomasa

V<sub>x</sub> = Cantidad de biomasa en el punto máximo de crecimiento

V<sub>m</sub> = Capacidad de carga de sistema

a = Curva de función logística

Se ha de mencionar que esta no es la única manera de medir el crecimiento de la biomasa vegetal, la Sociedad Americana de Manejo de Pastizales, presenta una variedad de técnicas de medición de la biomasa vegetal, desde métodos empíricos a métodos matemáticos complejos, así como también metodologías de evaluación práctica en campo (ASRM 1962). Los métodos tradicionales son costosos y demandan una enorme logística, razón por lo que se recomienda su uso en combinación con técnicas indirectas como la aplicación de sensores remotos (Angerer 2012).

La experiencia indica que después de intensas prácticas y calibraciones utilizando análisis de regresión es posible estimar la cantidad de forraje disponible mediante el método de estimación ocular, con un rango de precisión de entre 100 – 300 Kg. MS/ha de forraje cortado, sin embargo, esta valoración visual es fácil cuando hay una cobertura uniforme dentro de los potreros y se encuentran sobre terreno plano, encontrando una mayor dificultad en terrenos con pendientes y/o en desnivel (Holechek 1958, Holechek *et al.* 1995).

La producción del forraje también puede estar correlacionada con variables del tipo climáticas como la temperatura, precipitación o la humedad en el suelo. (Flores 2006),

señalan que, para predecir la tasa de crecimiento a partir de la temperatura y la humedad del suelo, el crecimiento está más correlacionada con la temperatura y propone la siguiente ecuación matemática (e2), la cual reporta un coeficiente de determinación de 0.86, sin embargo, menciona que siempre hay que buscar mejores modelos de predicción.

$$TC = 852.8 + 14.594T^2 - 222.7T \quad (e2)$$

Donde:

TC = Tasa de crecimiento

T = Temperatura ambiental

Scarnecchia (1999), presentó un conjunto de variables generales que describen el crecimiento, la desaparición y la acumulación del forraje en los sistemas de pastoreo. El modelo sobre la base de ese enfoque se presenta en el siguiente esquema (figura 3).

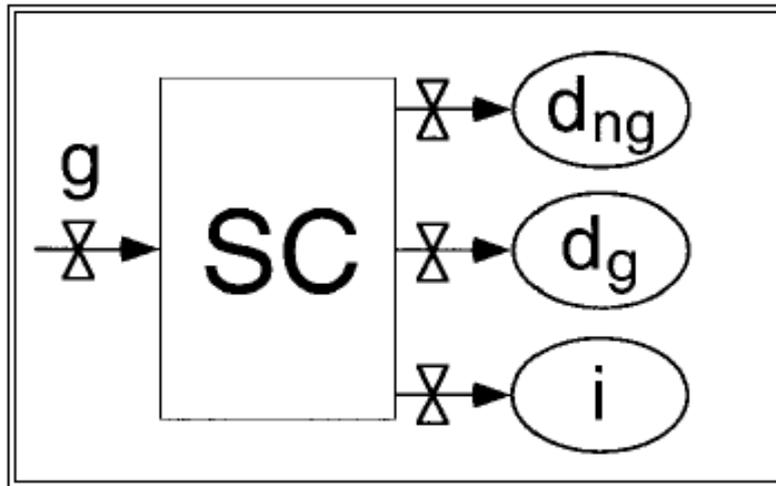


Figura 3. Modelo conceptual del cambio en la biomasa

De donde se desprende el siguiente modelo matemático (e3):

$$DSC = SC_f - SC_i = g - d_{ng} - I - d_g \quad (e3)$$

Donde:

DSC = Cambio en la biomasa disponible

$SC_f$  = Biomasa final

$SC_i$  = Biomasa inicial

$g$  = Nuevo crecimiento

$d_{ng}$  = Desaparición de pasto no atribuible a la carga animal

$I$  = Ingesta del ganado

$d_g$  = Desaparición de pasto atribuible a la carga animal por el pisoteo

### 2.5.2. Función de producción

La función de producción cuantifica la relación existente entre los requerimientos de factores productivos y los productos generados en la actividad habitual de la empresa (García 2012). La función de producción relaciona los insumos con los productos, indicando la cantidad máxima de producto que puede obtenerse para una determinada combinación de factores (Ballester, 1985). La naturaleza de la función es discontinua, es decir, el producto se mide a intervalos en relación con el factor usado, no obstante, se consideran y analizan como continuas, de modo que los incrementos de producto en la función se originan suavemente en correspondencia a incrementos infinitesimales del factor (García *et al.* 2000, García 2012).

### 2.5.3. Función de producción de Cobb-Douglas

La función Cobb-Douglas es la forma más ampliamente usada de la función de producción en el análisis económico, es usada para representar las relaciones que existe entre un producto y las variaciones de las cantidades de los insumos tecnología, trabajo y capital empleados durante el proceso productivo. Propuesta por Wicksell e investigada con evidencia estadística por Charles Cobb y Paul Douglas (1928).

Esta función de producción presenta la forma:

$$Q = AT^\alpha K^\beta \quad (e4)$$

Donde:

$Q$  = producción total (el valor monetario de todos los bienes producidos durante un año)

$T$  = Insumo trabajo

K = Insumo capital

A = Factor total de productividad

$\alpha$  = Elasticidad del insumo trabajo

$\beta$  = Elasticidad del insumo capital

Los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  son las elasticidades de los factores de producción que son determinadas por la tecnología disponible. Las elasticidades mide la respuesta del producto a un cambio en los niveles del trabajo o del capital usados en la producción, siempre que los demás factores permanecen en la condición de “*ceteris paribus*” (Varian 2010). Por ejemplo, si  $\alpha = X$ , un aumento del 1% en la cantidad de trabajo, provocaría un incremento aproximado del X% en el volumen del producto.

Así, si:  $\alpha + \beta = 1$ , la función de producción tiene economías de escala constantes, es decir que si T y K aumenta cada uno el Y%, Q aumenta también el Y%. Esto significa que la función Cobb-Douglas es homogénea de grado uno e implica que el costo mínimo es independiente del volumen de la producción y depende sólo de los precios relativos de los factores de producción (Seijo *et al.* 1997).

Si:  $\alpha + \beta < 1$ , rendimientos de escala son descendentes y si:  $\alpha + \beta > 1$ , los rendimientos de escala son crecientes. Suponiendo competencia perfecta,  $\alpha$  y  $\beta$  pueden ser obtenidos como la cuota de T y de K con respecto a Q. Por otro lado, un avance tecnológico que aumenta el parámetro A incrementa proporcionalmente el producto marginal de T y de K (Seijo *et al.* 1997).

Para el caso del sector ganadero, las funciones de producción, desde un punto de vista teórico, son de la forma cubica (García 2012) y se pueden expresar de la siguiente manera (e5):

$$Y = a + bX_1 + cX_1^2 + dX_1^3 + eX_2 + fX_2^2 + gX_2^3 \quad (e5)$$

Otra función utilizada comúnmente es la del tipo potencial, cuya función representativa es la función Cobb-Douglas, la cual fue mencionada anteriormente, que indica una relación multiplicativa entre los diversos insumos considerados y su forma matemática reportada es (e6):

$$Y = aX_1^b K_2^c \quad (e6)$$

Además, esta forma potencial, se puede linealizar mediante la aplicación de logaritmos con la cual podemos obtener la siguiente expresión (e7):

$$\ln Y = \ln a + b \ln X_1 + c \ln X_2 \quad (e7)$$

Jones y Sandland (1974), reportan la siguiente expresión cuadrática (e8) para estimar los niveles de producción, los cuales son dependiente de los niveles de la carga animal.

$$Y = bS - cS^2 \quad (e8)$$

Donde:

Y = Producción

S= Carga animal

Noy-Meir (1975) emplea la función de producción a la cual denomina función de consumo total, tomando la premisa de que todo nivel de producción de un animal es el resultado del nivel de consumo de alimento, tal como se muestra a continuación (e9):

$$C = c(V)H = c_m \left( \frac{[V - V_r]}{(V - V_r) + V_k} \right) * H \quad (e9)$$

Donde:

C = Consumo total

C(V) = Consumo individual que depende de la vegetación

H = Numero de animales ó carga animal

V = Cantidad de biomasa disponible

Usando el enfoque de equilibrio general de mercado, aplicado en otros recursos renovables por diversos autores (Noy-Meir 1975, Romero 1994, Pearce y Turner 1995, Seijo *et al.* 1997, Richardson *et al.* 2005, Maldonado 2008, Conrad 2010, Ritten *et al.* 2010, Galarza y Collado 2013), un equilibrio donde la oferta está representada con la cantidad de biomasa que depende de la tasa de crecimiento de la misma y donde la demanda, es el nivel de remoción de la vegetación o consumo total, que depende del consumo individual y del número de animales o carga animal, puede ser representada con la siguiente expresión (e10):

$$\frac{\delta V}{\delta t} = G - C = G(V) - c(V)H \quad (e10)$$

Donde:

G = Crecimiento de la vegetación

C = Consumo total

V = Cantidad de biomasa disponible

En donde un equilibrio en el largo plazo ó equilibrio en estado estacionario significa que la remoción de la vegetación ó consumo total se iguala al nivel de crecimiento de la vegetación (e11).

$$\frac{\delta V}{\delta t} = 0 \quad \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \quad G(V) = c(V)H \quad (e11)$$

## 2.6. Externalidades

Es una situación en la cual una actividad de producción o consumo afecta negativa o positivamente a productores o consumidores ajenos a la misma y los realizadores de la actividad no asumen los efectos de los costos o beneficios ocasionados, por lo que no se reflejan en los precios y por ende en el mercado (Pindick y Rubinfeld 2009). También se le puede definir como un efecto no intencional del proceso productivo (o del consumo) que afecta a terceros provocando pérdida o ganancia de bienestar, de manera involuntaria y no compensada (CEPAL 2009).

Un agente económico experimenta una externalidad cuando en las variables reales de su función de producción exista alguna determinada por otro agente, cuya actuación ignora sus efectos sobre el bienestar del primero (López y Perdomo 2016). Una externalidad es un efecto real e involuntario que la actividad de un agente económico produce en el nivel de bienestar de otro, sin que medie pago por ellos (López y Perdomo 2016). Técnicamente las externalidades significan que la función de producción (o la de utilidad) de un agente económico depende de la función de producción de otro (Siebert 2008).

Los precios actuales de la tierra, agua y alimentos utilizados en la producción pecuaria no reflejan la escasez verdadera de estos recursos, lo que conduce a una explotación excesiva de los mismos y a una gran ineficacia (FAO 2007, Canavese 2007). El consumo, uso y degradación de los recursos naturales es lo que en economía se llama externalidad, esto es un costo de producción no considerado en la estructura de los costos del ente que realiza una actividad (Reig 1994).

Eliminar las distorsiones de los precios incrementará considerablemente la eficacia técnica del uso de los recursos naturales, pero muchas veces podría no ser suficiente. Es necesario tener en cuenta explícitamente en las políticas gubernamentales las externalidades ambientales, tanto las negativas como las positivas, mediante la aplicación del siguiente principio: *el proveedor recibe, el que contamina paga* (FAO 2007).

## **2.7. Características de los Pastizales**

De acuerdo con Holecheck *et al.* (1995), conceptos importantes sobre los pastizales son:

1. Los pastizales son un recurso renovable, la energía del sol puede ser capturado por las plantas verdes, que sólo puede ser recogida por los animales de pastoreo.
2. Suministra a los seres humanos con alimentos y fibras de muy bajo costo energético en comparación a los asociados con las tierras de cultivo.
3. La productividad de los pastizales está determinada por el suelo, topografía y características climáticas.
4. Una variedad de productos y servicios como alimentos, fibra, agua, recreación, vida silvestre, los minerales y la madera se obtienen de los pastizales.

Los beneficios de los pastizales naturales se acumularán a las generaciones futuras si no se utilizan para satisfacer las necesidades actuales de la sociedad. La degradación de los pastizales debido al sobrepastoreo ha sido definida de varias maneras (FAO 1993, Lozada 2000).

1. Proceso progresivo que lleva a reducir la cobertura de pastos y a la compactación.
2. Pérdida progresiva de las gramíneas seguida por la invasión de arbustos
3. Cambio temporal o permanente en la densidad de plantas y la composición

4. Cambio permanente que conduce a pérdidas económicas.

## **2.8. Carga Animal**

La selección de la carga animal correcta es la decisión más importante en la gestión de empresas dedicadas al pastoreo ya sea sobre pastizales y/o pasturas. Hay menos tolerancia para el pastoreo pesado cerca de las áreas de sacrificio (áreas frágiles o sensibles), tales como fondos de quebradas, puntos de riego, caminos y corrales (Holecheck *et al.*1995). La disminución de los márgenes de beneficio y el escrutinio público están obligando a los ganaderos a ser más cuidadosos en la selección de la carga media que en el pasado (Workman 1986).

La carga animal, que se define como el número de animales en una determinada superficie de tierra por un período determinado de tiempo (ASRM, 1962), en la gestión de pastizales es la principal variable que se puede utilizar para controlar el pastoreo excesivo. Especialistas sugieren que el sobrepastoreo es generalmente el resultado de la ignorancia, así como de las más optimistas estimaciones de producción de forraje y se produce a pesar del afán de lucro, no gracias a él (Workman y Mc Pherson 1973).

La capacidad de carga animal se refiere al número de animales que se pueden pastorear por unidad de área año tras año sin inducir retrogresión (Flores 1991). La capacidad de carga en unidades animal (UA) del sistema es calculada dividiendo la producción de forraje derivada del crecimiento entre la demanda anual del sistema. La demanda anual del sistema se refiere al consumo de forraje (Kg MS/UA/día) o al requerimiento de energía (MJ EM/UA/día), siendo este último el más recomendado (Ñaupari y Flores 1996).

En el Perú, el procedimiento tradicional para estimar la capacidad de carga se basa muchas veces solo en cálculos a partir de los cambios en la disponibilidad de forraje mes a mes, sin tomar en cuenta las tasas de crecimiento de pasto, por lo que este procedimiento es impreciso (Ñaupari 2000). En adición, los cálculos solo consideran el consumo de materia seca, sin tener en cuenta la densidad energética del pasto, lo que hace que los niveles de asignación de pasto no satisfagan en muchos casos los requerimientos del animal (Ñaupari 2000, Cruz 2008).

La unidad animal (UA) se define como: Vaca seca en 1/3 final de gestación de 450 Kg. de peso vivo cuyo consumo diario (Kg. MS) es de 2.6% de peso vivo (SRM 1989). La capacidad de carga (UA) se calculó con la siguiente formula (Flores 1991):

$$CC = \frac{RF(Kg.MS / ha) * FU(\%)}{C(Kg.MS / animal / día) * T(días)} \quad (e12)$$

Donde:

CC = Capacidad de carga

RF = Rendimiento forrajero

FU = Factor de uso de vegetación

C = Consumo diario de un vacuno

T = Tiempo de pastoreo

La condición del pastizal (Parker 1954), es definida como el estado de salud de la pradera, una planta forrajera en forma natural sin que se le pastoree puede crecer hasta su máxima expresión; es decir, hasta lo que se llama su climax (Parker 1954). Pero de acuerdo con el pastoreo, la planta crecerá menos si no se le hace daño, pero si el daño es mayor por el sobrepastoreo, la planta será pequeña en comparación con su estado climax (Parker 1954).

La condición del pastizal varía en cinco categorías (tabla 2, tabla 3), desde Excelente a Muy Pobre, para las tierras de usufructo comunal son comunes las condiciones de Regular a Muy Pobre (Flores 1996). Los pastos excelentes son aquellos donde el porcentaje de plantas deseables y poco deseables es mayor al 81%. Los pastos regulares ocupan una posición intermedia entre los excelentes y pobres, de modo que las especies deseables representan entre el 41 a 60% del total del forraje (Flores 1996).

Clasifican como pastizales muy pobres aquellos donde el porcentaje de plantas deseables y poco deseables, son menores al 20%, se observan signos marcados de erosión, el suelo se ha compactado y el agua no penetra fácilmente el horizonte del suelo, lo que ocasiona la acumulación de sedimentos y la pérdida en la calidad del agua (Flores 1996). Cómo la disponibilidad de forraje aumenta a medida que la condición mejora, el número de animales que pueden pastorear el área, también aumenta en función a la condición del campo (Flórez y Malpartida 1987).

Tabla 2. Condición y Capacidad de Carga /ha/año en Pastizales Naturales

Condición	Puntaje	Vacunos	Ovinos	Alpacas
Excelente	81-100	1.00	4.00	2.70
Bueno	61-80	0.75	3.00	2.00
Regular	41-60	0.38	1.50	1.00
Pobre	21-40	0.13	0.50	0.33
Muy Pobre	1-20	0.07	0.25	0.17

Fuente: Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales, 2012

Tabla 3. Condición, Carga y Producción de Forraje en Pasturas

Condición	Puntaje	Carga UA/ha/Año	Producción Kg. MS/ha/año
Excelente	4.1- 5.0	3.0	18000
Bueno	3.1 - 4.0	2.0	12000
Regular	2.1 - 3.0	1.0	6000
Pobre	1.1 - 2.0	0.5	3000
Muy Pobre	< 1.0	---	0

Fuente: Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales, 2012

## 2.9. Efecto de la Carga Animal en el Retorno Económico

Para lograr una producción sostenible en el largo plazo, la carga animal debe estar relacionada y en concordancia con la capacidad de carga, asumiendo un factor de riesgo aceptable y suponiendo que no existe ningún daño permanente en el ecosistema. La sostenibilidad del manejo del pastoreo depende, en gran medida, del nivel de utilización del forraje producido en el largo plazo, el cual es determinado por la carga animal (Workman 1986).

La carga animal utilizada en un sistema de pastoreo debe ser determinada por la capacidad de carga del sistema, pero el nivel óptimo puede estar basado en consideraciones ecológicas y económicas (Workman 1981). El nivel ecológico óptimo es altamente variable y depende de la precipitación, la reserva de forraje, el sistema de producción animal y el adecuado nivel de utilización. El nivel económico óptimo para la carga animal se basa en la obtención de la ganancia máxima, en la cual se pueden distinguir objetivos a corto y mediano plazo (Workman y Malecheck 1973, Workman 1986).

Las ganancias máximas a corto plazo pueden conseguirse cuando hay buenas condiciones de mercado y solo cuando las pasturas son lo suficientemente resistentes para soportar pastoreos intensivos (Workman 1981). Sin embargo en el largo plazo sería mejor enfocar el sistema hacia el logro de una producción sostenible y aceptar ganancias a corto plazo más bajas (L.“t Mannelje” 2001).

De acuerdo con Friedel et al. (1990), existen dos enfoques de manejo extremos que pueden ser aplicados en regiones áridas bajo condiciones de mercados inciertos: el primer enfoque consiste en seguir una política para fijar una carga animal altamente conservadora con el fin de afrontar la sequía (sobrevivencia a largo plazo), confiando en un bajo número de animales y una producción por animal relativamente alta, obteniendo con esto carne de calidad para mercados especializados tanto en buenos como en malos años.

El segundo enfoque o enfoque contrario propuesto por Friedel et al. (1990), consiste en lograr la máxima producción en las épocas buenas con densidades animales altas después de la época de lluvias para una alta utilización del forraje, para luego, en el comienzo de la época seca, reducir el número de animales. El primer enfoque contiene un riesgo bajo e ingresos bajos en las épocas buenas; mientras que el segundo requiere de una mayor habilidad en el manejo, es extremadamente riesgoso tanto financiera como ecológicamente y puede solo ser practicado exitosamente en pasturas bien adaptadas y tolerantes al estrés de suelo y clima (L.“t Mannelje” 2001).

Si la densidad animal no es reducida a tiempo puede ocasionar la degradación de las pasturas. Sin embargo, un manejo conservador de los sistemas de producción es impedido por la variabilidad de los mercados y los precios para los productos, así como por las políticas de crédito y de impuestos. El deseo de un productor de aplicar una estrategia conservadora no es a menudo posible, ya que existe el peligro de no sobrevivir económicamente (L.“t Mannelje” 2001).

El sobrepastoreo favorece la degradación a través de cambios en la composición botánica y la reducción de la cobertura vegetal. El termino utilización crítica, es el nivel máximo de utilización que no causa degradación de la pastura. La “carga animal sostenible” es aquella que no excede la utilización crítica en el largo plazo (Workaman 1986). Los valores para la utilización crítica difieren entre aéreas, dependiendo de la lluvia, la fertilidad del suelo y el

tipo de forraje, y oscilan entre 50% y 60% para pasturas anuales en California (Holechek *et al.* 1995) y para los pastos cultivados de la sierra del Perú de 70% a 80% (Ñaupari y Flores 1996)

## **2.10. Producción de Forraje y capacidad de carga**

La biomasa forrajera o la producción de forraje se definen como el peso de las formas de vida vegetales presentes en un momento determinado, la cual es influenciada por el tipo de pradera, la temperatura y principalmente por la humedad. La biomasa se expresa internacionalmente como Kilogramos (materia seca ó material fresco) por hectárea por año ó expresados en alguna otra unidad de tiempo (ASRM 1962).

La biomasa forrajera es un indicador importante de los procesos ecológicos y de la gestión de la vegetación, su estimación solo considera a la parte aérea que está por encima del suelo y comúnmente disponible para herbívoros grandes, siendo la técnica de corte y separación manual de plantas una de las técnicas más empleadas para determinar este atributo (Holecheck 1985).

La producción de forraje (kg. MS/ha/año) es la suma de las tasas de crecimiento (Kg MS/ha/día) multiplicado por el número de días del mes, a lo largo del año. De acuerdo con las características ecológicas de la puna, se calcula que se puede utilizar de 50% a 80% de la producción anual de forrajes, sin producir efectos negativos en el suelo, pero en la puna seca no debe de superar los 70% como máximo (Flores y Malpartida 1980).

Un experimento realizado sobre una pastura cultivada con una asociación de *Dactylis-Trebol* y una pradera nativa con *Festuca-Calamagrostis* determino tasas de crecimiento de la biomasa del forraje de 11.7 kg MS/ha/día (351 kg MS/ha/mes) y 7.7 kg MS/ha/día (231 kg MS/ha/mes) respectivamente, para una explotación ganadera sobre los 4000 metros de altitud (Flores 2006). En Puno, en una pradera cultivada se registraron producciones de forraje de hasta 952 kg/ha muy superior a los 180 kg/ha producidos en un pastizal natural (Flórez y Bryant 1990).

Bajo condiciones de secano (producción forrajera únicamente bajo agua de lluvia), no parece existir diferencias entre las tasas de crecimiento del forraje de una pradera cultivada y una

natural, encontrándose producciones promedias que no superan los 10 kg MS/ha/día (300 kg/ha/mes). Sin embargo, cuando la condición de precipitación y temperatura fueron optimas, las tasas se diferenciaron en el orden de 8 kg MS/día (240 kg/mes) para la pradera nativa y de 50 kg MS/día (1500 kg/mes) para la pastura cultivada (Flores 2006).

Ñaupari (2000), menciona, que en la época lluviosa las diferencias entre la producción de forraje de una pradera cultivada y una natural es de 2.3 veces más, y puede superar los 8000 kg MS/ha en un periodo de siete meses. Flores (2006), encontró que durante un año de estudio evaluando el crecimiento, las producciones de biomasa forrajera en praderas cultivadas y naturales alcanzaron los 2764 kg MS/ha y 6240 kg MS/ha bajo un sistema de producción de leche al pastoreo.

Perfiles alimentarios desarrollados para diversas explotaciones ganaderas en condiciones de sierra central encontraron que el crecimiento de la vegetación depende de dos factores principales: el primero, de las condiciones climáticas apropiadas para la producción de la biomasa forrajera y segundo, que a mayor sea la carga animal a la que se presiona la pastura el crecimiento y la disponibilidad se verán afectados negativamente. (Ñaupari 2000, Candelario 2005, Flores *et al.* 2005, Avalos 2006, Esponda 2007).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Formulación de Hipótesis**

##### **3.1.1. Hipótesis General**

El nivel de remoción de la vegetación óptimo de una pastura, el cual maximiza los beneficios de la actividad ganadera está influenciado por factores biológicos y económicos intrínsecos del recurso forrajero y de la propia actividad pecuaria, tales como: la dinámica de la vegetación e ingresos y costos de la actividad productiva.

##### **3.1.2. Hipótesis Específicas**

- 1.- Existe una reducción del nivel de stock de la biomasa vegetal a lo largo del tiempo como consecuencia del nivel de la carga animal.
- 2.- Los ingresos y costos que se incurre en una actividad ganadera al pastoreo son las variables relevantes en la decisión del nivel de la carga animal empleada en la actividad productiva.

#### **3.2. Base de Datos**

La base de datos fue construida con la información proveniente de estudios de “*Perfiles Alimentarios*” para la actividad ganadera al pastoreo en condiciones de Sierra central, los cuales fueron:

1. Comportamiento nutricional y perfil alimentario de vacas lecheras en pastos cultivados rye grass/trébol de la U.P. CONSAC (Ñaupari 2000).
2. Valor nutritivo de la dieta, ingesta de forraje y perfil alimentario en vacas lecheras Brown Swiss Criollo en una pastura asociada de Dactylis - Trébol en secano en la sierra central (Candelario 2005).

3. Comportamiento nutricional, perfil alimentario y economía de la producción lechera en praderas cultivadas en secano: Caso Pasco (Flores *et al.* 2005).
4. Dinámica de la producción forrajera y perfil alimenticio de vacas lecheras al pastoreo en un asociación gramínea - leguminosa en la sierra central (Avalos 2006).
5. Productividad, composición química y capacidad de carga de una asociación *Dactylis glomerata* - *Trifolium pratense* en secano (Esponda 2007).

La base de datos construida se presenta en detalle en el Anexo I y las variables analizadas para el estudio fueron las siguientes: a) Consumo animal (Yt), b) Crecimiento de la biomasa forrajera (Ct), c) Biomasa forrajera (Zt), d) Carga animal (Ca) y e) Producción de leche (L).

Las variables corresponden a información del tipo mensual durante el periodo 1996 – 2004. Sin embargo, debido a la ausencia de información durante meses no evaluados se decide trabajar los datos de forma de corte transversal, brindando los siguientes estadísticos descriptivos.

Tabla 4. Estadísticos descriptivos

<b>Símbolo</b>	<b>Yt</b>	<b>Ct</b>	<b>Zt</b>	<b>Ca</b>	<b>L</b>
<b>Estadísticos</b>	<b>Consumo Animal (Kg.MS/ha/mes)</b>	<b>Crecimiento (Kg.MS/ha/mes)</b>	<b>Biomasa (Kg.MS/ha/mes)</b>	<b>Carga Animal (UAM/ha)</b>	<b>Producción de leche (Lt/mes)</b>
N	37.000	37.000	37.000	37.000	37.000
Media	914.474	1019.953	2235.765	2.430	376.892
Máximo	1551.240	2546.650	4950.300	5.430	763.280
Mínimo	517.800	213.280	281.200	0.350	93.330
Rango	1033.440	2333.370	4669.100	5.080	669.950
D.S.	310.373	553.817	1220.374	1.195	166.555
C.V.	0.339	0.543	0.546	0.492	0.442
Skewness	0.698	0.910	0.488	0.551	0.849
Kurtosis	2.286	3.268	2.485	2.859	3.170
Mediana	858.000	877.300	1854.300	2.180	338.520
Jarque Bera	3.790	5.217	1.875	1.901	4.487

Del cuadro anterior, podemos señalar que el coeficiente de variación (CV) es mayor a 0.20 para todos los casos, por lo que según el teorema del límite central el mejor estadístico a considerar sería la mediana. Por otro lado, se observa que el coeficiente Jarque Bera el cual analiza la distribución de los errores de las variables (Normalidad) es menor a 5.99 para todos los casos, lo que indica que todas las variables presentan una distribución de los errores del tipo normal, con lo cual funciones estimadas a partir de estas variables tendrán también una distribución de los errores del tipo normal.

### 3.3. Función de Crecimiento del Recurso (Ct)

El crecimiento de la biomasa se estimó mediante la función logística, propuesta por Verhulst (1938) y empleada por diversos autores como Scheafer-Gordon (1954), Seijo (1975), Noy-Meirs (1975), Ritten (2010), para medir el crecimiento de las poblaciones biológicas de varios tipos de recursos naturales. Se realizó la regresión, por MCO, del crecimiento (Ct) con la variable biomasa (Zt) y biomasa al cuadrado (Zt<sup>2</sup>) para poder estimar la tasa del crecimiento del recurso (r) y la capacidad de carga del recurso (K).

Al modelar econométricamente la función logística, esta queda de la siguiente forma matemática:

$$Ct = aZt + bZt^2 \quad (e13)$$

Donde “a y b” son los estimadores de las variables y no hay presencia del intercepto.

$$\text{Donde: } a = r \text{ y } b = -\frac{r}{K}$$

Finalmente, la función logística se expresa de la siguiente manera:

$$Ct = rZt \left(1 - \frac{Zt}{K}\right) \quad (e14)$$

### 3.4. Función de Consumo del Recurso (Yt)

El consumo del recurso (Yt), es una variable que depende del stock del recurso (Zt), pero a la vez también depende del número de unidades extractivas del recurso (Ca). Tomando en cuenta la ecuación del equilibrio en estado estacionario del Modelo Bio-económico Base (Modelo Pesquero de Gordon-Schaefer), donde la extracción en el largo plazo es igual al crecimiento del recurso, tenemos la siguiente expresión matemática:

$$Ct(Zt, Zt^2) = Yt(Zt, Ca)$$

$$aZt + bZt^2 = qZtCa \quad (e15)$$

$$\text{Donde se puede conocer que } Ca = \frac{a}{q} + \frac{b}{q}Zt \text{ y además } Zt = \frac{q}{b}Ca - \frac{a}{b}$$

Finalmente introduciendo Zt en Yt(Zt,Ca), tenemos:

$$Yt = -\frac{aq}{b}Ca + \frac{q^2}{b}Ca^2 \quad (e16)$$

Donde se puede apreciar que el consumo (Yt) depende de la carga animal y a la vez de los parámetros de la función del crecimiento de la biomasa y del factor “q”.

Para obtener “q”, se estimó econométricamente por MCO, el consumo (Ytc) con la variable carga animal (Ca) y carga animal al cuadrado (Ca<sup>2</sup>) quedando una función de la siguiente forma:

$$Ytc = xCa + wCa^2 \quad (e17)$$

Se iguala el coeficiente del término lineal para calcular el valor de “q” tal como se expresa en el siguiente paso:

$$x = -\frac{aq}{b} \quad (e18)$$

Donde “q” es igual a:

$$q = \frac{xb}{-a} \quad (e19)$$

Con lo cual el valor de “q” se ingresa en la función Yt, de forma adicional se podría reinterpretar esta función de consumo dependiente del nivel de biomasa presente, es decir:  $Ytz = f(Zt, Zt^2)$ , por lo tanto, el nivel de consumo de biomasa puede quedar expresado de la siguiente forma funcional:

$$Ytz = cZt + dZt^2 \quad (e20)$$

Donde  $Ytz(Zt, Zt^2) = Ct(Zt, Zt^2)$ , nos indicaría el nivel actual de la remoción ó consumo del recurso y su respectivo nivel de carga animal asociada.

### 3.5. Función de Producción de Leche (L)

La producción de leche se calculó en base a la información presentada en los estudios de Perfiles Alimentarios revisados, considerando las siguientes variables: a) Producción promedio de leche por animal día, b) Número de animales por hectárea y c) Días correspondiente a cada respectivo mes, expresada en Litros de leche mes por hectárea (L).

Con los litros de leche mes por hectárea, se estimó la función de producción que depende del nivel consumo del recurso, de la siguiente forma por MCO:  $L = f(Yt)$ , donde Yt depende a la vez del nivel de carga animal (Ca), el nivel de producción de leche dependería del número de animales, tomando una expresión matemática de la siguiente forma:

$$L = \delta Yt \quad (e21)$$

Donde  $Y_t$  es el consumo de la biomasa forrajera que depende de la carga animal. Entonces la función de producción de leche puede expresarse de la siguiente forma funcional:

$$L = \delta Y_t = -\frac{\delta a q}{b} C a + \frac{\delta q^2}{b} C a^2 \quad (e22)$$

Finalmente, la producción de leche queda con la siguiente expresión matemática:

$$L = \alpha C a + \beta C a^2 \quad (e23)$$

Ecuación propuesta por Jones and Sandland (1974), donde:  $\alpha = -\frac{\delta a q}{b}$  y  $\beta = \frac{\delta q^2}{b}$

### 3.6. Función de Ingresos y Costos

Los ingresos fueron calculados mediante la multiplicación de la cantidad de leche producida en el mes por el precio de mercado, considerado para este estudio en S/ 1.50 por litro de leche.

Función de Ingresos Totales:

$$IT = P_L * L \quad (e24)$$

Para el caso de los costos totales, al carecer de esta información los estudios de Perfiles Alimentarios y ante la imposibilidad de conseguirlos, se optó por tomar una proporción de los ingresos tomando como referencia la estructura del Presupuesto y Rentabilidad del Módulo Lechero: Caso Ayaracra publicado dentro del Reporte Científico titulado “Comportamiento Nutricional, Perfil Alimentario y Economía de la Producción Lechera en Praderas Cultivadas: Caso Pasco” (Flores *et al.* 2005), por tratarse de una explotación tipo de condiciones similares a las que se evaluaron en los Perfiles Alimentarios que conforman la base de datos.

Obtenidos los costos, se realizó la regresión por MCO, con el nivel de carga animal respectivo, tomando en cuenta la ecuación del Modelo Bio-económico Base (Modelo Pesquero de Gordon-Shaefer), expresándose de la siguiente manera:  $CT = f(Ca)$  y cuya forma matemática es:

Función de Costos Totales:

$$CT = \theta C a \quad (e25)$$

### 3.7. Función de Beneficios

Los beneficios de la actividad ganadera al pastoreo fueron estimados con la siguiente función:

$$\pi = IT - CT$$

Donde

$$\pi = P_L * L - \theta Ca, \text{ por lo tanto}$$

$$\pi = P_L * (\alpha Ca + \beta Ca^2) - \theta Ca \quad (e26)$$

Donde los beneficios de la actividad ganadera están en función del nivel de la carga animal.

### 3.8. Estimación de los Óptimos

En base a la propiedad de maximización de los beneficios se estimarán los óptimos de carga animal ( $Ca^*$ ), stock de la biomasa ( $Zt^*$ ), consumo del recurso ( $Yt^*$ ), producción de leche ( $L^*$ ) y beneficios óptimos ( $\pi^*$ ), donde:

$$\frac{\partial \pi}{\partial Ca} = \frac{\partial IT}{\partial Ca} - \frac{\partial CT}{\partial Ca} = 0$$

Donde:  $Ca$  es igual al óptimo  $Ca^*$  y además:

$$Zt^* = \frac{q}{b} Ca^* - \frac{a}{b} \quad (e27)$$

$$Yt^* = -\frac{aq}{b} Ca^* + \frac{q^2}{b} Ca^{*2} \quad (e28)$$

$$L^* = \alpha Ca^* + \beta Ca^{*2} \quad (e29)$$

$$\pi^* = P_L * (\alpha Ca^* + \beta Ca^{*2}) - \theta Ca^* \quad (e30)$$

### 3.9. Estimación de los Niveles de Capacidad de carga segura y Capacidad de carga máxima

Noy-Meirs (1975) propone dos fórmulas para el cálculo de los niveles de carga segura y carga máxima que podría soportar el recurso. Estos niveles de cargas, sin embargo, ignoran las consecuencias ó repercusiones económicas de su uso, es decir, están diseñadas en el marco de la conservación del recurso ó del ecosistema que lo produce (enfoque ecológico), cuyas expresiones matemáticas son las siguientes:

Carga Segura:

$$HS = \frac{\gamma VK}{C_m} \quad (e31)$$

Carga Máxima:

$$Hx = Hs + \frac{\gamma}{4C_m V_m} (V_m - V_k)^2 \quad (e32)$$

Donde:

$\gamma$  = Tasa de crecimiento del recurso (r)

$V_k$  = Constante de Michaelis, Noy-Meir propone usar como  $V_k = 20\% V_m$

$V_m$  = Capacidad de carga del recurso (K)

$C_m$  = Consumo máximo

Se analizarán los respectivos niveles de beneficios que implica el uso de Hs y Hx.

### 3.10. Estimación del Precio Sombra

Galarza y Collado (2013), proponen que, frente a las limitaciones de información, el precio sombra de un bien ó un recurso puede ser estimado como aquel precio que nos permite llegar a un punto de equilibrio de competencia perfecta, es decir, beneficio cero, a un nivel de máximo rendimiento sostenible (MRS). Siguiendo el modelo base de Gordon-Sheafer, la condición de equilibrio estará dada por la siguiente fórmula:

$$p = Cme \quad (e33)$$

Incluyendo los componentes de los ingresos y costos, el precio sombra resulta en:

$$IT = CT$$

$$p * L = \theta Ca$$

$$p_s = \frac{\theta Ca}{L} \quad (e34)$$

Luego, con ayuda del precio sombra se estimarán los beneficios y se compara los niveles de carga animal asociados.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Análisis de la Dinámica del Recurso

#### 4.1.1. Función de Crecimiento del Recurso (Ct)

Con la información proveniente de la base de datos y basándose en la función de crecimiento logístico (Verhulst, 1938), se estimó la función de crecimiento del recurso, la cual presento un R<sup>2</sup>-ajustado de 0.6687, el cual indico que el crecimiento de la vegetación (Ct) esta explicada en un 66.87% por el nivel de stock del recurso<sup>1</sup> (Zt). Los coeficientes estimados de las variables Zt y Zt<sup>2</sup> fueron significativos como se puede apreciar en la tabla 5.

Tabla 5. Función de crecimiento de la biomasa forrajera

Ecuación	$C_t = 0.7509213Z_t - 0.0001176Z_t^2$
P-val	(0.000) (0.005)
N	37
R <sup>2</sup> -Ajustado	0.6687
Prob > F	0.000

Con la información obtenida, se calculó la tasa intrínseca de crecimiento del recurso, así como la capacidad de carga y el máximo crecimiento del recurso, tal como se observa en la tabla 6.

Tabla 6. Parámetros de la función logística

Tasa intrínseca de Crecimiento (r)	0.75
Capacidad de Carga (K)	6385.39 Kg. MS/Ha/Mes
Máximo crecimiento (rK/4)	1198.73 Kg. MS/Ha/Mes

---

<sup>1</sup> Stock de Recurso = Biomasa disponible = Zt

Con lo cual, la función de crecimiento del recurso se expresó de la siguiente forma:

$$Ct = F(s) = 0.75 * Zt * \left(1 - \frac{Zt}{6385.39}\right) \quad (e13)$$

El valor de la tasa intrínseca del recurso forrajero estimado fue superior al utilizado por Ritten (2010) de 0.1, en su estudio realizado para engorde de vacunos al pastoreo en el centro de Wyoming. La biomasa forrajera, que partió de un nivel inicial<sup>2</sup> de 281.20 Kg. MS/ha/mes, alcanzó el nivel de capacidad de carga del recurso (K) de 6385.39 Kg. MS/ha/mes, en un periodo de tiempo aproximado de 20 meses (figura 4), este nivel solo será posible de alcanzar siempre y cuando no exista intervención o alguna perturbación que afecte a la pastura.

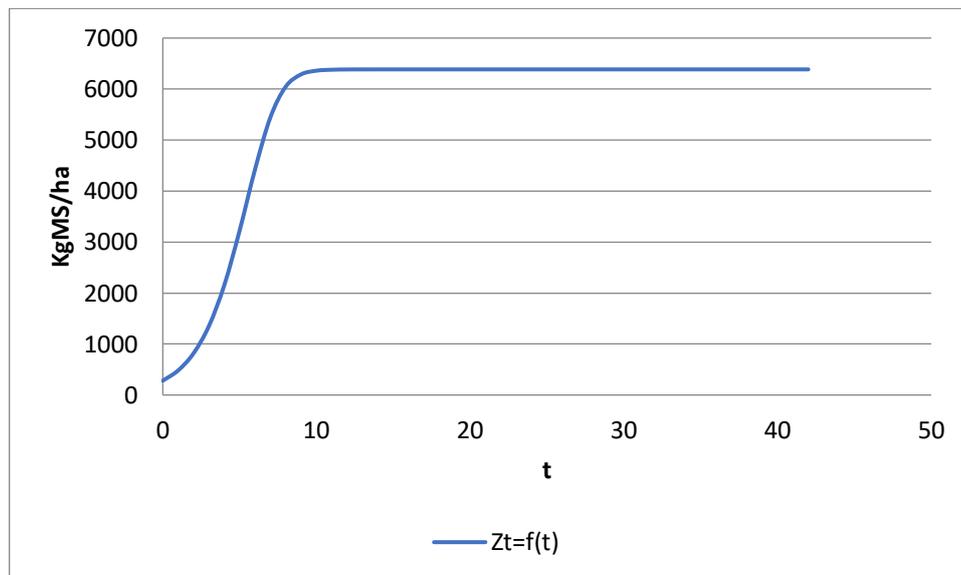


Figura 4. Incremento de la biomasa respecto del tiempo

De igual forma, la biomasa forrajera alcanzó el máximo nivel de crecimiento del recurso con 1198.73 kg. MS/ha/mes (figura 5), en un periodo de tiempo aproximado de 5 meses. Igual que en el caso de K, este nivel solo se podrá alcanzar sin la presencia de intervención humana o presencia de perturbaciones. El máximo crecimiento de la biomasa forrajera estuvo por debajo de los valores promedios encontrados por Ñaupari (2000) y Esponda (2007) con 1398.55 kg MS/ha/mes y 1413.72 kg MS/ha/mes, respectivamente. Sin embargo, el crecimiento estimado en este trabajo es mayor a los 903, 851 y 745 kg MS/ha/mes reportados por Candelario (2005), Flores *et al.* (2005) y Avalos (2006).

<sup>2</sup> Valor mínimo de la biomasa de la base de datos  $Z_0=281.20$  Kg.MS/ha/mes

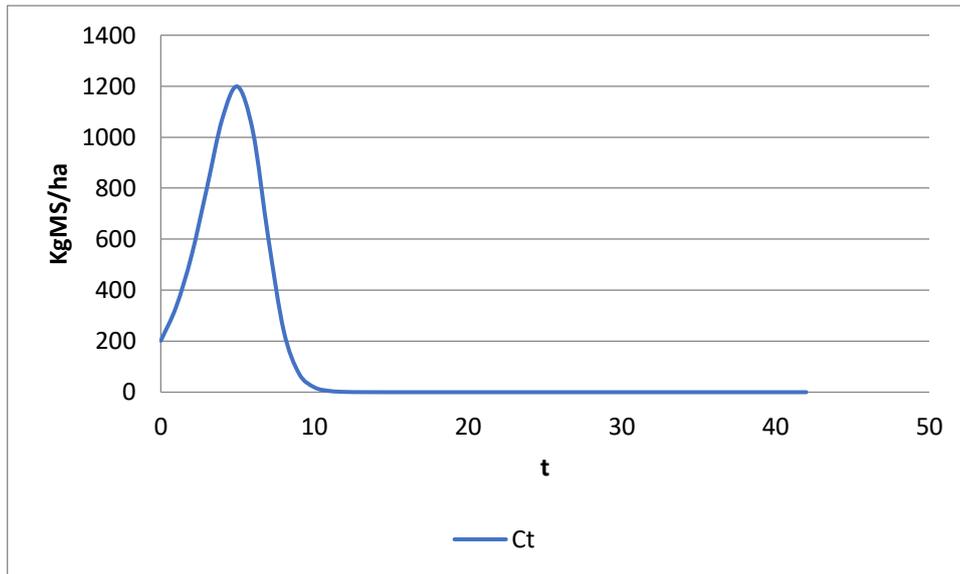


Figura 5. Crecimiento del recurso con respecto al tiempo

La pendiente de la función de biomasa respecto del nivel de stock del recurso puede visualizarse como una función cuadrática (figura 6) de crecimiento neto. Además, se pudo indicar que conforme se incrementa el nivel del stock del recurso forrajero ( $Z_t \rightarrow K$ ), el máximo crecimiento se alcanzó a un nivel de  $Z_t$  de 3192.69 Kg. MS/ha/mes, luego de ello, el crecimiento de la biomasa decae conforme el nivel de la biomasa se acerca a  $K$ .

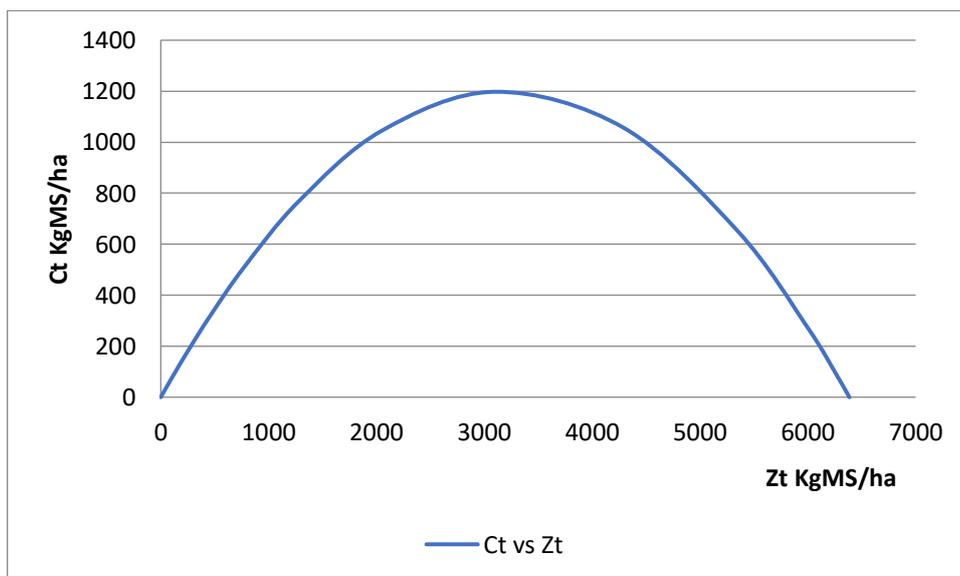


Figura 6. Crecimiento del recurso respecto al nivel de biomasa

La respuesta de la vegetación ante la presencia de diferentes niveles carga animal (figura 7, 8, 9 y 10), cuando fueron introducidas en un nivel del crecimiento del recurso forrajero tal que este pudo soportar el nivel de consumo respectivo fue un desplazándose hacia la derecha, es decir, que la vegetación prolongo el tiempo en el cual llega al máximo nivel de crecimiento. Esta respuesta es consistente con las teorías ecológicas de crecimiento de la vegetación y respuesta a la defoliación descritas por Holocheck (1985) y Odum (2006).

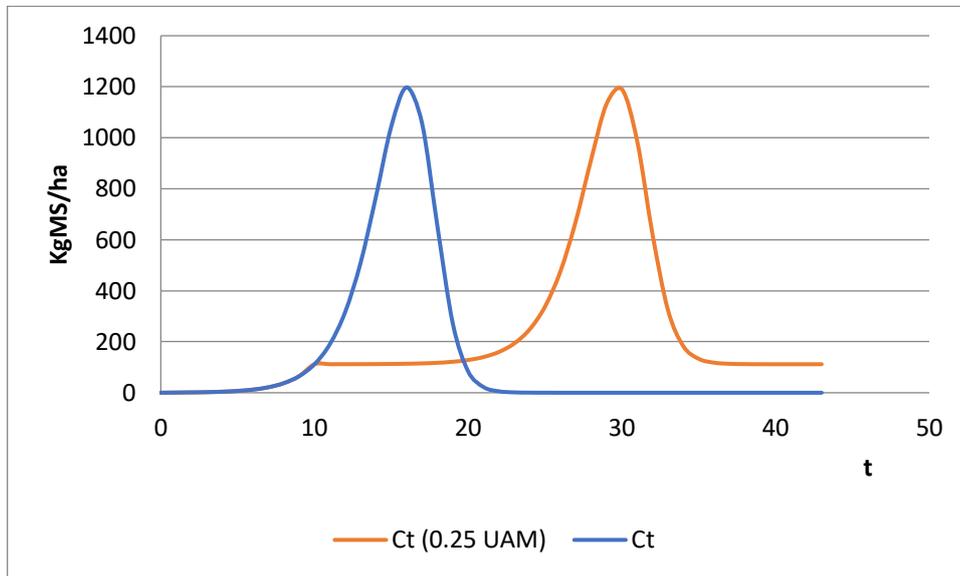


Figura 7. Efecto del Ca=0.25 UAM sobre el crecimiento del recurso

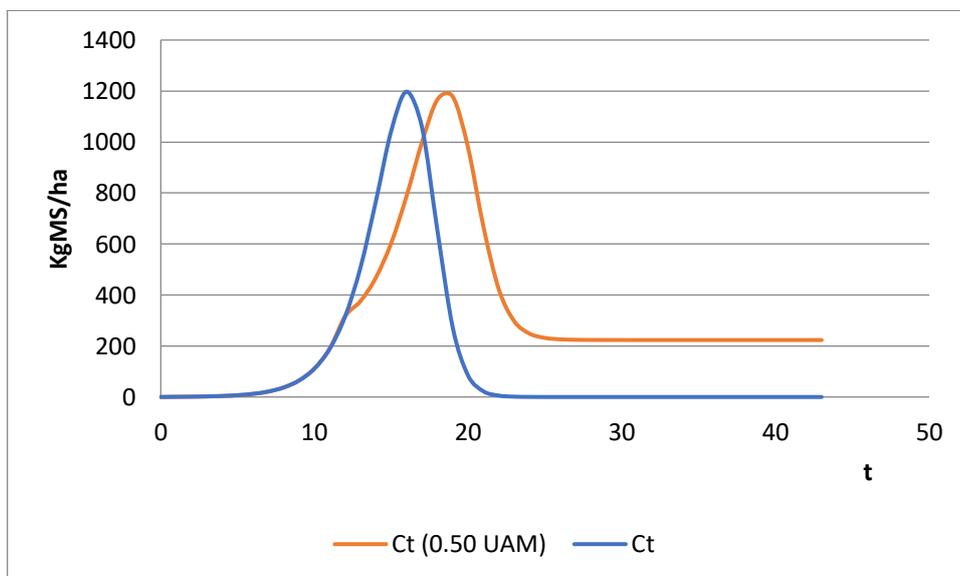


Figura 8. Efecto del Ca=0.50 UAM sobre el crecimiento del recurso

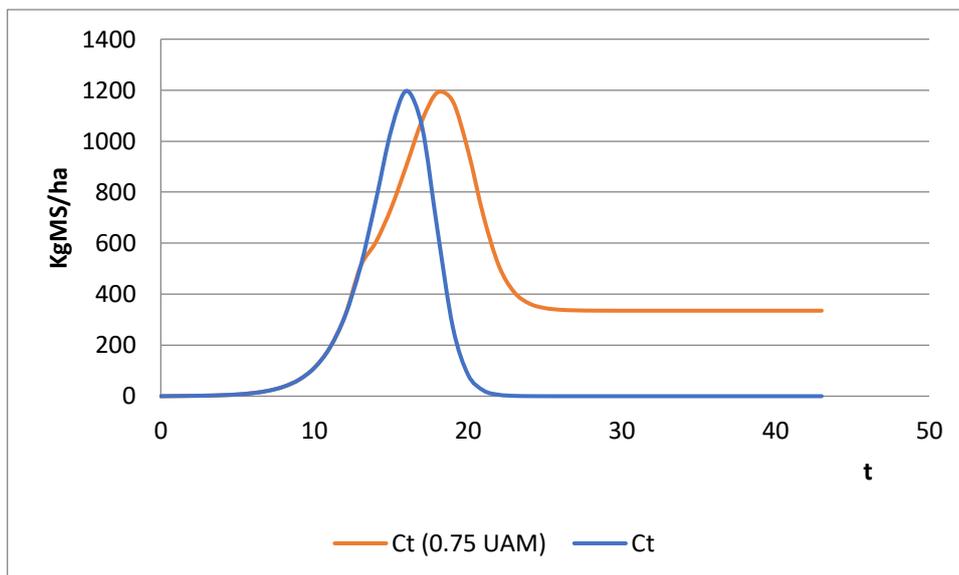


Figura 9. Efecto del Ca=0.75 UAM sobre el crecimiento del recurso

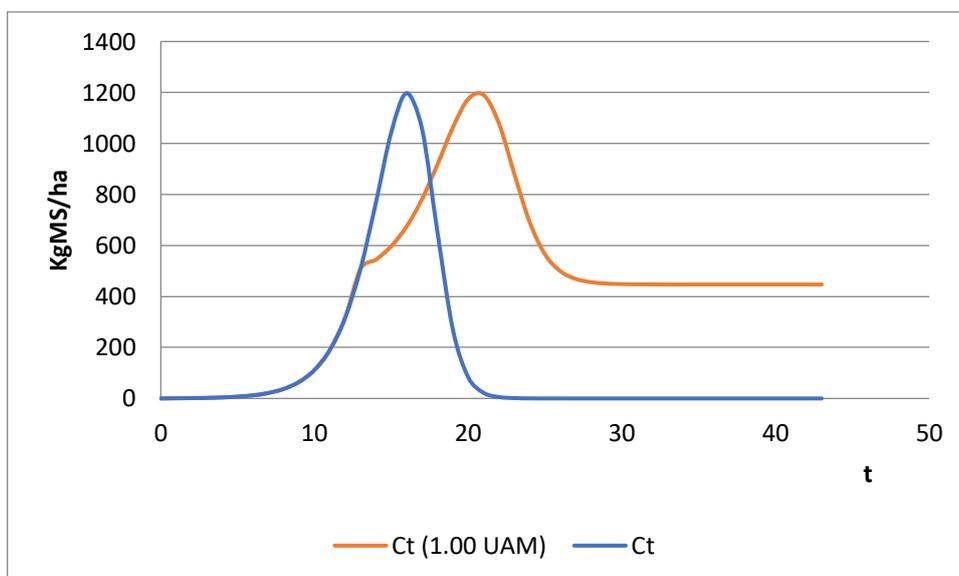


Figura 10. Efecto del Ca=1.00 UAM sobre el crecimiento del recurso

#### 4.1.2. Función de Consumo del Recurso ( $Y_t$ )

Con la base de datos desarrollada, se estimó una función de consumo animal la cual presento un  $R^2$ -ajustado de 0.8908, el cual nos señala que el nivel de remoción del recurso ( $Y_t$ ) esta explicada en un 89% por el número de animales expresado en unidades/hectárea<sup>3</sup> (Ca). Los coeficientes estimados de las variables Ca y Ca<sup>2</sup> fueron significativos como se puede ver en la table 7.

<sup>3</sup> Número de animales/hectárea = Carga animal = Ca

Tabla 7. Función de consumo animal estimado

Ecuación	$Y_t = 597.0504Ca - 78.07292Ca^2$
P-val	(0.000) (0.000)
N	37
R <sup>2</sup> -Ajustado	0.8908
Prob > F	0.000

Con esta información, se pudo calcular el valor de “q” equivalente a 0.09350, necesario para construir la función de consumo animal que depende de los parámetros de la función de crecimiento del recurso (a=0.7509213 y b=0.0001176) y que se basó en la condición de equilibrio en el estado estacionario, con lo cual la función de consumo que depende de la carga animal queda de la siguiente forma.

$$Y_t = 587.0504Ca - 74.3431Ca^2 \quad (e14)$$

Con lo cual, se pudo conocer el nivel de carga animal en el punto de máximo rendimiento sostenible (RMS), así como la máxima carga animal ( $Ca_{Max}$ ) y el máximo nivel de consumo de la vegetación ( $Y_{t Max}$ ), tal como se observa la table 8 y cuya trayectoria es presentada en la figura 11.

Tabla 8. Función de consumo animal sostenible

Ecuación	$Y_t = 597.0504Ca - 74.3431Ca^2$
Ca (RMS)	4.02
Ca (Max)	8.03
Máximo consumo ( $Y_{t Max}$ )	1198.73 Kg. MS/ha/mes

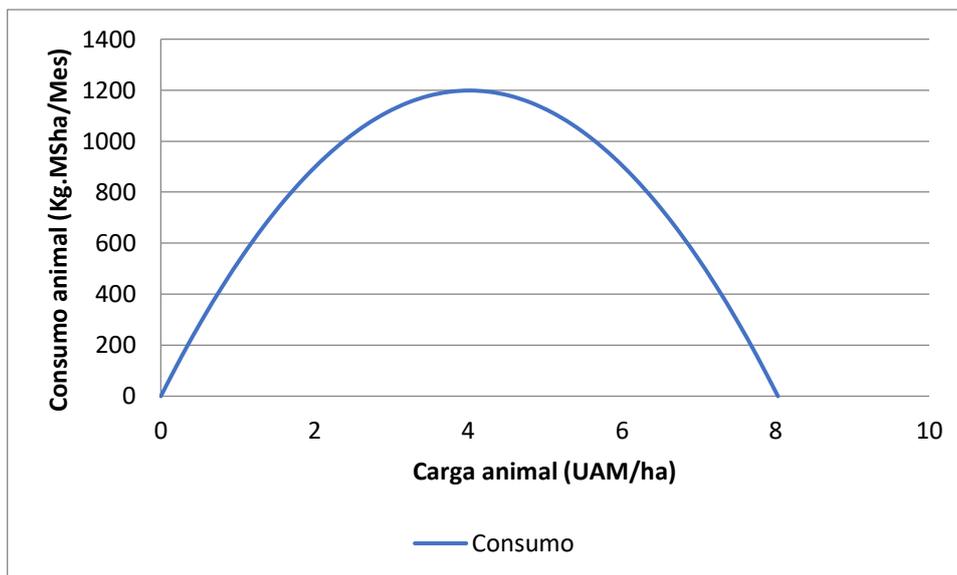


Figura 11. Función de consumo animal sostenible.

Sin embargo, dado que el nivel de consumo del recurso ( $Y_t$ ) por parte de los animales depende a su vez del nivel del stock recurso disponible ( $Z_t$ ), esta misma función se puede expresar dependiente del nivel del stock del recurso, quedando expresado de la siguiente forma funcional:

$$Y_t = 0.5677312Z_t - 0.0000686Z_t^2 \quad (e15)$$

La función estimada de consumo, presento un  $R^2$ -ajustado de 0.8147 el cual nos señala que el consumo del recurso ( $Y_t$ ) esta explicada en un 81.47% por el nivel de stock del recurso ( $Z_t$ ). Los coeficientes estimados de las variables  $Z_t$  y  $Z_t^2$ , fueron significativos (tabla 9) y su trayectoria se observa en la figura 12.

Tabla 9. Función de consumo que depende de la biomasa

Ecuación	$Y_t = 0.5677312Z_t - 0.0000686Z_t^2$
P-val	(0.000)      (0.008)
N	37
$R^2$ -Ajustado	0.8147
Prob > F	0.000

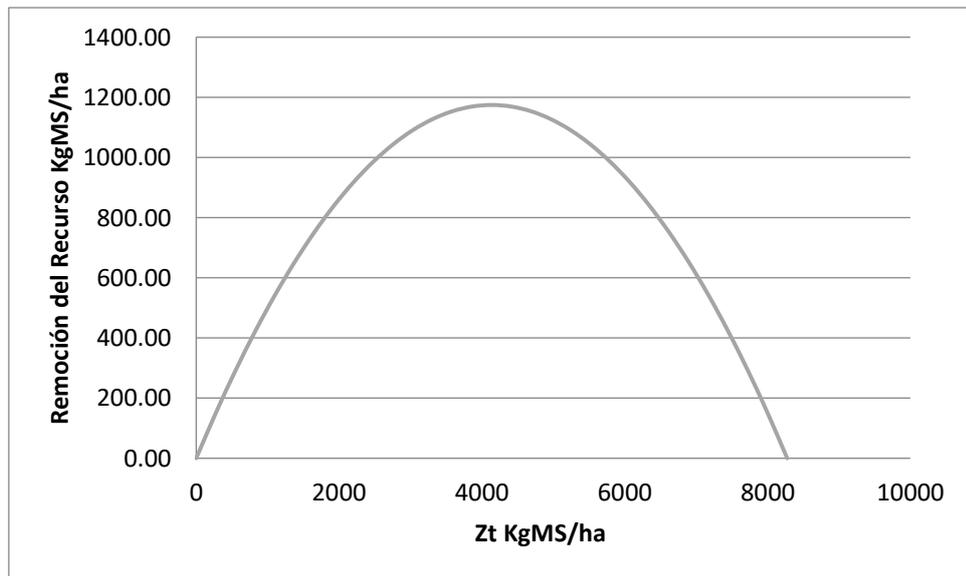


Figura 12. Función de consumo que depende de la biomasa.

Dado la condición de sostenibilidad del recurso, la cual señala que el consumo del recurso debe tender al nivel de crecimiento del mismo, y que este consumo está asociado a un nivel de carga animal, este nivel se debe encontrar ubicado en el punto donde las dos curvas se interceptaron ( $Y_t=C_t$ ), como se puede ver en la figura 13.

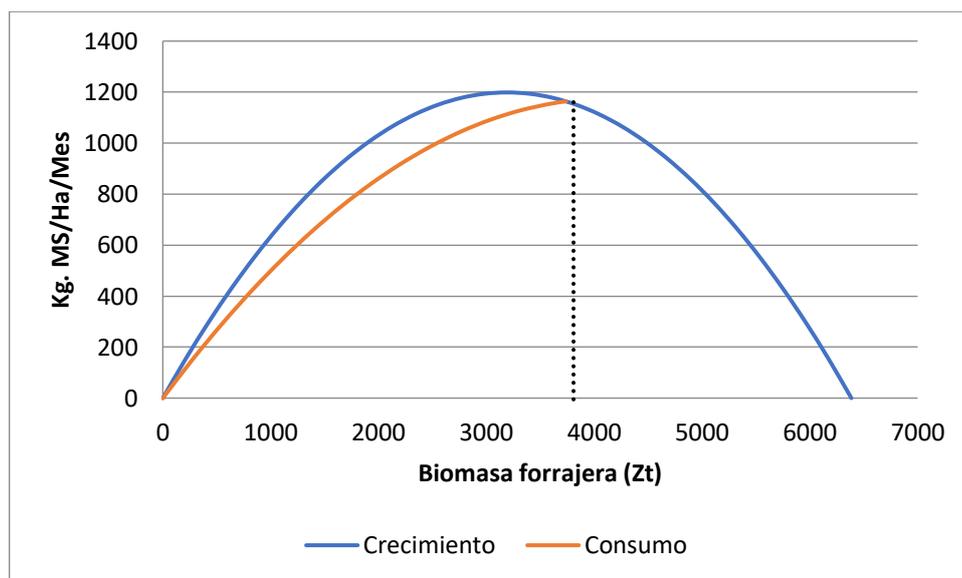


Figura 13. Nivel de consumo animal igual al crecimiento del recurso

El punto donde el nivel de stock del recurso forrajero cumplió la condición de sostenibilidad, en base a la información recopilada, fue de  $Z_t=3738.57$  Kg. MS/Ha/Mes, al cual le correspondió un nivel de consumo del recurso en función a la biomasa de  $Y_t(z_t)$  equivalente

a 1163.69 Kg. MS/Ha/Mes y un nivel de carga animal asociada a la biomasa de  $Ca=3.33$  UAM/Ha (figura 14).

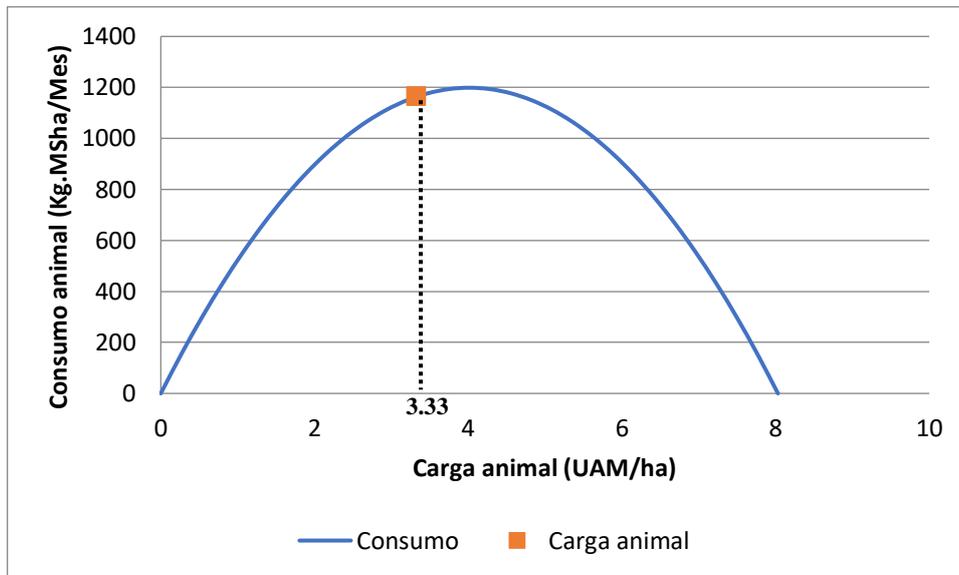


Figura 14. Nivel de carga animal actual

De otro lado, este equilibrio entre  $Y_t=C_t$ , es un equilibrio que se encuentra ubicado por detrás del máximo de crecimiento del recurso, lo que dejó un área de crecimiento del recurso para un uso potencial. Para un aprovechamiento de este nivel de consumo, este debió ser igual al nivel del máximo crecimiento del recurso ( $Y_t=C_t(\text{Max})$ ), que fue de 1198.73 Kg. MS/ha/mes.

Cuando se dibujó la curva de consumo animal, la cual se interceptó en el punto del nivel máximo de crecimiento del recurso de 1198.73 Kg. MS/ha/mes, tal como se puede observar en la figura 15, empleando para ello los mismos estimadores calculados de la ecuación de consumo, implicaría que dicho nivel de consumo animal se debería únicamente por un incremento en el número de animales por hectárea, el cual ascendió a un nivel de  $Ca= 4.02$  UAM/ha, tal como se puede ver en la figura 16.

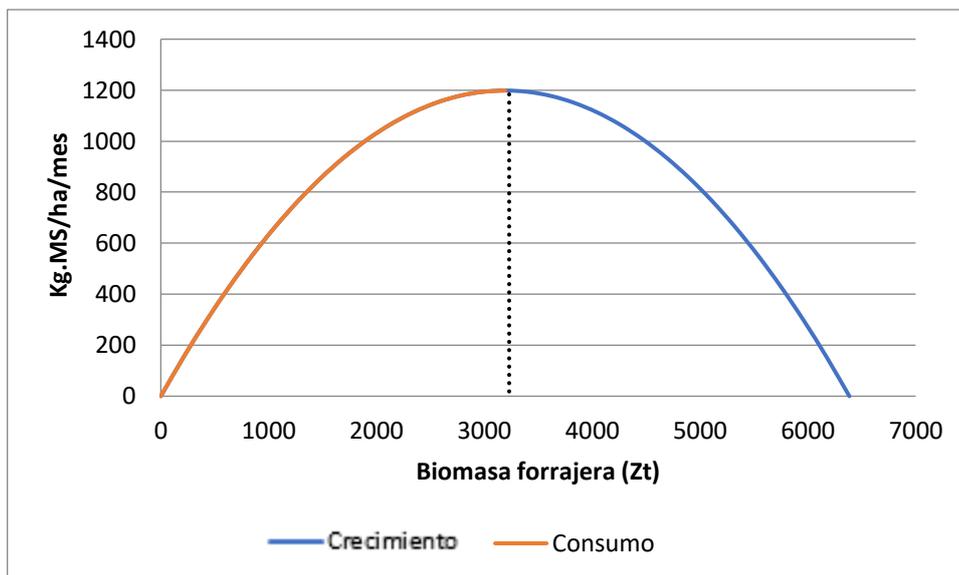


Figura 15. Nivel de consumo igual al máximo crecimiento.

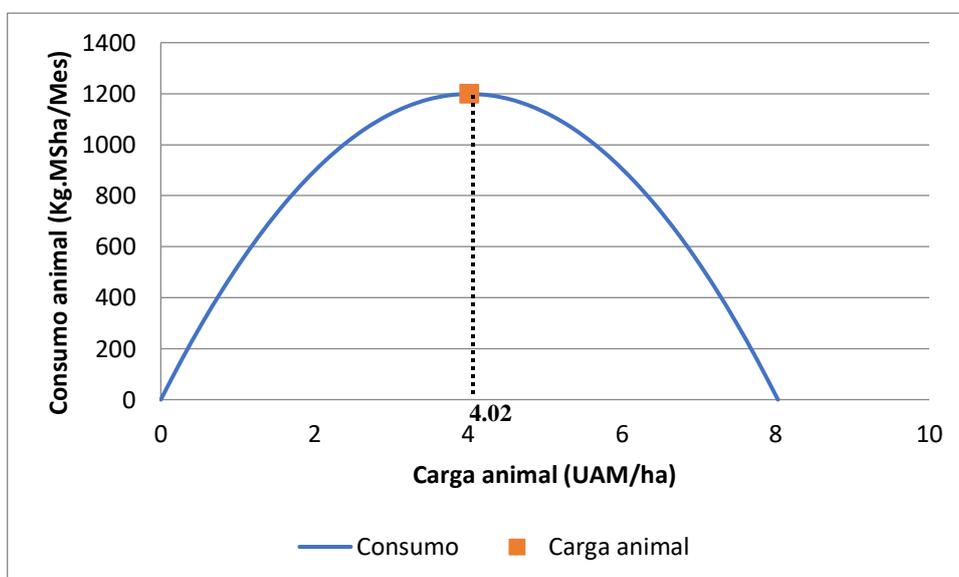


Figura 16. Nivel de carga animal en el máximo crecimiento del recurso.

De acuerdo con lo propuesto por Noy-Meirs (1975), existen niveles seguros y máximos para el uso de la carga animal, sin embargo, menciona que estos niveles son calculados ignorando las consecuencias ó repercusiones económicas de la decisión de su uso, lo que significa, que fueron diseñadas en el marco de la conservación del recurso ó del ecosistema que lo produce es decir un enfoque ecológico. Se calcularon dichos niveles de carga animal, considerando los siguientes parámetros: tasa de crecimiento del recurso, máximo consumo mes, capacidad de carga del recurso y se consideró el 20% de la capacidad de carga del recurso como la

constate de Michaelis. Se presentan los respectivos niveles de stock de la biomasa forrajera y consumo correspondientes por las cargas propuestas por Noy Meier (1975) en la tabla 10.

Tabla 10. Nivel de capacidad de caga animal segura y máxima.

Carga Animal	Símbolo	UAM/ha	Zt = Biomasa (Kg. MS/ha/mes)	Yt = Consumo (Kg. MS/ha/mes)
Capacidad de Carga Segura	$H_s$	1.83	4926.67	845.14
Capacidad de Carga Máxima	$H_x$	3.30	3759.70	1160.92

Dichos resultados fueron mayores a los estimados por Ritten (2010) para una explotación dedicada al engorde de vacunos en las praderas de Wyoming de  $H_s=0.988$  y  $H_x=2.22$ . Los valores de las cargas estimadas con el enfoque ecológico propuesto por Noy Meier (1975) fueron tomados en cuenta en el análisis de los beneficios producidos por cada respectivo nivel de carga animal estimado que se encuentra relacionada a sus respectivos niveles de producción en la presente investigación.

#### 4.1.3. Función de Producción de Leche (L)

Se estimo la función de producción de leche, que represento la cantidad de leche producida en un mes por hectárea, que dependió del nivel del consumo del recursos forraje (Yt), la cual presento un  $R^2$ -ajustado de 0.8507, el cual indica que la producción de leche esta explicada en un 85.07% por el nivel de consumo animal, que a la vez depende de la carga animal, con lo que la función de producción de leche quedo expresada en términos de la carga animal propuesta por Jones y Sandland (1974), tal como se puede observar en la tabla 11.

Tabla 11. Función de producción de leche

Ecuación	$L = 0.3932307Y_t$
P-val	(0.000)
N	37
$R^2$ -Ajustado	0.8507
Prob > F	0.000
Ecuación $L=f(Y_t(ca))$	$L = 234.7785Ca - 29.2340Ca^2$

La función de producción de leche alcanzo un pico de producción con 471.38 litros de leche al mes, lo que es equivalente con un nivel de carga animal igual a 4.02 UAM/ha, esta función siguió una trayectoria que se aprecia en la figura 17.

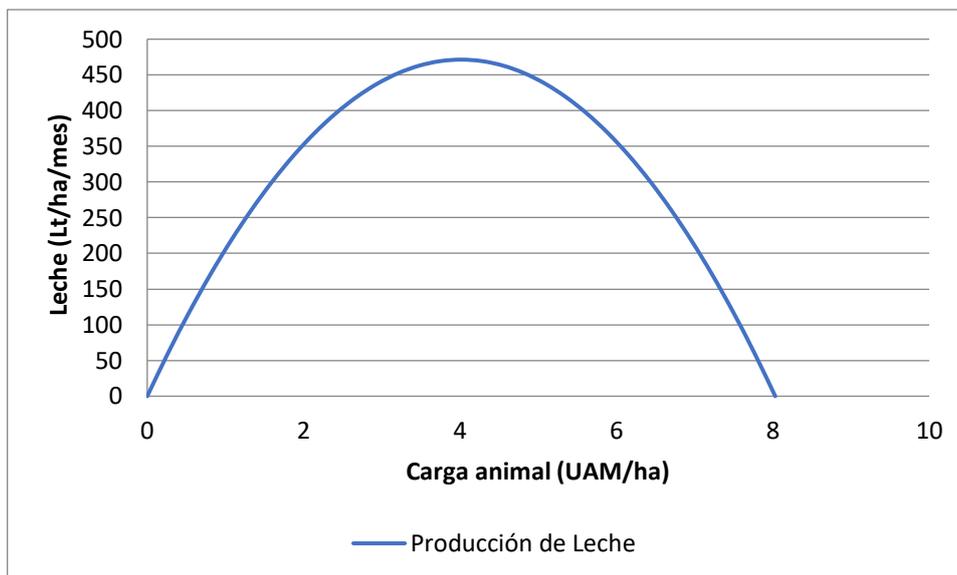


Figura 17. Trayectoria de la función de producción de leche.

## 4.2. Análisis de los Ingresos y Costos sobre la carga y el consumo animal

### 4.2.1. Función de Ingresos y Costos

Conocido los niveles de producción asociados a su respectiva carga animal, se procedió a estimar los ingresos y costos totales de la actividad ganadera al pastoreo, con lo cual se pudo calcular los beneficios de la actividad. Las respectivas funciones de ingresos y costos se presentan en la tabla 12.

Tabla 12. Función de ingresos y costos dependientes de la carga animal

Función de Ingresos	$IT = P_L \cdot (234.7785Ca - 29.2340Ca^2)$
Precio de la Leche ( $P_L$ )	$S/Lt = 1.50$
Función de Costos	$CT = 153.8339 \cdot Ca$
P-val	(0.000)
$R^2$ -Ajustado	0.7558
Prob > F	0.000

La función de costos totales, presento un  $R^2$ -ajustado de 0.7558, el cual nos señala que los costos (CT) esta explicada en un 75.58% por el nivel de la carga animal (Ca). El coeficiente estimado de la carga animal (Ca) fue significativo. Las gráficas de las funciones de ingresos y costos en la reportaron en la figura 18.

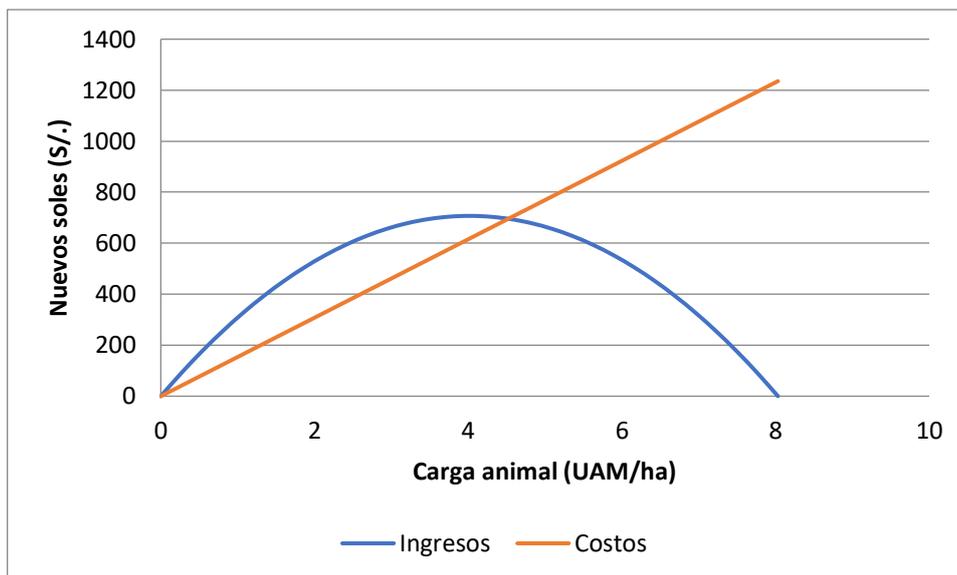


Figura 18. Trayectoria de la función de ingresos y costos totales

Por la propiedad de maximización de los beneficios, es conocido que el ingreso marginal es igual al costo marginal ( $IMg=CMg$ ) en el punto óptimo, con lo cual se determinó el nivel de carga animal ( $Ca^*$ ) correspondiente a ese óptimo (tabla 13), esto significa que el nivel de carga animal que nos brinda el Máximo Rendimiento Económico (MRE) de la actividad ganadera fue de 2.26 UAM/ha.

Tabla 13. Beneficios óptimos de la actividad ganadera

IMg	$P_L^*(234.7785 - 2*29.2340Ca)$
CMg	153.8339
MRE ( $Ca^*$ )	2.26 UAM/ha
$Z_t^*$	4587.32 Kg.MS/ha/mes
$Y_t^*$	970.00 Kg.MS/ha/mes
$L^*$	381.43 Litros de leche
Beneficio <sub>(MRE)</sub>	S/ 224.26

De igual forma, si nos encontramos bajo un escenario de libre acceso (OA), equivalente a una carga animal de 4.52 UAM/ha, los beneficios económicos serían nulos, con lo que en la función de beneficios los ingresos totales serían iguales a los costos totales ( $IT - CT = 0$ ), con lo cual la carga animal asociada a ese nivel, así como sus respectivos niveles de consumo, producción y biomasa disponible se revelan en la tabla 14.

Tabla 14. Beneficios del nivel de carga en libre acceso

IT	$P_L*(234.7785 - 29.2340Ca)$
CT	153.8339Ca
OA (Ca)	4.52 UAM/ha
$Z_{t(OA)}$	2789.26 Kg.MS/ha/mes
$Y_{t(OA)}$	1179.59 Kg.MS/ha/mes
$L_{(OA)}$	463.85 Litros de leche
$Beneficio_{(OA)}$	S/ 0.00

Además, por el análisis de la función de consumo animal estimada con la base de datos, se sabe que el nivel de carga animal actual asociado a la vegetación fue de 3.33 UAM/ha, lo que brinda el siguiente nivel de beneficio asociado a su respectivo nivel de producción de leche (tabla 15).

Tabla 15. Beneficios del nivel de carga animal actual

IT	$P_L*(234.7785 - 29.2340Ca)$
CT	153.8339Ca
Actual(Ca)	3.33 UAM/ha
$Z_{t(ACTUAL)}$	3738.57 Kg.MS/ha/mes
$Y_{t(ACTUAL)}$	1163.69 Kg.MS/ha/mes
$L_{(ACTUAL)}$	457.60 Litros de leche
$Beneficio_{(ACTUAL)}$	S/ 174.29

Resumiendo, la información obtenida e incorporándola a la figura 19, se puede visualizar como se reducen los beneficios conforme se incrementa el nivel de la carga animal.

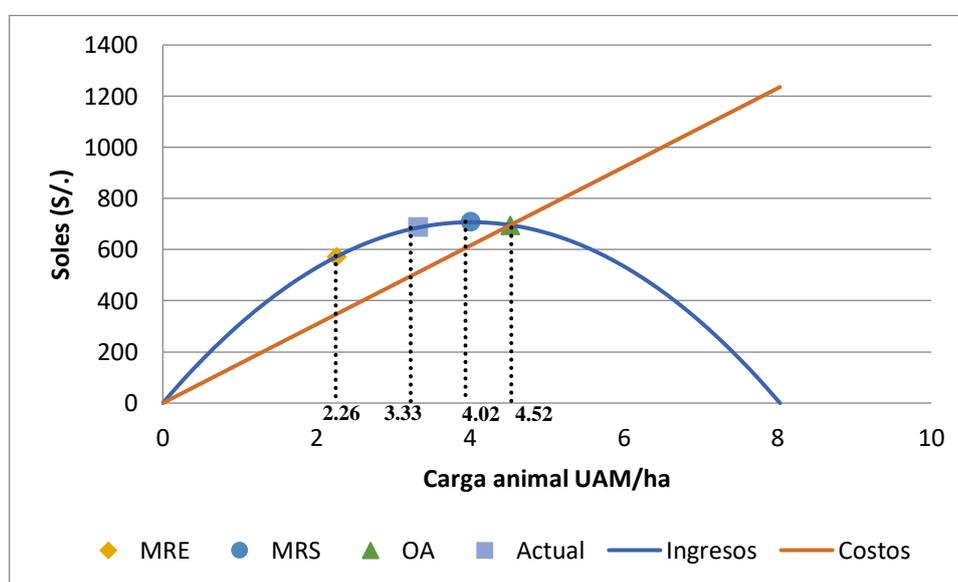


Figura 19. Beneficios según nivel de la carga animal

La carga animal optima ( $Ca^*$ ) estimada se fue mucho menor a las recomendadas y utilizadas por Ñaupari (2000), Avalos (2006) y Esponda (2007) y mayor a las usada reportadas por Candelario (2005) y Flores et al. (2005), para explotaciones ganaderas altoandinas en la sierra central del Perú.

#### 4.2.2. Análisis de los beneficios

Con los niveles de carga animal encontrados, se calcularon los beneficios y la variación de beneficios que implicaría pasar de un nivel de carga al inmediato siguiente (tabla 16), donde podemos señalar que el nivel máximo de los beneficios, es decir el beneficio optimo le corresponde a un nivel de carga de 2.26 UAM/ha. Decisiones de incrementar la carga animal por sobre este nivel, implica la reducción de beneficios hasta el punto donde estos se hacen nulos ( $Ca=4.52$  UAM/mes) como se puede observar en la figura 20.

Tabla 16. Variación de beneficios según la carga animal

<b>Carga Animal</b>	<b>UAM/ha</b>	<b>Beneficios (S/.)</b>	<b>Variación de Beneficios (S/.)</b>
Hs	1.83	216.27	-----
MRE	2.26	224.26	7.99
Hx	3.30	176.75	-47.51
Ca <sub>ACTUAL</sub>	3.33	174.29	-2.46
MRS	4.02	89.35	-84.95
OA	4.52	0.00	-89.35

Los resultados también evidenciaron, que el nivel de carga animal que le corresponde al máximo rendimiento económico (2.26 UAM/ha), se encuentra dentro del rango de cargas halladas empleando las formulas propuestas por Noy-Meirs (1975), que para este caso es de 1.83 – 3.30 UAM/ha, sin embargo, no se puede afirmar que esto siempre ha de ocurrir. Así también el nivel de carga animal actual (3.33 UAM/ha) es ligeramente superior al valor máximo del rango.

Por la información obtenida en el presente estudio, esta sugiere que el rango de carga animal donde debiéramos permanecer en el rango constituido por el nivel de carga segura ( $H_s$ ) calculado empleando la fórmula de principios ecológicos propuesta por Noy-Meirs (1975) y el nivel de la carga actual ( $Ca_{ACTUAL}$ ), siendo este rango de 1.83 a 3.33 UAM/ha, se sugiere de forma práctica que el rango donde debemos estar para hacer uso del recurso de forma

racional y tener beneficios económicos, en explotaciones de las mismas características, es de 2 a 3 UAM/ha.

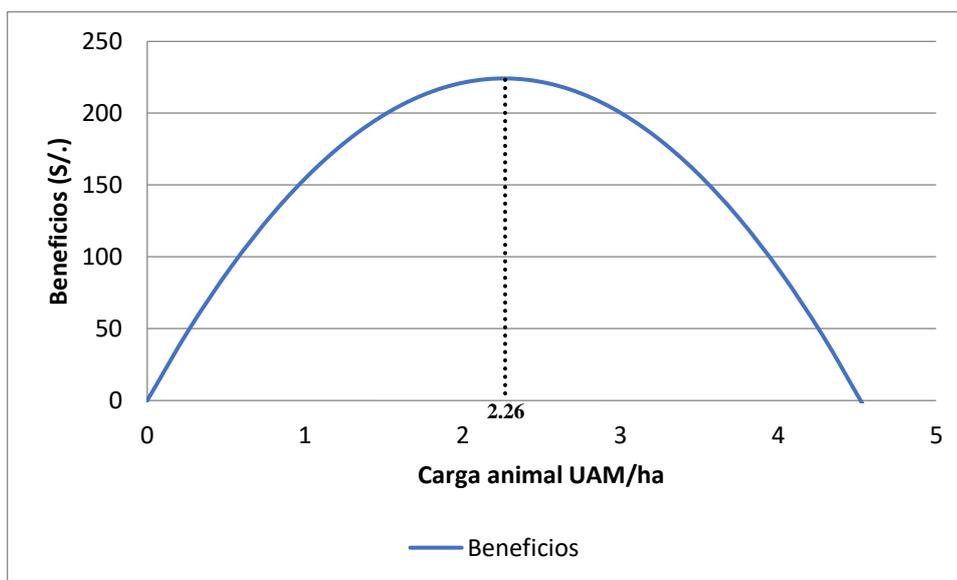


Figura 20. Nivel de benéficos máximos

Los beneficios óptimos estimados (S/ 224.26) fueron menores a los reportados por Ñaupari (2000), Avalos (2006), Candelario (2005) y Flores et al. (2005) calculados en S/ 781, S/ 327, S/ 609 y S/ 438 soles respectivamente y solo fue superior al calculado por Esponda (2007) de S/ 96 soles.

#### 4.2.3. Precio Sombra del Recurso

En base a la función de costos estimada, se puede llegar a obtener el precio sombra ( $P_s$ ) del recurso de la leche y del recurso forrajero, siendo estos valores de 0.52 S/kg.MS y 1.31 S/Lt de leche respectivamente. Si consideramos el precio sombra del recurso forrajero (precio de mercado – costo marginal), se obtiene un nuevo nivel de carga óptima asociado ( $Ca_{P_s}$ ) el cual fue de 2.01 UAM/ha, al cual le correspondió un nivel de beneficio máximo calculado de S/ 154.43 soles (tabla 17).

Tabla 17. Precio sombra del recurso forrajero

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Precio Sombra del Forraje	S./Kg MS	0.52
Precio Sombra de la Leche	S./Lt.	1.31
Carga animal (Ca <sub>ps</sub> )	UAM/ha	2.01
Beneficios	S/.	154.43

El nuevo nivel óptimo de carga animal asociado al precio sombra (Ca<sub>ps</sub>) se encuentra dentro del rango obtenido por la fórmula de Noy-Meirs y en la siguiente tabla (tabla 18) se presentan los beneficios y la variación de beneficios que implicaría pasar de un nivel de carga al inmediato siguiente empleando el precio sombra de la leche. Bajo este escenario, la recomendación practica es de permanecer en un nivel de carga animal de 2 UAM/ha para explotaciones que guarden las mismas características de las que se obtuvieron los datos analizados.

Tabla 18. Variación de beneficios usando el precio sombra

<b>Carga Animal</b>	<b>UAM/ha</b>	<b>Beneficios (S/.)</b>	<b>Variación de Beneficios (S/.)</b>
Hs	1.83	153.28	
Ca <sub>ps</sub>	2.01	154.43	1.15
MRE	2.26	151.96	-2.47
Hx	3.30	90.22	-61.74
Ca <sub>ACTUAL</sub>	3.33	87.56	-2.66
MRS	4.02	0.00	-87.56
OA	4.52	-87.92	-87.92

En la figura 20, se pudo apreciar el nivel de los beneficios óptimos cuando se emplea para ellos el precio de mercado. Cuando consideramos el uso del precio sombra de la leche en vez del precio del mercado, para la estimación de los benéficos, los ganaderos perderán incentivos para seguir produciendo al nivel de 2.26 UAM/mes, encontrando su nuevo equilibrio optimo a un nivel de 2.01 UAM/ha (figura 21). Estos resultados coinciden con lo descrito por Galarza y Collado (2013) cuando aplican un precio diferenciado en su respectivo análisis de recurso renovable pesquero y también es concordante con la teoría económica de la producción cuando se incrementa el costo por unidad de producida (Pindick y Rubinfeld, 2009, Varian 2010).

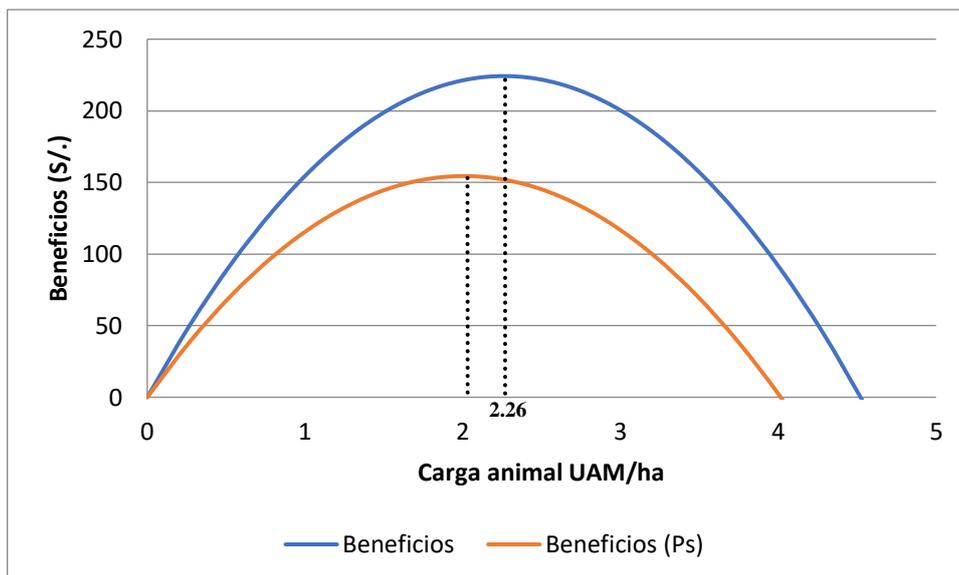


Figura 21. Nivel de beneficios con el precio sombra

En la figura 22, se observa la variación en los beneficios marginales cuando se emplea el precio de mercado y el precio sombra estimado. Este cambio representa una variación de 0.25 UAM/mes equivalente a una reducción de benéficos en S/ 69.83 soles. Este fenómeno de reducción fue descrito por Galarza y Collado (2013) y también guarda consistencia con los postulados de la teoría de la producción (Pindick y Rubinfeld, 2009, Varian 2010).

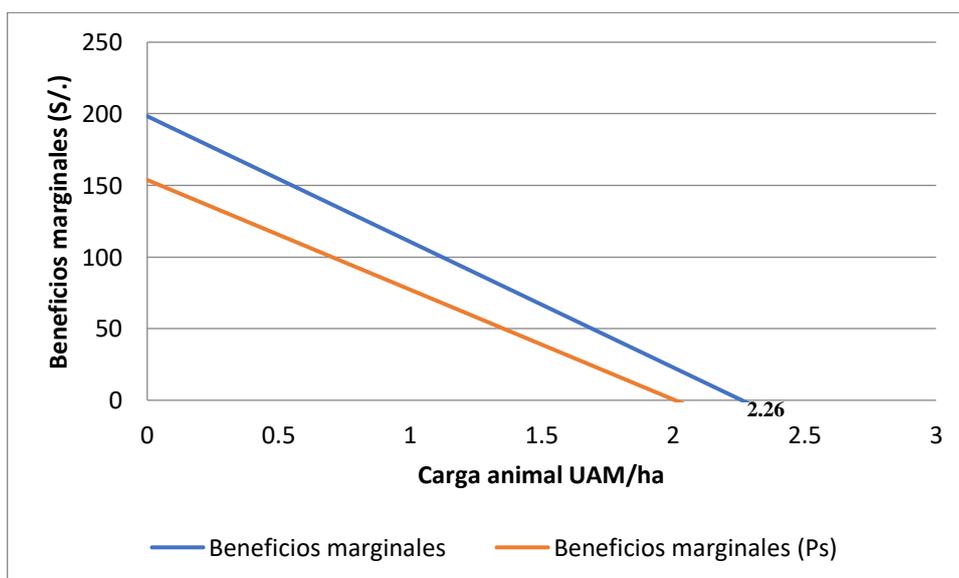


Figura 22. Curvas de beneficio marginal

De igual manera el punto de carga animal en OA en donde los beneficios se hacen nulos, se modifica de un nivel de 4.52 a 4.02 UAM/ha, nivel de la carga animal en el MRS, como se puede observar en la figura 23.

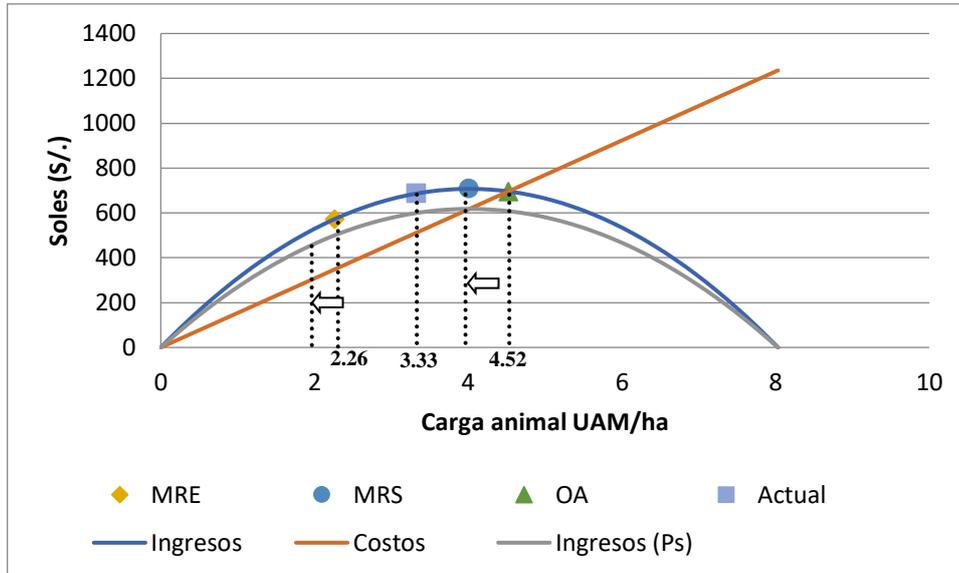


Figura 23. Variación de beneficios

Finalmente, en la figura 16, se puede observar que el nivel de carga animal que le corresponde al MRS fue de 4.02 UAM/ha, sin embargo, cuando se utiliza el precio sombra para calcular los beneficios estos se hacen nulos, mientras que en el nivel de la carga animal actual de 3.33 UAM/ha, los beneficios se reducen de S/ 174.29 a S/ 87.56 soles. Este fenómeno de reducción también fue descrito por Galarza y Collado (2013) en su estudio de caso.

## V. CONCLUSIONES

1. El crecimiento de la biomasa presenta una tasa de crecimiento de 0.75 y una capacidad de carga de 6385.39 Kg. MS/ha/mes, capacidad que se alcanza sin la presencia de intervención humana. La biomasa alcanza un máximo de crecimiento de 1198.73 Kg. MS/ha/mes cuando la disponibilidad es de 3192.60 Kg. MS/ha/mes. Si se introduce el número apropiado de animales respetando el respectivo nivel del crecimiento del recurso, este responderá incrementando la tasa de crecimiento hasta alcanzar de nuevo el pico de crecimiento. Si se extrajera más allá de la capacidad de regeneración natural el recurso, este colapsaría.
2. El nivel de la carga animal actual sobre el recurso forrajero fue estimado en 3.33 UAM/ha, estando por sobre el nivel óptimo que maximiza los beneficios económicos de la actividad ganadera dedicada a la producción de leche en condiciones de pastoreo, de 2.26 UAM/ha considerado un precio mercado de S/1.50 soles por litro de leche. Siendo la recomendación práctica, el estar en un nivel de presión de pastoreo de entre 2 a 3 UAM/mes, rango donde se obtienen beneficios económicos considerables.
3. El nivel de carga animal óptimo de 2.26 UAM/ha se encuentra, para este caso, dentro del rango de la capacidad de carga segura y capacidad de carga máxima calculado con las formulas propuestas por Noy-Meirs, sin embargo, no se puede tomar esta afirmación como una generalidad. Así mismo, los beneficios económicos considerando el precio sombra, implican niveles de producción menores, así como una menor carga optima, que fue estimada en 2.01 UAM/ha.
4. El nivel óptimo de la carga animal de 2.26 UAM/ha/mes presenta un nivel de benéfico equivalente a de S/ 224.26, mientras que el nivel del máximo biológico de 4.02 UAM/ha/mes fue de S/. 89.35 soles. Al emplear el precio sombra para calcular

los benéficos, estos se reducen a niveles de S/ 154.43 y S/ 0.00 soles con un nivel de carga de 2.01 UAM/ha/mes para el óptimo económico y 4.02 UAM/ha/mes para el máximo biológico que ahora coincide con un escenario de libre acceso, razón por el cual los benéficos a dicho nivel se hacen nulos.

5. Cambios en los precios, debido a condiciones externas, por ejemplo: escasez, mayor demanda, etc., implican cambios en los beneficios de la actividad que a su vez implican cambios en los niveles de los factores de producción (carga animal y consumo), sin embargo, la decisión de incrementar o reducir estos niveles estarán más ligados a los objetivos trazados por las empresas ganaderas en el corto plazo y mediano plazo que en el largo plazo.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Estimar de mejor manera la función de costos totales, probando diversas formas funcionales como las funciones del tipo translogaritmicas.
2. No se debe de considerar como una regla general el rango de 2 – 3 UAM/ha para explotaciones en condiciones diferentes.
3. Fomentar el empleo de la técnica de diseño de perfil alimentario en las explotaciones para monitorear el comportamiento del recurso, así como también el de la producción.
4. Evaluar otras formas funcionales del crecimiento de la biomasa forrajera y su interacción con variables del tipo climáticas como precipitación y la temperatura

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANGERER, J. 2012. Gobi forage livestock early warning system. In: Coughenour, M.B., Makkar, H.P.S. (Eds.), Conducting National Feed Assessments. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy, pp. 115-130.

AMERICAN SOCIETY OF RANGE MANAGEMENT AND AGRICULTURE BOARD (ASRM). 1962. Basic Problems and Techniques in Range Research. Report of a Joint Comitte of the American Society of Range management and Agriculture Board. Pub. N°. 890. Washington D.C.344pp.

AZQUETA, D. 1994. Valoración económica de la calidad ambiental. McGraw-Hill. Madrid. 299pp.

AZQUETA, D. y FERREIRO, A. 1994. Análisis económico y gestión de recursos naturales. Alianza Editorial. Madrid. 376pp.

AVALOS, P. 2006. Dinámica de la producción forrajera y perfil alimenticio de vacas lecheras al pastoreo en un asociación gramínea - leguminosa en la sierra central. Tesis para optar el grado de Magister en Producción Animal – EPG – UNALM

BALLESTERO, E. 1985. Principios de economía de la empresa. Alianza Universal. Madrid.

BROMLEY, D. W.1991. Environment and Economy: Property Rights and Public Policy. Oxford University Press. Oxford. United Kingdom. 247pp.

CAFFERA, M. 2018. Economía Ambiental Intermedia - Notas de Clase. Uruguay. 146pp  
Consultado el 11.06.2019. Disponible en línea en:

<http://www2.um.edu.uy/marcaffera/docencia/Econom%C3%ADa%20Ambiental%20Intermedia/Notas-de-clase-Economia-Ambiental-Intermedia-Libro2018.pdf>

CANAVESE, A. 2007. Temas en el Análisis Económico de los Derechos de Propiedad. Revista de Economía Política de Buenos Aires, Vol. 1, pp. 31-36. Disponible en: [http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/download/ecopoli/ecopoli\\_v1\\_n1\\_02.pdf](http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/download/ecopoli/ecopoli_v1_n1_02.pdf).

CANDELARIO, J. 2005. Valor nutritivo de la dieta, ingesta de forraje y perfil alimentario en vacas lecheras Brown Swiss Criollo en una pastura asociada de Dactylis - Trébol en secano en la sierra central. Tesis para optar el grado de Magister en Producción Animal – EPG – UNALM

COMISION ECONOMICA PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL). 2009. Economía de los Recursos Ambientales Base Conceptual. Disponible en: <https://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/8/35988/carlosdemiguel.pdf>

COBB, C. and, Douglas, P. 1928. A Theory of Production. American Economic Review 18 :139-165.

CONRAD, J. 2010. Resource Economics Second Edition. Cambridge University Press. 300pp.

CRUZ, L. 2008. Composicion de la dieta, consumo de forraje y demanda energética de vacas Brown Swiss x Criollos en praderas naturales altoandinas del departamento de Pasco. Tesis para optar el grado de Magister en Producción Animal – EPG – UNALM

ESPONDA, R. 2007. Productividad, composición química y capacidad de carga de una asociación Dactylis glomerata - Trifolium pratense en secano. Tesis para optar el grado de Magister en Producción Animal – EPG – UNALM.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). 1993. Papel del ganado domestico en el control de la desertificación. Disponible en: <http://www.fao.org/3/x5320s/x5320s08.htm#Condicion%20de%20los%20pastizales%20en%20relacion%20con%20la%20desertificacion>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). 2007. Enfoques, conciliar la ganadería con el medio ambiente. Departamento de Agricultura y Protección al Consumidor. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0704sp2.htm>

FLORES, E. 1991. Manejo y utilización de pastizales. En: Avances y perspectivas del conocimiento de los camélidos sudamericanos. FAO. Santiago - Chile.

FLORES, E. 1996. Reality, Limitations and Research Needs of the Peruvian Livestock Sector. Latin America Livestock Regional Assessment Workshop, Costa Rica.

FLOREZ, A. y MALPARTIDA, E. 1987. Manejo de praderas nativas y pasturas en la región altoandina del Perú. Tomo I. Fondo del libro del Banco Agrario. Lima – Perú.

FLOREZ, A. y BRYANT, F. 1990. Manual de pastos y forrajes. Dirección General de Investigación Pecuaria. Programa de Investigación de Pastos y Forrajes. Lima – Perú.

FLORES, E., CRUZ, J y ÑAUPARI, J. 2005. Utilización de praderas cultivadas en secano y praderas naturales para la producción lechera. Boletín Técnico CICCFA-FDAINCAGRO. Lima - Perú.

FLORES, D. 2006. Producción primaria y flujo de energía en praderas naturales de Festuca-Calamagrostis y cultivadas de Dactylis-Trebol. Tesis para optar el grado de Magister en Producción Animal – EPG – UNALM.

FRIEDEL, M., FORAN, B. AND STAFFORD, D. 1990. Where the creeks run dry or ten feet high: pastoral management in arid Australia. Proceedings of the Ecological Society of Australia 16, 185-194.

GALARZA, E. 2004. Economía de los Recursos Naturales. Universidad del Pacifico. Lima – Perú. 296pp.

GALARZA, E y COLLADO, N. 2013. Los derechos de pesca: el caso de la pesquería de anchoveta peruana. Apuntes. Revista de Ciencias Sociales, 40(73).7 – 42.

GARCIA, A., Rodríguez, J. Acero de la Cruz, R. María, D. 2000. Teoría Económica de la Producción Ganadera Volumen I. Servicios de Publicaciones de la Universidad de Córdoba. Universidad de Córdoba – Argentina.

GARCIA, A. 2012. Teoría Económica de la Producción Ganadera. Servicios de Publicaciones de la Universidad de Córdoba Universidad de Córdoba – Argentina. Disponible en:

[http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/14\\_13\\_06\\_Teoria\\_economica.pdf](http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/14_13_06_Teoria_economica.pdf)

GORDON, H. 1954. Economic theory of a common-property resources: the fishery. J. Pol. Econ. 62: 129 - 142. Reprinted in Bull. Math. Biol. Vol. 53, (1/2): 231-252. 1991.

HARDIN, G. 1968. The Tragedy of Commons. Science, vol 162, pp 1243-1248. Traducción disponible en: <http://www.eumed.net/cursecon/textos/hardin-tragedia.htm>

HOLECHECK, J. 1985. "Range inventory and monitoring". Range management principles. University of New Mexico, USA. Pp. 1 – 22.

HOLECHEK, J., PIEPER, R., HERBEL, C. 1995. Range Management: Principles and Practices. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, xvi, 526pp.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA E IINFORMATICA (INEI). 1994. III Censo Nacional Agropecuario – Resultados Definitivos. Informe técnico. Lima – Perú. 70pp.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA E IINFORMATICA (INEI). 2012. IV Censo Nacional Agropecuario – Resultados Definitivos. Informe técnico. Lima – Perú. 63pp.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA E IINFORMATICA (INEI) 2019. Evolución de la Pobreza Monetaria 2007-2018. Informe técnico. Lima – Perú. 181pp.

JONES, R., and SANDLAND, R., 1974: The relation between animal gam and stocking rate. The Journal of Agricultural Science. 83 (02), 335-342.

L.“T MANNETJE”. 2001. Manejo de Pasturas Tropicales. CIAT. Colombia. Capítulo 3.

LOPEZ, J., PERDOMO, E. 2016. Cuantificación económica de las externalidades ambientales en un sistema de producción lechero en la finca Santa María del Puyón en Sopocundinamarca. Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniera Ambientales y Sanitarias. Universidad De La Salle. Bogotá – Colombia. Disponible en: [http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20455/41111062\\_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20455/41111062_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

LOZADA, C. 2000. Sobrepastoreo y Degradación del Pastizal en la Sierra del Perú. Boletín Técnico. Laboratorio de Utilización de Pastizales – UNALM. Lima.

MALDONADO, J. 2008. Economía de los Recursos Naturales: Aplicación de la Economía computacional a la solución de problemas Dinámicos. Universidad de los Andes – Facultad de Economía. Bogotá – Colombia. pp.42-74.

MENDIETA, L. (2001). Manual de valoración económica de bienes no mercadeables: aplicaciones de las técnicas de valoración no mercadeables y el análisis costo beneficio y medio ambiental. Universidad de los Andes – Facultad de Economía. Bogotá – Colombia. 303pp.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MEA). 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Millennium Ecosystem Assessment. Island Press. Washington, DC.

MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM). 2018. Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú – Memoria Descriptiva. Ministerio del Ambiente del Perú. Lima – Perú. 117pp.

NOY-MEIR, I. 1975. Stability of Grazing Systems: An Application of Predator-Prey Graphs. The Journal of Ecology, Vol. 63, No. 2. (Jul.1975), pp. 459-481.

ÑAUPARI, J. 2000. Comportamiento nutricional y perfil alimentario de vacas lecheras en pastos cultivados rye grass/trébol de la U.P. CONSAC. Tesis para optar el grado de Magister en Producción Animal – EPG – UNALM.

ÑAUPARI, J. y FLORES, E. 1996. Análisis y diseño de planes de alimentación en pasturas. IV Congreso Nacional de Ingenieros Zootecnistas. Huancayo – Perú.

ÑAUPARI, J., FLORES, E. 2002. Comportamiento nutricional y perfil alimentario de vacas lecheras en pastos cultivados Rye grass/trébol de la U.P Consac. Anales Científicos. Universidad Nacional Agraria La Molina. Vol. 1: 21-36.

ODUM, E. y WARRET, G. 2006. Fundamentos de Ecología Quinta Edición. Thomson Editores SA. México. 614pp.

OFICINA NACIONAL DE EVALUACION DE RECURSOS NATURALES (ONERN). 1985. Los Recursos Naturales del Perú. Lima – Perú. 325pp.

OSTROM, E. 2011. El gobierno de los comunes. La evolución de las instituciones de acción colectiva Segunda Edición. Instituto de Investigaciones Sociales. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 395pp.

PARKER, K. 1954. Application of ecology in the determination of range condition and trend. United States Forest Service. Washington, D. C., US.

PEARCE, D. y TURNER, K. 1995. Economía de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente. Editorial Celeste. Madrid. 450pp.

PINDYCK, R. y RUBINFELD, D. 2009. Microeconomía Séptima Edición. Pearson Educación SA. Madrid. 888pp.

RIEG, A. 1994. Análisis económico de los recursos naturales. Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas. Mendoza – Argentina. Multequina núm. 3, 205 -2011.

RICHARDSON, F., HAHN, B., HOFFMAN, M. 2005. On the dynamics of grazing systems in the semi-arid succulent Karoo: The relevance of equilibrium and non-equilibrium concepts to the sustainability of semi-arid pastoral systems. Ecological Modelling 187 (2005) 491–512.

RIERA, P.; GARCÍA, D.; KRISTROM, B.; BRANNLUND, R. 2005. Manual de Economía Ambiental y de los Recursos Naturales. Tercera Edición. Ediciones Paraninfo SA. Madrid. 356pp.

RITTEN, J., BASTIAN, C., FRASIER, W. 2010. Economically Optimal Stocking Rates: A Bioeconomic Grazing Model. *Rangeland Ecology & Management*, 63(4):407-414.

ROMERO, C. 1994. *Economía de los Recursos Ambientales y Naturales Segunda Edición*. Alianza Editorial. Madrid. 216pp

SCARNECCHIA, D. 1999. Viewpoint: The range utilization concept, allocation arrays, and range management science. *Journal Range Management* 52:157-160.

SCHAEFER, M. 1954. Some aspects of the dynamics of population important to the management of the commercial marine fisheries. *Bull. Inter-Am. Trop. Tuna Comm.* 1 (2): 27-56. Reprinted in *Bull. Math. Biol.* 53, (1/2): 253-279. 1991.

SEIJO, J., DEFEO, O., SALAS, S. 1997. *Bioeconomía Pesquera: Teoría Modelación y Manejo*. Documento Técnico de Pesca. N° 368. FAO – Roma. 176pp.

SIEBERT, H. 2008. *Economics of the Environment, Theory and Policy Seventh Edition*. Springer Verlag. 297pp.

THE ECONOMICS OF ECOSYSTEMS AND BIODIVERSITY (TEEB). 2010. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity Ecological and Economic Foundations*. Edited by Pushpam Kumar. Earthscan, London and Washington.

VARIAN, H. 2010. *Microeconomía Intermedia, un enfoque actual Octava Edición*. Traducción Universidad de Alcalá. España.

WARD, F. A. 2006. *Environmental and Natural Resource Economics First Edition*. Pearson Prentice Hall. New Mexico State University. USA. 610pp.

WORKMAN, J. 1981. Analyzing ranch income statements - A modified approach. *Rangelands* (3): 146 – 148.

WORKMAN, J. 1986. *Range Economics*. MacMillan Publishing Co. New York, NY.

WORKMAN, J. y MALECHEK, J. 1973. Proposed management plan. Deseret livestock East Ranch. State of Utah, USA. Pp. 1 – 67.

WORKMAN, J. y D. Mc PHERSON. 1973. Calculating yearlong carrying capacity – an algebraic approach. Journal Range Management. 26: 224 – 227.

## **VIII. ANEXOS**

Anexo 1. Base de datos.

	Yt	Ct	Zt	Ca	L
1	1515.61	2015.91	3218.70	4.23	763.28
2	1489.67	2087.97	3719.00	4.10	755.16
3	1318.98	1951.98	4317.30	3.96	680.40
4	1108.08	839.98	4950.30	1.65	668.36
5	1353.00	1008.00	4682.20	2.05	495.60
6	1551.24	1008.74	4337.20	1.98	425.32
7	1441.50	877.30	3794.70	1.72	295.12
8	780.00	591.00	1854.30	2.09	234.00
9	861.80	905.20	1665.30	3.10	257.92
10	725.40	843.20	1708.70	2.89	265.98
11	742.00	1321.60	1826.50	5.01	262.08
12	886.60	753.30	2406.10	2.58	322.40
13	1068.00	636.00	2272.80	2.25	296.40
14	992.00	703.70	1840.80	2.41	354.64
15	990.00	870.00	1552.50	3.08	343.20
16	834.00	368.90	1432.50	1.26	306.28
17	753.20	403.00	967.40	1.38	306.28
18	858.00	522.00	617.20	1.85	296.40
19	895.90	1026.10	281.20	3.51	338.52
20	1031.03	542.10	967.00	1.20	280.00
21	1347.32	1364.00	478.07	2.91	385.78
22	1340.63	2546.65	494.75	5.43	385.78
23	909.12	841.12	1700.77	1.99	261.33
24	852.44	1683.92	1632.77	3.59	192.89
25	878.33	1504.50	2464.25	3.32	93.33
26	580.56	865.52	1115.06	1.41	446.40
27	672.37	1829.00	1400.02	2.99	694.40
28	604.60	593.63	2556.65	1.04	556.80
29	619.07	1003.47	2545.68	1.64	496.00
30	620.28	913.20	2930.08	1.54	384.00
31	702.02	213.28	3223.00	0.35	347.20
32	640.90	992.00	1115.06	2.18	356.50
33	668.00	1590.30	1400.02	3.49	475.33
34	587.00	1102.00	2556.65	2.59	333.50
35	575.10	737.80	2545.68	1.62	297.08
36	517.80	468.00	2930.08	1.06	172.50
37	524.00	213.90	3223.00	0.47	118.83

Anexo 2. Ingresos y costos

	I \$	C \$
1	1144.92	887.31
2	1132.74	877.87
3	1020.60	790.97
4	1002.54	776.97
5	743.40	576.14
6	637.98	494.43
7	442.68	343.08
8	351.00	272.03
9	386.88	299.83
10	398.97	309.20
11	393.12	304.67
12	483.60	374.79
13	444.60	344.57
14	531.96	412.27
15	514.80	398.97
16	459.42	356.05
17	459.42	356.05
18	444.60	344.57
19	507.78	393.53
20	420.00	325.50
21	578.67	448.47
22	578.67	448.47
23	392.00	303.80
24	289.33	224.23
25	140.00	108.50
26	669.60	518.94
27	1041.60	807.24
28	835.20	647.28
29	744.00	576.60
30	576.00	446.40
31	520.80	403.62
32	534.75	414.43
33	713.00	552.58
34	500.25	387.69
35	445.63	345.36
36	258.75	200.53
37	178.25	138.14

### Anexo 3. Estimaciones econométricas

#### Función de crecimiento ( $C_t = F(z_t, z_t^2)$ )

reg ct zt zt2, nocons

Source	SS	df	MS			
Model	34008269.5	2	17004134.8	Number of obs =	37	
Residual	15524672.2	35	443562.064	F( 2, 35) =	38.34	
Total	49532941.8	37	1338728.16	Prob > F =	0.0000	
				R-squared =	0.6866	
				Adj R-squared =	0.6687	
				Root MSE =	666	

ct	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
zt	.7509213	.1380225	5.44	0.000	.4707207	1.031122
zt2	-.0001176	.0000389	-3.02	0.005	-.0001965	-.0000387

#### Función de consumo ( $Y_t = F(z_t, z_t^2)$ )

reg yt zt zt2, nocons

Source	SS	df	MS			
Model	28378434.2	2	14189217.1	Number of obs =	37	
Residual	6031243.14	35	172321.233	F( 2, 35) =	82.34	
Total	34409677.4	37	929991.28	Prob > F =	0.0000	
				R-squared =	0.8247	
				Adj R-squared =	0.8147	
				Root MSE =	415.12	

yt	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
zt	.5677312	.0860284	6.60	0.000	.3930842	.7423782
zt2	-.0000686	.0000242	-2.83	0.008	-.0001178	-.0000194

### Función de consumo ( $Y_t = F(ca, ca_2)$ )

reg yt ca ca2, nocons

Source	SS	df	MS			
Model	30853705.8	2	15426852.9	Number of obs =	37	
Residual	3555971.51	35	101599.186	F( 2, 35) =	151.84	
Total	34409677.4	37	929991.28	Prob > F =	0.0000	
				R-squared =	0.8967	
				Adj R-squared =	0.8908	
				Root MSE =	318.75	

	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
ca	597.0504	60.62891	9.85	0.000	473.9671	720.1336
ca2	-78.07292	16.5085	-4.73	0.000	-111.587	-44.55888

### Función de costos ( $CT = F(ca)$ )

reg c ca, nocons

Source	SS	df	MS			
Model	6387931.69	1	6387931.69	Number of obs =	37	
Residual	2064336.85	36	57342.6903	F( 1, 36) =	111.40	
Total	8452268.54	37	228439.69	Prob > F =	0.0000	
				R-squared =	0.7558	
				Adj R-squared =	0.7490	
				Root MSE =	239.46	

	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
ca	153.8339	14.57508	10.55	0.000	124.2742	183.3935