

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN ANIMAL



**“CONSUMO DE ALIMENTO Y COMPORTAMIENTO INGESTIVO
DE VACAS AL PASTOREO EN ÉPOCA LLUVIOSA EN LA SIERRA
CENTRAL DEL PERÚ”**

Presentada por:

JOSE LUIS CANTARO SEGURA

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO MAGÍSTER
SCIENTIAE EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

Lima– Perú

2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

ESCUELA DE POSGRADO

**“CONSUMO DE ALIMENTO Y COMPORTAMIENTO INGESTIVO
DE VACAS AL PASTOREO EN ÉPOCA LLUVIOSA EN LA SIERRA
CENTRAL DEL PERÚ”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO MAGÍSTER SCIENTIAE EN
PRODUCCIÓN ANIMAL**

JOSE LUIS CANTARO SEGURA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Mg. Sc. Víctor Hidalgo Lozano

PRESIDENTE

Mg. Sc. Jorge Rafael Vargas Morán

PATROCINADOR

Ph.D. Carlos Gómez Bravo

CO- PATROCINADOR

Ph.D. Lucrecia Aguirre Terrazas

MIEMBRO

Ph.D. Javier Ñaupari Vásquez

MIEMBRO

Lima-Perú

2018

DEDICATORIA

A Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

A mis padres HÉCTOR y VIRGINIA por ser los pilares más importantes y demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional. A mi hermano HÉCTOR por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Al Ph.D. Carlos Gómez Bravo por su apoyo, predisposición, asesoramiento y orientación desde el inicio, la realización y la culminación de esta tesis.

Al Ph.D. Javier Ñaupari Vásquez, por su apoyo en los temas académicos y ayudarme con algunos temas técnicos.

A la Ph.D. Lucrecia Aguirre Terrazas, por su amistad, aporte y enseñanzas brindadas en todos estos años.

Al Mg. Sc. Jorge Vargas Morán, por su afecto, confianza y preceptos brindados en todo este tiempo.

Al Mg. Sc. Víctor Hidalgo Lozano, por su contribución en calidad de tutor durante mis estudios de posgrado.

Al Ing. Jorge Gamarra Bojórquez por su asesoramiento, enseñanza, experiencia brindada en la realización de la tesis.

A Wilman Altamirano Gutiérrez y a la comunidad de Chalhuas, quienes me brindaron facilidades y apoyo logístico para la realización del estudio en campo.

Gracias también por el trabajo en conjunto al Instituto de Producción Animal en los Trópicos y Subtrópicos de la Universidad de Hohenheim – Alemania, a la Dra. Uta Dickhoefer y Dr. Joaquin Castro-Montoya. Gracias a Franziska Jocher por el trabajo de investigación en campo en este proyecto.

A mi familia por confiar y creer en mí y haberme ayudado a seguir formando como persona y profesional.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. La ganadería en la zona alto andina	3
2.2. Consumo de alimento de animales al pastoreo	5
2.3. Regulación del consumo voluntario.....	6
2.4. Factores involucrados en el consumo voluntario en pastoreo.....	8
2.5. Técnicas para estimar el consumo voluntario en pastoreo.....	11
2.6. Comportamiento ingestivo	14
2.6.1. Sistema de posicionamiento global (GPS).....	15
2.6.2. Monitoreo del comportamiento del ganado y del pastoreo con el GPS.....	16
2.7. Características del pastizal	19
2.7.1. Disponibilidad del pastizal.....	20
2.7.2. Valor nutritivo del pastizal.....	20
III. MATERIALES Y MÉTODOS	22
3.1. Área experimental	22
3.2. Procedimiento experimental.....	23
3.2.1. Medición del consumo de alimento.....	26
3.2.2. Medición del comportamiento ingestivo del animal.....	28
3.2.3. Biomasa, disponibilidad forrajera y análisis químico	30
3.3. Análisis estadístico.....	32
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
4.1. Consumo de alimento.....	33
4.2. Comportamiento ingestivo	36
4.2.1. Distancia recorrida.....	36
4.2.2. Descanso.....	37

4.2.3. Pastoreo.....	38
4.2.4. Caminata.....	39
4.3. Composición química del pastizal.....	41
4.3.1. Fibra detergente neutra.....	41
4.3.2. Fibra detergente ácida.....	41
4.3.4. Biomasa.....	43
4.3.5. Disponibilidad forrajera.....	43
V. CONCLUSIONES	44
VI. RECOMENDACIONES.....	45
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
VIII. ANEXOS	63

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Índices productivos de animales mejorados y criollos.	4
Cuadro 2. Características de los pequeños productores del ensayo en el distrito de Chalhuanca en el 2015, según encuestas.	25
Cuadro 3. Días de observación registrados y evaluados (n) de los dispositivos de posicionamiento global de los animales individuales de tres lugares en la comunidad de Chalhuanca, 2015.	30
Cuadro 4. Consumo de alimento en vacas al pastoreo.	33
Cuadro 5. Peso de los animales y la producción de leche de las vacas al pastoreo.	34
Cuadro 6. Energía metabolizable del pastizal que consumen las vacas.	35
Cuadro 7. Comportamiento ingestivo de las vacas al pastoreo.	37
Cuadro 8. Coeficientes de la correlación lineal de Pearson entre las diferentes variables evaluadas en el experimento realizado en Chalhuanca, en época lluviosa.	40
Cuadro 9. Composición química y valor nutricional del pastizal.	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio.	22
Figura 2. Representación del experimento en tres lugares (estancias).....	24
Figura 3. Esquema de aplicación del marcador externo (TiO ₂).	26
Figura 4. Esquematización de la toma de datos con el GPS y los umbrales para el análisis de datos.	30

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Base de datos de consumo de alimento, energía metabolizable y digestibilidad de la materia orgánica.....	63
Anexo 2. Base de datos del peso inicial (kg), final (kg) y la producción de leche (kg/vaca/día).	64
Anexo 3. Base de datos del comportamiento ingestivo de las vacas en los lugares de estudio.	65
Anexo 4. Base de datos de FDN (%), FDA (%) y proteína cruda (%).	66
Anexo 5. Base de datos de la biomasa de los lugares de estudio (kg MS/ha).	69
Anexo 6. Base de datos de la disponibilidad forrajera de los lugares de estudio (kg MS/ha)	71
Anexo 7. Distribución espacial de la elevación (metros sobre el nivel del mar) de las pasturas en los tres lugares de estudio.	72
Anexo 8. Distribución espacial de la pendiente (%) de las pasturas en los tres lugares de estudio.....	72
Anexo 9. Vista panorámica y detalles de los lugares de estudio.	73
Anexo 10. Vacas en el lugar de estudio con sus collares GPS.....	73

RESUMEN

Los sistemas ganaderos y la producción de la leche en los Andes Peruanos están basados principalmente en pastos naturales, y constituye una de las principales fuentes de ingreso para los campesinos minifundistas. Entender el consumo de alimento y el comportamiento ingestivo de las vacas permitirá mejorar la producción lechera y un manejo sostenible de los pastizales. Los objetivos del presente trabajo de investigación fueron: 1) Determinar el consumo de alimento de las vacas al pastoreo mediante la técnica del indicador externo: dióxido de titanio (TiO_2), 2) Determinar el comportamiento ingestivo de vacas al pastoreo monitoreando su posición con GPS, y 3) Determinar la composición química de los pastos y su efecto en el consumo de alimento. El estudio fue realizado en la comunidad rural de Chalhuan (S $11^\circ 57' 56''$, O $75^\circ 32' 59''$), Junín, entre los 3600 y 3900 m.s.n.m., durante los meses de enero a marzo, época lluviosa. El comportamiento ingestivo de los animales fue tomado en vacunos de genotipo criollo de tres lugares de la comunidad. Las muestras de pastos se recolectaron y luego fueron secados para su posterior análisis químico. Se estimaron correlaciones de Pearson entre todas las variables encontradas. El consumo alimenticio promedio fue 8.25 ± 1.56 kg MS/vaca/día, equivalente al $2.30 \pm 0.39\%$ del peso vivo. El contenido de fibra detergente neutra, fibra detergente ácida y proteína cruda tuvo un promedio $66.47 \pm 4.20\%$, $33.25 \pm 3.63\%$ y $8.10 \pm 2.15\%$, respectivamente. El tiempo de pastoreo de las vacas fue en promedio de 9.8 ± 1.0 h/día, el tiempo de descanso de 12.3 ± 1.1 h/día y el tiempo de caminata de 1.9 ± 0.2 h/día, con una distancia recorrida media de 6.9 ± 0.6 km/día. La producción de leche fue de 3.14 ± 0.62 kg/vaca/día. Dentro de las correlaciones más significativas, se encuentran el peso final con el consumo de alimento (0.40), tiempo de pastoreo con distancia recorrida (0.74), la energía metabolizable con el descanso (-0.47), así como la producción de la leche con la distancia recorrida (-0.33).

Palabras claves: consumo de alimento, comportamiento ingestivo, producción de leche, dióxido de titanio, GPS.

SUMMARY

Livestock systems and milk production in the Peruvian Andes are based mainly on rangelands, and it constitutes one of the main sources of income for smallholder farmers. Understand cows feed intake and ingestive behavior will allow improving milk production and sustainable management of the pastures. The objectives of the present research work were: 1) To determine feed intake of cows grazing with an external indicator technique: titanium dioxide (TiO₂), 2) To determine the ingestive behavior of grazing cows by monitoring their position with GPS, and 3) To determine the chemical composition of the pastures and their effect on feed intake. The study was conducted in the rural community of Chalhuan (S 11°57'56 ", W 75°32'59") in Junin, between 3600 and 3900 m.a.s.l., during January and March, the rainy season. The ingestive behavior of the animals was taken on Creole genotype cattle from three places of the community. Pasture samples were collected and then dried for further chemical analysis. Likewise, Pearson correlations were estimated among all the variables found. The average feed intake was 8.25 ± 1.56 Kg MS/cow/day, equivalent to $2.30 \pm 0.39\%$ of live weight. The content of neutral detergent fiber, acid detergent fiber and crude protein had an average of $66.47 \pm 4.20\%$, $33.25 \pm 3.63\%$ and $8.10 \pm 2.15\%$, respectively. Time of grazing of the cows was on average of 9.8 ± 1.0 h/day, resting time 12.3 ± 1.1 h/day and walking time of 1.9 ± 0.2 h/day, with an average walking distance of 6.9 ± 0.6 km/day. Milk production was 3.14 ± 0.62 Kg/cow/day. Among the most significant correlations are the final weight with food consumption (0.40), grazing time with distance traveled (0.74), metabolizable energy with resting time (-0.47), as well as milk production with walking distance (-0.33).

Keywords: feed intake, ingestive behavior, milk production, titanium dioxide, GPS.

I. INTRODUCCIÓN

La superficie ocupada con pastos naturales en el Perú es de 18'018,794.63 hectáreas, la cual representa más del 70 por ciento de los suelos de la Sierra (IV Censo Nacional Agropecuario, 2012). Las praderas naturales alto andinas contribuyen significativamente a la seguridad alimentaria, si se tiene en cuenta que más del 80 por ciento de la población ganadera del país utiliza este recurso natural renovable como principal fuente de alimento (Flores, 1996; Recharte *et al.*, 2002). A su vez estas praderas presentan limitaciones debido al sobrepastoreo y mal manejo, no logrando proveer de una adecuada cantidad de nutrientes para la producción de leche, siendo la energía el factor más limitante.

La ingesta del forraje y el comportamiento del ganado es la información necesaria para evaluar el estado nutricional de los rumiantes al pastoreo en diferentes sistemas de manejo de pastizales. En las últimas décadas, la investigación se ha dirigido hacia interacciones entre herbívoros de pastoreo y vegetación de pastos. Estudios realizados indican que el 62 por ciento de las praderas se encuentran con una condición pobre a muy pobre, debido a la sobreexplotación ocasionada por el manejo tradicional (Flores, 1996; Ventura, 2003). La variación en el consumo voluntario y su valor nutricional es un factor dietario que determina el nivel y eficiencia de la producción en un rumiante; esta variación es mayor y muy difícil de predecir bajo condiciones de pastoreo, siendo relativamente bajo, debido a las limitaciones en el consumo, por ende, aumentando el consumo del animal se puede incrementar la productividad y con ello una mejor retribución económica.

El comportamiento ingestivo en pastoreo depende de las reacciones del animal a las variables de la interfase de aquel con la planta, afectando el consumo. Una clara evidencia fue obtenida cuando extrajeron el contenido ruminal de animales con bajo consumo diario y no lograron aumentos significativos en el tiempo de pastoreo (Chacón y Stobbs, 1996). Esto significa que el animal dedica un tiempo diario limitado al consumo de forraje y por lo tanto necesita lograr una velocidad de ingestión que le permita alcanzar el consumo esperado de acuerdo a

la calidad del alimento. El consumo de alimento, el comportamiento y el tiempo de rumia son parámetros importantes en la identificación de sub óptimas condiciones de alimentación y posibles trastornos de salud.

Los requerimientos del ganado bajo condiciones de pastoreo no se conocen con precisión, debido a que pueden ser modificados por la actividad del pastoreo y las condiciones ambientales del lugar. Por otra parte, el valor nutritivo y la digestibilidad son también difíciles de determinar debido a que el animal selecciona su dieta de una combinación de especies y partes de plantas. Uno de los factores más críticos en los requerimientos nutricionales de los rumiantes en pastoreo es el desconocimiento de la cantidad consumida voluntariamente. Por otra parte, para los productores de estas zonas la producción de leche es de gran importancia para sus pequeñas explotaciones ganaderas en los Andes debido a la generación de un ingreso diario a través de la venta de leche (Thornton y Herrero, 2001).

El objetivo general del estudio fue determinar el consumo de alimento de las vacas al pastoreo mediante la técnica del indicador externo TiO_2 , y su comportamiento ingestivo mediante el monitoreo de su posición a través del GPS además de las características del pasto natural presente en la zona.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. La ganadería en la zona alto andina

La zona alto andina posee condiciones climáticas agrestes y recursos limitados por lo cual no es posible desarrollar muchos tipos de producción (Young y Lipton, 2006). En los lugares donde las lluvias y el crecimiento de las pasturas son constantes, la producción de leche puede basarse completamente en pasturas durante todo el año (Bernet *et al.*, 2002). En la Sierra del Perú, la producción de pasturas tiende a ser estacional (alta durante la época de lluvias y baja durante la época de sequía y heladas). En esta región, la ganadería lechera puede basarse enteramente en pasturas (ganadería estacional), o en pasturas con inclusión de cantidades variables de suplementos (Silva, 2006). En esas condiciones, la ganadería extensiva al pastoreo, toma especial importancia, ya que se basa en el uso de pasturas naturalmente establecidas y que no requieren de mayor manejo o tecnologías complicadas para su aprovechamiento.

El promedio nacional de la producción animal en los Andes Peruanos está caracterizada por bajos índices productivos de carne, leche, fibra y lana. Estos bajos índices proviene de los reducidos rendimientos de las comunidades campesinas de la región alto andina, provenientes del bajo potencial del recurso animal y de las deficiencias en las prácticas de manejo (Arias, 2000). En los últimos años, el vacuno criollo ha tenido diversos grados de cruzamiento, predominando el cruce con ganado lechero (Holstein o Brown Swiss), al que se denomina criollo mejorado. La producción pecuaria en el país en aquellas comunidades que se encuentran sobre los 4000 m.s.n.m., predomina la ganadería extensiva, principalmente de vacunos, mientras que en aquellas en donde las condiciones climáticas lo permiten es posible combinar la agricultura con la crianza de ganado. La tendencia se realiza hacia la introducción de animales mejorados genéticamente para el incremento de los indicadores de productividad de los animales. Las marcadas diferencias se muestran en el cuadro 1 propuesto por Flores (1996), el cual realiza una comparación de los principales índices productivos de animales mejorados y criollos.

Cuadro 1. Índices productivos de animales mejorados y criollos.

Parámetros	Vacunos Mejorados	Vacunos Criollos
Natalidad (%)	70	50
Peso al nacimiento (kg)	30	22
Peso al destete (kg)	100	80
Peso adulto (kg) :		
- Hembras	500	195
- Machos	900	300
Rendimiento de carcasa (%)	52	48

Fuente: Flores (1996).

Flores (1992) y Rosemberg (2000), coinciden en definir al ganado criollo, como aquel ganado producto de muchos cruces y aclimatado en la región andina después de una selección natural de más de 400 años (100 generaciones). Estos animales tienen gran importancia por ser la población base de nuestra ganadería a la que debemos mejorar genéticamente, pero conservando sus características básicas de rusticidad (Rosemberg, 2000). En base a estos animales, la principal actividad de estos pequeños productores es la producción de leche, una actividad clave en la ganadería en las zonas alto andinas ya que provee ingresos regulares y seguros a los agricultores de bajos recursos, debido a que la leche es un producto con un alto valor en el mercado y constituye una estrategia económica adecuada para compensar los efectos negativos de la marginalización de la globalización actual (Bernet *et al.*, 2002).

La distribución temporal de los turnos de pastoreo es una característica bien definida del comportamiento alimenticio bajo condiciones naturales, mostrando los rumiantes un ritmo diurno de actividad de pastoreo con picos de actividad asociados con el amanecer y la puesta del sol (Kilgour, 2012; Gregorini *et al.*, 2006). El ganado adulto consume su alimento en distintos turnos de pastoreo, intercalados con periodos de rumia y descanso (Gregorini, 2012). Los turnos de pastoreo ocurren de dos a cuatro veces por día; el más grande con la tasa de bocado más alta es al atardecer y el segundo más grande al amanecer (Kilgour, 2012). Los informes de tiempo de pastoreo para el ganado generalmente caen dentro de un rango de cuatro a nueve horas durante la luz del día y de siete a trece horas a lo largo de todo el día (Kilgour, 2012); siendo la alimentación de rumiantes en pastoreo, un proceso sincronizado dentro del rebaño (Miller-Cushon *et al.*, 2014).

En los sistemas de producción modernos, los patrones de alimentación están influenciados por el lugar y los factores dietéticos que difieren de entornos extensos, siendo los patrones de alimentación diurnos los más evidentes en el ganado criado de manera intensiva y se caracterizan por picos en la actividad de consumo en respuesta a los procedimientos de manejo, especialmente el tiempo de suministro de alimento fresco (DeVries y Von Keyserlingk, 2005). El tiempo de alimentación del ganado lechero adulto en sistemas de producción modernos es algo menor que el observado en ganado de pastoreo (tres a cinco horas; Hosseinkhani *et al.*, 2008) debido a la provisión de raciones rápidamente disponibles y rápidamente ingeridas. En comparación con los turnos de ganado vacuno en pastoreo, el ganado criado intensivamente consume su alimento en comidas más frecuentes (ocho a doce comidas/día) y más cortas (aproximadamente 30 minutos o menos; Hosseinkhani *et al.*, 2008). La sincronía de alimentación se observa en mayor grado en ganado lechero criado de manera intensiva que en ganado al pastoreo (Miller-Cushon *et al.*, 2014); donde la energía adicional para los gastos de la actividad física reduce la cantidad de la energía disponible para el crecimiento y la producción.

2.2. Consumo de alimento de animales al pastoreo

La alimentación se conecta directamente casi a todos los diferentes aspectos de la producción del ganado. Ésta es la gran parte del costo de la crianza del ganado, ya que afecta directamente a la calidad y cantidad de la producción. Una dieta suficiente evitará problemas de salud y estrés por ello la alimentación puede afectar el bienestar del ganado. El consumo de alimento está en función del tiempo de pastoreo, la velocidad de pastoreo y el tamaño del bocado (Baumont *et al.*, 2000). La cantidad de materia seca de forraje consumida es el factor más importante que regula la producción de rumiantes a partir de forrajes. Así, Waghorn y Clark (2001) señalan que el valor de un forraje en la producción animal depende más de la cantidad consumida que de su composición química. El consumo en condiciones reales, o sea el consumo voluntario de alimentos se definen como la cantidad de materia seca consumida cada día cuando a los animales se les ofrece alimento sin restricción alguna (Tahir, 2008). La alimentación se refiere a los aspectos del comportamiento del proceso de la nutrición, habiendo una diferencia entre la conducta alimentaria en la naturaleza y en condiciones de cautiverio. En la naturaleza, el comportamiento de alimentación se acompaña del comportamiento de la búsqueda de alimento, además, la selección de alimentos de los animales, cuando se alimentan en la naturaleza está más desarrollada en comparación con

los que se crían de forma estabulada. El ganado necesita para mantener su energía, la ingesta de alimentos que incluyan carbohidratos, grasas y proteínas (Barbosa *et al.*, 2008; Ginane *et al.*, 2015).

La conducta alimentaria puede verse afectada por muchos aspectos, tales como el clima, condición de los dientes, la competencia y la calidad de los alimentos. En general, el consumo de alimento tiene una relación inversa con la temperatura y durante circunstancias normales, un aumento de la temperatura provoca un menor consumo de alimentación (Palhano *et al.*, 2007). El ganado vacuno prefiere más material de la hoja y en el momento de pastoreo consumen la parte superior de la planta. En el pastoreo, el ganado reúne un montón de plantas con la ayuda de su lengua y luego presiona la planta entre los dientes frontales inferiores y el paladar superior, después la planta se corta moviendo el cuello. Ellos pueden pastar hasta 70 bocados por minuto (Phillips, 1993). El ganado es incapaz de pastar la planta más corto de 1 cm en el suelo, y que sean relativamente no selectivos, al reducir la altura de las gramíneas, que sigan el ritmo de pastoreo y aceptar una menor calidad de la planta (Dumont, 1995). Los comportamientos de alimentación del ganado, que se muestran en condiciones intensivas, son similares a la conducta de pastoreo de ganado a menos que, por lo general debido a la condición del pastizal, deben competir con otros miembros de la manada para llegar a la comida, además descansan más, ya que pasan menos tiempo para encontrar comida (Weston, 2002).

2.3. Regulación del consumo voluntario

La ingesta voluntaria de alimento está influenciada por factores animales (edad, género, genética), factores de crianza (densidad, parámetros ambientales) y factores dietéticos como la energía, forma de presentación, tratamiento tecnológico, etc (Li y Patience, 2016). A nivel animal, la ingesta voluntaria de alimento se regula por pre-ingesta (apariencia, sabor, olor), post-ingestión (volumen de los contenidos digestivos, tiempo de tránsito, fermentaciones microbianas) y post-absorción o señales metabólicas (hormonales y neurales). A nivel celular, el estado energético del animal controla el inicio de una comida por la vía Adenosina Mono fosfato-Activado Proteína Kinasa, AMPK. Además diferentes niveles de regulación (digestivo, hormonal, metabólico y celular) han sido descritos por separado, pocas obras los integran a nivel animal. El consumo de alimento está regulado y limitado por los requerimientos físicos y metabólicos de los animales. El control físico del consumo

voluntario de materia seca en vacas lecheras de alta productividad es en gran medida dependiente de la capacidad y volumen del rumen-retículo, se cree que el llenado físico está determinado principalmente por la velocidad de digestión del alimento, la velocidad de absorción y el efecto de llenado de la dieta. Los principales factores que controlan la regulación física son el contenido de fibra detergente neutro (FDN) y el contenido de agua de los alimentos, la motilidad retículo-rumen, el volumen retículo-rumen y la digestibilidad de fibra detergente neutro (DFDN) en el rumen. Cuando los requerimientos de energía o proteína de las vacas lecheras son satisfechas por la alimentación, entonces se detiene la ingesta adicional como resultado de la retroalimentación a través de un mensaje desde el centro de saciedad dentro del sistema nervioso central (Tahir, 2008).

La regulación del consumo en vacas lecheras es complejo, no existiendo un factor que puede ser considerado el único regulador del consumo, en cambio, este consumo está controlado por una combinación de diferentes mecanismos que interactúan entre ellos (Fisher, 2002). La distensión de la pared del rumen-retículo es el principal mecanismo de regulación del consumo de forrajes de baja calidad en rumiantes en pastoreo, aunque la digestibilidad y la tasa de pasaje también afectan el consumo voluntario (Allen, 2000; Fisher, 2002). El contenido energético de la dieta es el segundo factor más importante en la regulación del consumo de alimento. La digestión del alimento para producir proteína y energía a ser utilizada por el animal es un proceso complejo. Se sabe que muchos factores dietéticos influyen en la disponibilidad de energía de las raciones consumidas. Fisher (2002) afirmó que se requiere un equilibrio entre los diferentes componentes dietéticos para asegurar que los numerosos factores nutricionales involucrados en el control de la ingesta voluntaria de las raciones sean apropiados. Se ha observado una disminución significativa en el consumo voluntario de materia seca cuando la proteína es limitada o hay un desequilibrio en la ingesta de proteínas dietéticas. Esto sucede probablemente debido a las limitaciones metabólicas al procesamiento de la energía de los carbohidratos en el rumen y post-rumen (Fisher, 2002).

La palatabilidad de las dietas a veces puede influir en la capacidad de los rumiantes para anular la ingesta voluntaria. Además, la temperatura puede afectar el consumo voluntario de alimento en vacas lecheras (Forbes, 1995); se ha informado que las temperaturas elevadas disminuyen el consumo de materia seca y la producción de leche en las vacas lecheras en la mayoría de las áreas tropicales del mundo. Todos estos factores producen algún tipo de señales de retroalimentación a través del sistema nervioso central. La mayor parte del

tiempo, la retroalimentación metabólica se ve por separado de la física o cualquier otra señal de retroalimentación, pero el sistema nervioso central integra todos estos para la regulación de la ingesta voluntaria de alimento (Tahir, 2008); se ha encontrado que la regulación física y metabólica a corto plazo de la ingesta está involucrada cuando se suministran ensilajes de alta calidad a vacas lecheras (Huhtanen *et al.*, 2007).

2.4. Factores involucrados en el consumo voluntario en pastoreo

2.4.1. Tamaño corporal

Si la capacidad física del tracto digestivo no es un factor limitante, el máximo nivel de consumo se manifestará por efecto de los requerimientos energéticos del animal. La demanda de energía es proporcional al tamaño corporal o peso metabólico, que se expresa elevando el peso vivo a la potencia 0.75 (NRC, 1987); de esta forma, las necesidades de energía por unidad de peso de animales pequeños son mayores que para los animales de talla grande, reflejándose en una selección más eficiente de la dieta para los vacunos (Miller-Cushon *et al.*, 2014).

2.4.2. Estado fisiológico

El consumo de materia seca difiere según el estado fisiológico de la vaca; el consumo de vacas lactantes es mayor que el consumo de vacas preñadas o secas y las vacas preñadas consumen más que las vacas secas, además los animales jóvenes son más selectivos, prefieren forrajes con mayores niveles de proteína cruda y menores de fibra detergente ácido y celulosa al compararlos con las vacas adultas (Miller-Cushon *et al.*, 2014). Durante las fases de crecimiento y los ciclos reproductivos se presentan cambios importantes en los requerimientos de los animales en pastoreo. Las etapas de preñez y lactancia representan un considerable incremento en la demanda de energía; sin embargo, tiene diferentes efectos en el consumo voluntario de forraje, ya que un animal gestante se encuentra físicamente con menor capacidad digestiva a consecuencia del crecimiento uterino y la compresión del rumen (Allen, 2000).

2.4.3. Condición corporal

El consumo está relacionado con la condición corporal al igual que al tamaño corporal. Sin embargo, es un índice pobre de la demanda energética y por lo tanto del consumo, cuando hay diferencias de productividad. Los animales delgados comen más que los animales gordos, esto se relaciona al consumo y crecimiento compensatorio, es decir, animales que

pasaron por un período de subnutrición comen más por unidad de peso vivo que animales que estuvieron bien alimentados previamente (Basarab *et al.*, 2003).

2.4.4. Preferencia

La palatabilidad es el conjunto de características de la planta que estimulan al animal a consumirla; así, la preferencia es la respuesta animal a la apetitosidad de la planta (López, 1984). La selectividad del forraje, por otro lado, es la medida de lo que el animal ingiere relativo a lo que dispone.

Los pastizales y las praderas raramente son uniformes, y la diversidad de éstos provee a los rumiantes la oportunidad de seleccionar su dieta. Los sentidos que son estimulados con la presencia de alimento permiten al animal anticipar los efectos post-ingestivos de los forrajes. El sistema afectivo integra el sabor del alimento con una retroalimentación post-ingestiva y el sistema cognitivo integra el olor y la apariencia del alimento con su sabor. Aversiones hacia plantas tóxicas o alimentos experimentalmente mezclados con muchos compuestos que causan malestares han sido claramente establecidas en rumiantes (Baumont *et al.*, 2000). Los rumiantes, como otros mamíferos, desarrollan preferencias por alimentos que son ricos en energía. Sin embargo, en una situación libre de elección, la selección de la dieta no siempre maximiza la energía en la dieta. Las ovejas comen algo de paja para evitar desórdenes en el rumen, incluso cuando hay alimentos concentrados. Igual, las cabras buscan especies relativamente bajas en proteínas y ricas en fibra.

Distel *et al.* (1993) señalan que las limitaciones sobre el consumo de forraje de baja calidad impuesta por niveles altos de fibra y bajos de proteína pueden ser atenuadas por medio de la exposición de los animales a estos forrajes a temprana edad, para crear adaptación e inclusive preferencia por forrajes fibrosos en los animales en pastoreo. Con respecto a la heterogeneidad de los forrajes, Minson (1990) resalta cuatro aspectos: preferencia entre hojas y tallos, forraje verde vs maduro, diferencias entre especies y el grado de contaminación del forraje. Son claras las evidencias de que las hojas son consumidas en mayor cantidad que los tallos, debido a que contienen menores niveles de fibra detergente neutra, fibra detergente ácido y lignina, y por ende presentan menor resistencia al corte y masticación, esto se acentúa en las praderas con pastos tropicales; por último, señala que el

consumo voluntario de forraje se deprime cuando está contaminado con tierra, heces o material muerto.

2.4.5. Selección de dieta del animal a pastoreo

En condiciones de manejo intensivo y extensivo de pasturas, los vacunos confrontan situaciones diversas de disponibilidad y heterogeneidad en la vegetación, se dan amplias oportunidades de selección de la dieta y por consiguiente variaciones en el consumo de materia seca y nutrientes (Baumont *et al.*, 2000). La topografía y distancia de los abrevaderos determinan primariamente los patrones de distribución a gran escala, y actúan conjuntamente con los factores bióticos modificando los patrones de selección y consumo de la dieta a mediano y largo plazo (Bailey *et al.*, 1996). Generalmente, existe una relación entre el tiempo que permanecen los herbívoros en una comunidad vegetal y la disponibilidad (cantidad y calidad) del forraje presente. Este patrón de comportamiento depende de las decisiones de los animales a diferentes escalas temporales y espaciales (Bailey *et al.*, 1996 y Baumont *et al.*, 2004). En condiciones de alta disponibilidad forrajera la tasa de consumo se incrementa, mientras que, la velocidad de pastoreo decrece.

Estos mecanismos no cognitivos operan a escalas espaciales pequeñas (bocados, estación de pastoreo, campos); por el contrario, en condiciones extensivas de pastoreo, parecen operar mecanismos cognitivos, como es la memoria espacial, que permite al animal seleccionar campos y sitios de pastoreo a una escala mayor (Bailey *et al.*, 1996, y Baumont *et al.*, 2004). Mecanismos y ajustes post-ingestivos también intervienen para el control de la selección y consumo a corto y mediano plazo en comunidades vegetales heterogéneas (Provenza, 1995); diferentes investigadores proponen que el propósito final de la selección y consumo de nutrientes es alcanzar el óptimo grado de la condición del animal (“Fitness”), lo que es conocido como la optimización de la cosecha (Optimum Foraging Theory). Desde este punto de vista el análisis de la selección de dieta y el consumo debe enfocarse a diferentes escalas temporales (corto, mediano y largo plazo) y a escalas espaciales que comprenden desde la unidad primordial de cosecha (bocado) hasta los sitios y campos de pastoreo y otros aspectos relacionados con el comportamiento social y aspectos de calidad de la dieta seleccionada (Baumont *et al.*, 2004).

2.5. Técnicas para estimar el consumo voluntario en pastoreo

Todas las metodologías desarrolladas y empleadas para cuantificar el consumo poseen ventajas, pero también limitaciones en precisión, tiempo y costo. Por ello no es posible referirse a una determinación exacta de consumo, sino que es más correcto hablar como un índice estimativo de la cantidad de forraje consumido en condiciones de pastoreo, existiendo sin embargo técnicas más exactas que otras. Al respecto se han publicado valiosas revisiones entre las que figuran las de Cordova *et al.*, (1978) Zorrilla (1979), y Le Du y Penning (1982), quienes describen ampliamente los métodos comúnmente más utilizados para estimar el consumo voluntario de forraje, clasificándolos en forma muy general en métodos directos e indirectos.

Los métodos directos se refieren específicamente a: 1) estimación del consumo bajo condiciones controladas en jaulas individuales y 2) método telemétrico basado en transmisiones de presión mediante unas “botas” especiales, que detectan los cambios de peso del animal (Minson, 1990). En la categoría de los métodos indirectos se incluyen los más comúnmente utilizados en las determinaciones de consumo voluntario de forraje en pastoreo, donde incluyen estimaciones de consumo utilizando medidas agronómicas, parámetros del comportamiento animal y la estimación de la porción no digerible del forraje y de la producción fecal mediante el uso de indicadores externos e internos, o bien a través del uso de animales colectores de heces y de animales fistulados esofágicamente.

Las determinaciones de consumo voluntario utilizando medidas agronómicas consisten básicamente en la realización de cortes antes y después del pastoreo, y el diferencial representa la cantidad consumida por el animal. Este método es descrito por Zorrilla (1979), Meijs *et al.*, (1982), y Minson (1990), su desventaja es que no considera los efectos asociados con el pisoteo, la selectividad del animal y el crecimiento del forraje, por lo anterior los resultados obtenidos mediante esta metodología son dudosos. Un segundo método indirecto para estimar el consumo voluntario de forraje, incluye la utilización de ciertos parámetros de comportamiento como el tiempo de pastoreo, número de bocados por unidad de tiempo y el tamaño del bocado. Este método ha sido utilizado y discutido por Hodgson (1982) y Minson (1990); es conveniente señalar, que los datos obtenidos por este método presentan coeficientes de variación hasta de un 50 por ciento, lo que indica la baja precisión del mismo (Zorrilla, 1979). La técnica que se ha considerado como estándar por ser la más adecuada en

términos de precisión, a pesar de ciertas desventajas relacionadas con el tiempo y costo, es la que contempla la relación entre la cantidad total de heces producida por unidad de tiempo y la porción no digerible de la ingesta (Cordova *et al.*, 1978; y Zorrilla, 1979).

El grado de exactitud del método dependerá de la precisión con que se determine la producción diaria de heces y la digestibilidad de la dieta seleccionada por el ganado. El volumen de heces producidas por el animal puede estimarse directamente mediante la colección total, e indirectamente con el uso de marcadores o indicadores. El primer método consiste en recoger todas las heces producidas utilizando bolsas colectoras especiales sujetas al animal mediante un arnés. La metodología de muestreo ha sido descrita con detalle por Zorrilla (1979), sugiriendo que las mediciones deben realizarse dos veces diarias para evitar grandes volúmenes de heces en la bolsa colectora. La duración del período de muestreo, así como el número de animales necesarios han sido estudiados por Cordova *et al.*, (1978) y Le Du y Penning (1982), concluyendo que con un período de adaptación de siete a diez días, y cinco a siete días de colección, utilizando cinco a seis animales se obtiene información con buen grado de confiabilidad. Una desventaja de este método es el posible efecto negativo del equipo sobre el comportamiento animal; sin embargo, Chávez *et al.*, (1983) observaron que el uso de bolsas colectoras de heces no causó tensión significativa a los animales, habiéndose obtenido una producción fecal constante en el período de muestreo. De cualquier manera, el método requiere de mucho tiempo y cuidados, por lo que es una técnica costosa y bajo ciertas condiciones poco práctica (Zorrilla, 1979).

Un método alternativo para estimar la producción de heces lo constituye el empleo de marcadores o indicadores externos, los cuales son sustancias no naturales, no digeribles, no tóxicas, totalmente recuperables y de fácil cuantificación (Maynard *et al.*, 1981; y Le Du y Penning, 1982). Pond *et al.* (1987) señalan que los indicadores externos son utilizados con diferentes propósitos, tales como: determinación de la digestibilidad, estimación de la producción fecal, consumo voluntario y tasa de pasaje a través del tracto digestivo; los más utilizados han sido óxido de cromo (Cr_2O_3), óxido férrico (Fe_2O_3), sulfato de plata (Ag_2S) y compuestos de cromo (Cr), cobalto (Co) y elementos raros tales como iterbio (Yb), europio (Eu), disprosio (Dy), oro (Au), cerio (^{144}Ce), escandio (^{46}Sc), circonio (^{95}Zr), lantano (^{140}La), rutenio (^{106}Ru), itrio (Y), etc. A pesar de que se ha incrementado cada vez más el uso de marcadores radioactivos, el óxido de cromo sigue siendo el indicador que más comúnmente se utiliza en estudios de consumo, digestibilidad y producción fecal (Chamberlain y Thomas,

1983; Clanton y Raleigh, 1987). Paterson y Kerley (1987) y Pond *et al.*, (1987) citan que el óxido de cromo es administrado al animal en una dosis conocida, y posteriormente se realiza un muestreo periódico de heces, obteniéndose éstas directamente del recto, y luego se mide la concentración del marcador en las heces fecales; la producción de heces se calcula mediante la relación entre la cantidad administrada y recuperada utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Producción de heces } \left(\frac{\text{g}}{\text{día}}\right) = \frac{\text{dosis suministrada } \left(\frac{\text{g}}{\text{día}}\right)}{\% \text{ del marcador en heces}}$$

El grado de confiabilidad de esta estimación depende fundamentalmente de la cantidad de óxido de cromo recuperado en las heces. Es conveniente señalar que existen evidencias de que el óxido de cromo no sólo no se recupera totalmente, sino que presenta variaciones diurnas, las cuales tienen efecto directo sobre la concentración del óxido de cromo en las heces y por ende en los valores de producción total de las mismas (Pond *et al.*, 1987). Estos problemas se pueden mitigar administrando el marcador en cápsulas dos veces diarias o impregnado en papel una vez al día para que la excreción sea más uniforme (Le Du y Penning, 1982). El marcador debe ser administrado al animal 4 a 7 días antes del período de colección que tiene una duración de tres a siete días (Pond *et al.*, 1987). Una vez que se ha estimado la cantidad total de heces producida diariamente, restaría determinar la porción no digerible del forraje consumido, cuya estimación se realiza en forma indirecta conociendo la digestibilidad de la dieta seleccionada por el animal en pastoreo.

Los indicadores empleados deben cumplir ciertas condiciones para su empleo en los ensayos: 1) no deben ser absorbidos por el animal, 2) no debe afectarse ni ser afectado por el tracto digestivo ni por su población microbiana, 3) debe fluir paralelamente con o ser físicamente similar a o íntimamente asociado con el material que debe marcar y 4) debe tener un método de estimación específico y sensible y tener cualidades que permitan su medición precisa (Carciofi *et al.*, 2007; Buñay, 2010). Es muy importante aclarar que el indicador no se puede visualizar en las heces y debe ser determinado con métodos de laboratorio; en general, una propiedad crucial de un marcador inerte es una alta y constante recuperación en las heces. El análisis del dióxido de titanio (TiO₂) en heces como el desarrollado por Brandt y Allam (1987) fue validado y la recuperación se determinó en condiciones de bajo pastoreo y estabulación; el tiempo para alcanzar el equilibrio de la ingesta y la excreción TiO₂ era determinada por la medición de la excreción fecal diaria de TiO₂ después del primer día de

la administración a la animales. Además, los efectos de la frecuencia y tiempo de administración marcador y de toma de muestras puntuales en el patrón de excreción de TiO_2 estaban decididos, y estimaciones de la excreción fecal fueron validados. Las comparaciones directas de Cr_2O_3 y TiO_2 en cerdos (Jagger *et al.*, 1992), en vacunos (Titgemeyer *et al.*, 2001), y recientemente en ovejas (Myers *et al.*, 2006) han demostrado que TiO_2 es una alternativa adecuada en comparación a Cr_2O_3 .

El método del indicador Dióxido de Titanio (TiO_2) constituye una alternativa para determinar los coeficientes de digestibilidad de los nutrientes de los alimentos sin la necesidad de recolectar la totalidad de las heces, y se basa en la adición de una sustancia indigestible en las dietas experimentales. El dióxido de titanio (TiO_2) se incinera a 580°C durante trece horas, para después someterlas a digestión con ácido sulfúrico (Kavanagh *et al.*, 2001). Existen varios métodos que son utilizados para determinar la concentración del indicador, entre los que se encuentran la espectrometría de absorción visible, espectrofotometría de absorción de flama atómica (Carciofi *et al.*, 2007; Eklund *et al.*, 2012), la digestión en ácido nítrico y ácido perclórico (Bremer *et al.*, 2005). Si se usan métodos de colorimetría se debe tener en cuenta que los resultados pueden modificarse debido a la presencia de componentes de color en las muestras de heces (Carciofi *et al.*, 2007). En el pasado, el óxido de cromo (Cr_2O_3) era uno de los marcadores inertes más comúnmente utilizados para predecir excreción fecal de rumiantes en pastoreo. Sin embargo, la recuperación de Cr_2O_3 se desvía de 1 en muchos experimentos y varía mucho entre los animales (Titgemeyer *et al.*, 2001). Por otra parte, Myers *et al.* (2006) indicaron preocupaciones sobre las propiedades carcinógenas de Cr_2O_3 y riesgos para la salud cuando el marcador se inhala. Para el dióxido de titanio marcador (TiO_2) no se esperan propiedades negativas para la salud.

2.6. Comportamiento ingestivo

El comportamiento ingestivo del animal al pastoreo refleja la interacción del animal-pastura y por consiguiente la calidad y cantidad de forraje consumido (Baumont *et al.*, 2000, 2004). La conducta es el modo de ser, de proceder o el modo de portarse. Este comportamiento puede ser instintivo, es decir, la capacidad innata de realizar sin aprendizaje previo y a la perfección, determinadas acciones específicas en respuesta a condiciones del medio ambiente externo o a condiciones psicológicas del propio animal, caso de rumia y pastoreo,

siendo un tipo de comportamiento fundamentalmente hereditario, y forma parte del patrimonio genético de la especie en cuestión, al igual que cualquier otro carácter morfológico o fisiológico.

En el caso de las vacas lecheras, dentro de este comportamiento se observa el pastoreo, que es la ingesta, cortando con los dientes la hierba o el pasto de la pradera. La rumia es propia de los mamíferos artiodáctilos y comprende la regurgitación, remasticación, insalivación y reingestión del bolo alimenticio en los rumiantes. La caminata es la acción de trasladarse de un lugar a otro. El descanso es el cese de cualquier actividad y en el caso de las vacas lecheras, puede ser de pie o echada. El abrevaje es la acción de beber, de saciar la sed. La orina y defecación consiste en la expulsión del organismo de las sustancias resultantes del metabolismo. Tienen además otras actividades como lactar, montar y/o dejarse montar en la época de celo, lamerse, golpearse la cabeza como establecimiento de la jerarquía social, buscar abrigo, etc. Todas las actividades anteriores son innatas del animal en condiciones naturales, es decir cuando no han sufrido procesos de aprendizaje o condicionamientos en su comportamiento (Miller-Cushon *et al.*, 2014). El método más eficiente y de mayor uso en los últimos años para estudiar el comportamiento animal es el uso de collares de GPS, que se describen a continuación:

2.6.1. Sistema de posicionamiento global (GPS)

La observación de animales ha evolucionado a partir de la observación visual a través de estaciones de radio FM a los sistemas satelitales como ARGOS y Navstar GPS (Turner *et al.*, 2000). Navstar GPS (sistema de navegación con tiempos y rangos) es operado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, inicialmente diseñado para los militares, los usuarios obtienen posiciones fijas a través de una constelación de satélites que orbitan el planeta cuidadosamente monitorizados. El uso de GPS pueden dar las posiciones exactas de determinados animales; esto puede identificar los lugares de alimentación preferidos de los animales, sino también elaborar los presupuestos del día (Schlecht *et al.*, 2004, González *et al.*, 2014). El GPS pertenece a los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS) que permiten a los ecólogos obtener información sobre el movimiento, el uso del hábitat y los rangos de los animales (Hebblewhite *et al.*, 2010). Aunque las observaciones visuales suelen estar restringidas, los dispositivos de seguimiento GNSS permiten el estudio casi continuo de los animales (Shamoun-Baranes *et al.*, 2012).

La exactitud posicional y la frecuencia temporal de los lugares medidos ha aumentado con el desarrollo de nuevos sistemas de seguimiento GNSS, esto proporciona información más detallada sobre los patrones de movimiento y el uso del hábitat, y además abre la posibilidad de derivar el comportamiento de los animales del seguimiento de datos (Owen-Smith *et al.*, 2010). Desde ubicaciones GNSS, se pueden derivar métricas de movimiento como la distancia recorrida, la velocidad, la cabeza y los ángulos de giro entre las correcciones, lo que puede utilizarse para inferir diferentes tipos de comportamiento (Shamoun-Baranes *et al.*, 2012; Bouten *et al.*, 2013, Patterson *et al.*, 2008, Fryxell *et al.*, 2008). Por ejemplo, Guo *et al.*, (2009) instaló seis vacas con dispositivos de rastreo GPS, y calculó la velocidad direccional como la velocidad angular (tasa de rotación) entre arreglos. Basado en observaciones visuales de actividades animales, Guo *et al.*, (2009) posteriormente establecen varios umbrales para estas variables que representan diferentes modos de comportamiento (alimentación: grandes ángulos de giro y bajas velocidades; andar: pequeños ángulos de giro y altas velocidades; descanso: pequeños ángulos de giro y bajas velocidades).

Los componentes del sistema GPS son: 1) el segmento espacial de 24 satélites, en órbitas dispuestas en cinco a ocho satélites que son visibles desde cualquier punto de la tierra en cualquier momento y generan/transmiten señales de radio en el momento exacto); 2) segmento de control-red de estaciones terrestres para monitorear la información satelital (estado de salud y la hora, y localización por satélite) para asegurar el correcto funcionamiento del sistema; 3) segmento de usuarios-receptores de los usuarios en la comunidad que convierten las señales de satélite en estimaciones de localización. Siendo el margen de error de la ubicación exacta ± 15 metros. Aparte de coste del receptor, equipo de procesamiento o software, no hay costo de suscripción involucrados con el uso de señales básicas GPS (Tomkiewicz *et al.*, 2010).

2.6.2. Monitoreo del comportamiento del ganado y del pastoreo con el GPS

El monitoreo a través del sistema de posicionamiento global puede proporcionar a los investigadores información eficiente y precisa en el comportamiento de animales al pastoreo. El uso de dispositivos GPS es ahora considerado como estándar para los animales, de funcionamiento libre para documentar la distribución espacial y temporal (González *et al.*, 2014). Las mediciones con dispositivos GPS son eficaces y fácilmente repetible (Putfarken *et al.*, 2008; Butt, 2010). Las investigaciones anteriores se centraban en el seguimiento de los animales utilizando datos recogidos por la observación. Los recientes avances en

tecnología GPS, han permitido el desarrollo de receptores manuales con peso ligero, adecuados para el seguimiento de la posición de los animales en intervalos muy cortos, cada 15 segundos, los cuales eran almacenados en una memoria interna de 16 GB colocado en el GPS.

El uso de sistemas basados en satélites ha comparado con la carga de la observación visual de los animales varias ventajas. A través de la utilización del GPS en menor trabajo, tiempo y esfuerzo está asegurado ya que el observador no tiene que estar presente de forma permanente. La adquisición de equipo técnico, sin embargo, se asocia con altos costos cuando se deben observar vez registran varios animales. Además, el conocimiento de la manipulación necesaria, mientras que la observación visual es más fácil de llevar a cabo, asimismo con el uso de GPS, muchos animales se pueden observar de forma simultánea. Los collares GPS se utilizan cada vez más para estudiar los movimientos de la fauna silvestre y la selección del hábitat. Ellos producen grandes conjuntos de datos de lugares de los animales y algunas medidas de "actividad" dada por los sensores incluidos en el collar. El conocimiento tanto de la localización de los animales (sistema GPS) como de su actividad (como descansar o alimentarse) es claramente útil para la investigación conductual (Cagnacci *et al.*, 2010).

Los sensores de actividad incluidos en los collares proporcionan cuentas que se supone están vinculadas a los comportamientos exhibidos por el animal. Sin embargo, para utilizar estos datos, se debe evaluar la correspondencia entre el comportamiento animal y los valores dados por sensores de actividad para cada especie animal. Esto requiere observar el comportamiento de individuos equipados con los sensores de actividad para producir un modelo estadístico que predice el comportamiento dominante expresado por unidad de tiempo usando las variables independientes proporcionadas por los sensores.

Fryxell *et al.* (2008) mostró que la distribución del ángulo de giro puede describir el comportamiento de la yema (*Cervus elaphus*), con distribuciones que son más variables y los movimientos son menos directos durante la alimentación que durante la búsqueda. Se espera que la mayor precisión espacio temporal de los datos de seguimiento aumente la precisión de los cálculos de las medidas de movimiento, permitiendo una inferencia más precisa del comportamiento que realiza un animal. Vincular este comportamiento a la ubicación y, por lo tanto, al tipo de hábitat en el que vive el animal, aumenta la comprensión

del comportamiento alimenticio y el uso de los recursos (Cumming *et al.*, 2012; Fryxell *et al.*, 2008, Turner *et al.*, 2000), lo que proporciona una base para las decisiones de manejo (Hulbert, 2001). Esto no solo es de interés para biólogos de vida silvestre y gerentes de conservación, pero también a agricultores que pueden aplicar información sobre la ubicación espacial de su ganado en pastoreo para mejorar el uso de la disponibilidad de forraje [Guo *et al.*, 2009; Ungar *et al.*, 2005; Turner *et al.*, 2000).

Una mayor exactitud espacio temporal permitirá la cuantificación de las diferencias individuales de comportamiento. Esto posiblemente proporcione a los investigadores, gerentes o agricultores la capacidad de deducir el comportamiento desviado de los individuos (por ejemplo, estar enfermos, cojos o en celo) a partir de los datos de seguimiento. Los datos se pueden importar en un SIG (Sistemas de Información Geográfica) para evaluar los animales características de comportamiento y utilización de la pradera. La precisión de los animales grabación de la localización permite a los investigadores evaluar utilización de la pradera, el rendimiento del animal y el comportamiento. Los investigadores podrán evaluar los méritos de pasto o prado formas y tamaños, diseños de cercas, sistemas de pastoreo, forraje composición y la disponibilidad, localización de sombra, agua, y suplementos y otras variables que afectan las operaciones del ganado de carne (Gottardi *et al.*, 2010).

Las investigaciones se han centrado en las preferencias del ganado, mejorando la eficiencia del pastoreo mediante diversas técnicas de manejo (Hart *et al.*, 1993), por ejemplo intervalos de 15 minutos durante las horas del día, los collares de colores, ubicaciones en cuadrículas de 100 m. Los sistemas de pastoreo evaluado (continuo y rotacional) y el tamaño de los pastos (24 vs 207 ha) los efectos sobre el comportamiento del ganado, la distribución y el aumento de peso. Langbein y Nichelmann (1993) observaron visualmente el comportamiento de las razas Holstein-Friesian y Siboney de Cuba en libertad en un clima tropical.

Las proporciones de tiempo dedicado al pastoreo, descanso, de pie, y el uso de sombra fueron evaluadas entre razas. Smith *et al.* (1992), el uso de binoculares, observó el ganado durante las horas del día a intervalos de 15 min en un pastoreado de manera continua los pastos y el tiempo grabado en el canal dedicado, llanura de inundación, y las zonas de montaña para evaluar el pastoreo de ribera. Owens *et al.* (1991) identificaron la disponibilidad de forraje

verde, la cantidad de hierba, la abundancia de cepillo, la lejanía de las carreteras y agua, y la proximidad a las cercas como los principales factores que afectan a la utilización de los pastos en un sistema de pastoreo continuo.

2.7. Características del pastizal

Los pastizales alto andinos son los ecosistemas de mayor extensión geográfica en nuestro país, abarcan aproximadamente 14'300,000 hectáreas (Yaranga, 2009) en ellas se desarrolla más del 80 por ciento de la ganadería extensiva en el país, por lo cual juegan un rol muy importante en la economía de la población dedicada a esta actividad. En la región Junín donde se ubica el área de investigación, los pastizales abarcan una extensión aproximada de 291,652 de hectáreas casi el 26.94 por ciento de su territorio (Yaranga, 2009).

Flores (1993), define al ecosistema como un área ecológica territorial, donde entes bióticos y abióticos interactúan entre sí, para dar lugar a una comunidad con estructura y función propia; capaces de producir tejido vegetal utilizable por herbívoros de consumo humano o fauna silvestre (Gastó *et al.*, 1990). El ecosistema es análogo a sitios en términos del manejador de pastizales (Flores, 1996). El sitio es definido como un área de combinación climática, edáfica, topográfica y factores bióticos, estas áreas pueden ser consideradas como unidades para propósitos de manejo (Florez y Bryant, 1990). Los sitios son distinguidos en base a la composición florística, producción de forraje y características superficiales del epipedón del suelo (Flores, 1996). Para interpretar los ecosistemas se debe analizar las estructuras y funciones de sus componentes, teniendo en cuenta que no siempre existen límites definidos que separan los roles de cada componente y aunque existan tales límites éstos pueden variar con las estaciones o con el tiempo (Briske y Heitschmidt, 1991).

La estructura del ecosistema, está integrada por dos componentes: el biótico, agrupación de seres vivos en un sitio, incluye diversas expresiones fenológicas y fisiológicas (Brack y Mendiola, 2004); y estrategias para obtener energía y nutrientes (Briske y Heitschmidt, 1991). El componente abiótico influye de manera significativa en la productividad forrajera, aspectos de altitud, precipitación, heladas, topografía, el poco desarrollo de los suelos y las sequías periódicas, en adición a las variaciones de temperatura, son algunos factores abiótico que limitan la productividad de los pastizales (Flores, 1996).

2.7.1. Disponibilidad del pastizal

La tasa de crecimiento se incrementa rápidamente después del pastoreo, y luego es más lento a medida que la masa vegetal, el área foliar y la intercepción de luz aumentan. La masa vegetal se refiere a las partes de las plantas que están por encima del suelo, incluyendo la pastura viva y muerta, expresada como kg MS/ha en cualquier época (Korte *et al.*, 1987). El crecimiento se reduce cuando el área foliar es insuficiente para interceptar con eficiencia la luz incidente. El crecimiento y el forraje residual después del pastoreo contribuyen a la acumulación de forraje disponible al inicio del período de pastoreo. El forraje disponible es una medida de la cantidad de forraje por unidad de área en un momento dado y es expresado en kg MS/ha. El forraje disponible se mide cortando al ras del suelo la masa vegetal, separando el material muerto y partículas de suelo, para secar y pesar la cantidad actual de forraje; los métodos de corte son tediosos y costosos.

2.7.2. Valor nutritivo del pastizal

El valor nutritivo del pastizal cosechado por los animales depende de su origen, cultivado vs natural, época del año, variedad, y del grado de selectividad. Los pastos naturales y cultivados difieren en composición química y valor nutritivo lo cual a su vez influencia el nivel de ingesta y la producción animal que es posible alcanzar bajo pastoreo. El contenido de la fibra y proteínas, es un indicativo de la calidad nutritiva potencial de una pastura. La digestibilidad es uno de los factores que influencia el consumo de los alimentos por los rumiantes y esta varía con el estado de madurez, la especie de pasto y el manejo. Una pastura en estado vegetativo tierno y con hojas pequeñas, normalmente tiene una alta digestibilidad. Solo cuando se permite que la planta llegue a la madurez, es que la digestibilidad disminuye, debido al incremento de carbohidratos estructurales y lignina de la pared celular. El conocimiento de la digestibilidad de la pastura facilita el cálculo del contenido de energía metabolizable (EM) dada la alta correlación entre estas dos variables (Waghorn y Barry, 1987). Sin embargo los pastos cultivados poseen mayor valor nutritivo que cubre los requerimientos de mantenimiento y ganancia. Además cuando los animales ingresan a campos de pastos cultivados invierten menos tiempo en la selección de alimento, lo que se traduce en menos gastos energéticos (Turín, 1999). Cuando el alimento es abundante, la fibra cruda es baja y la proteína alta; el consumo voluntario es máximo; las pasturas con brotes tiernos, succulentos y con una gran cantidad de hojas tienen una alta concentración de EM en su materia seca. Al madurar el forraje, la calidad de la pastura baja y el contenido de fibra

aumentan reduciéndose el consumo voluntario de forraje. El material senescente es consumido por los animales cuando la disponibilidad de pasto es baja o cuando la proporción de este material en la vegetación es alto, reduciendo la oportunidad de selección e incrementando la ingestión de material muerto. La composición de los forrajes se suele expresar sobre materia seca (MS) y los análisis deben hacerse en muestras de pastos comidos en lugar de pastos ofrecidos. Los forrajes contienen normalmente 12-30 por ciento de MS, pero las concentraciones de proteína cruda, fibra y carbohidratos no estructurales (NSC) varían ampliamente (Waghorn y Clark, 2001). Una dieta ideal proporcionaría los nutrientes requeridos por el animal sin exceso de proteína cruda, cenizas, lípidos, fibra no digerible o agua. Las concentraciones de proteína cruda en el forraje deben superar el 10 por ciento de la MS para el mantenimiento del ganado y sobre el 19 por ciento de MS para las vacas lecheras de alta producción o las poblaciones jóvenes en crecimiento. La fibra vegetal se denomina comúnmente fibra de detergente neutro o de pared celular (FDN) y es responsable de la integridad estructural de las plantas. El término FDN se deriva a partir de procedimientos analíticos convencionales (la materia seca que permanece después de hervir el detergente a un pH neutro), pero la fibra es un material heterogéneo, que normalmente comprende proporciones similares de celulosa y hemicelulosa, y una menor cantidad de lignina. La lignina puede ser descrito como el "pegamento" que contiene los componentes de fibra juntos (Waghorn y McNabb, 2003).

Los carbohidratos no estructurales (CNS) que comprenden azúcares solubles, fructanos, ácidos orgánicos o almidón (en granos), puede representar el 30 por ciento de la MS forrajera, aunque los valores son usualmente del 10 al 20 por ciento de la MS (Holmes *et al.* 2002). Los análisis químicos de forrajes generalmente miden algunos, pero no todos los componentes de CNS, por lo que CNS generalmente se calcula a partir del 100 por ciento menos los porcentajes de CP, FDN, lípidos y cenizas en la MS. La concentración de CNS en los forrajes es variable, aumentando durante las horas diurnas en respuesta a la fotosíntesis, y disminuyendo por la noche y después de la cosecha cuando se utiliza para la respiración. Los lípidos son un componente menor de los forrajes, que rara vez superan el 5 por ciento de la MS, y los presentes como ceras en el exterior de las hojas (ceras de alcanos) son en gran parte indigestibles (Dove y Mayes 1991). Los elementos minerales residen en la fracción de cenizas de la materia seca vegetal y suelen representar entre 7 a 10 por ciento de la materia seca, pero las concentraciones aumentan por la contaminación del suelo, que puede llegar a 700 kg/año ingerido por el ganado y 75 kg/año por las ovejas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área experimental

El presente estudio se realizó en la comunidad rural de Chalhuan, distrito de Sincos, provincia de Jauja, Junín. Está ubicado al oeste de la capital del distrito a 50 km, con una altitud de entre 3600 y 4400 m.s.n.m. (figura 1), y cuyas coordenadas geográficas $11^{\circ} 57' 56''$ latitud sur y $75^{\circ} 32' 59''$ longitud oeste, es una comunidad de mediano tamaño, encontrándose comunidades similares en toda la Sierra Central. El clima se caracteriza por una estación lluviosa pronunciada con una precipitación mensual promedio de 72 mm a partir de octubre a marzo y una estación seca de 22 mm de abril a septiembre de acuerdo al registro histórico de la Estación Meteorológica La Oroya, en los años 1969-2002 (Instituto Geofísico del Perú, 2005). La temperatura ambiente anual en La Oroya es de 9.1°C . Las temperaturas mínimas y máximas medias mensuales en esta región se encuentran en la época de lluvias entre 2.5°C y 17.4°C y en la época seca entre -0.3°C y 16.9°C (Instituto Geofísico del Perú, 2005).

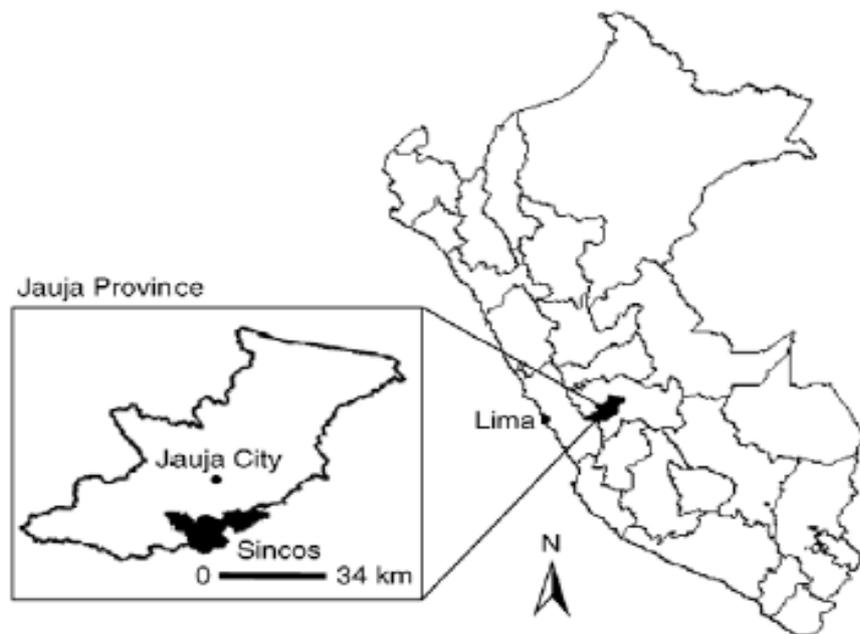


Figura 1. Localización del área de estudio.

Las áreas para el establecimiento de los lugares experimentales fueron seleccionados con el fin de satisfacer los siguientes criterios: (i) ser representativa de las condiciones donde los vacunos se alimentan sólo de pastos naturales, (ii) homogeneidad de edad y condición de los animales, (iii) una buena accesibilidad y (iv) la disponibilidad de los pequeños productores para el trabajo con sus animales.

La producción ganadera juega un papel importante en la economía de los hogares rurales en la sierra peruana (Kristjanson *et al.*, 2007). El nombre de la comunidad de Chalhuanas, proviene de la existencia en sus ríos del minúsculo pez “challhua”. Es una comunidad dedicada a la agricultura (cebada, papa, habas, etc.) y a la ganadería (principalmente vacuno, ovinos y cuyes). Cuenta con una población de 473 personas y 147 viviendas particulares (INEI, 2007). Estos pequeños productores suelen tener entre 1 a 5 vacas lecheras, siendo la genética de este ganado principalmente criollo, con diversos grados de cruce con otras razas, en especial Brown Swiss, debido a su habilidad para adaptarse a las zonas de alta montaña. También tienen ovejas criollas y de raza Junín, además de caballos y burros que usan para su transporte (INEI, 2012). Los pequeños productores de la comunidad de Chalhuanas proveen sus ingresos principalmente de la venta de leche diaria, a un acopiador que posteriormente lo transforma en derivados lácteos para la venta. También generan ingresos de la venta de animales (toretos y vacas de descarte en su mayoría), dependiendo de la edad, cambio de reproductor y/o necesidad económica. Los pastizales brindan forraje suficiente al ganado sobre todo en la época de lluvias, de diciembre a abril, siendo el principal recurso forrajero, vegetación compuesta por especies gramíneas y de otras familias botánicas, las cuales ofrecen una dieta variable nutricionalmente según la etapa de desarrollo (Canales y Tapia, 1987; Flores y Malpartida, 1987). Los pequeños productores en Chalhuanas en la época de lluvias se trasladan toda esa temporada a sus estancias, ubicado a mayor altitud, entre dos a seis kilómetros de distancia lejos de sus parcelas y casas en el pueblo principal. Cada pequeño productor tiene aproximadamente entre 20 a 30 hectáreas de pastos naturales en sus estancias (lugares), allí aprovechan los pastos naturales para la alimentación de sus animales, luego en la época seca regresan a sus casas en el pueblo, repitiéndose este ciclo anualmente.

3.2. Procedimiento experimental

El experimento se llevó a cabo a partir de febrero hasta abril del 2015, llegando hacia el final de la época lluviosa. Se seleccionaron tres lugares (estancias) con sus pastos naturales incluidos y delimitados en la comunidad de Chalhuanas, y la marcación de cinco vacas en

lactancia durante el pastoreo (en los lugares 1 y 2 se promedió solo cuatro vacas de producción, el quinto animal fue una vaquilla), siendo observados por monitoreo con sistemas de posicionamiento global (GPS, Garmin Etrex Vista HCx, Garmin International, Kansas City, MO, USA). Al mismo tiempo, se tomaron muestras de la vegetación a través de transectas con cuadrantes de 1m² para obtener los datos del pastizal con el cual se alimentaban.

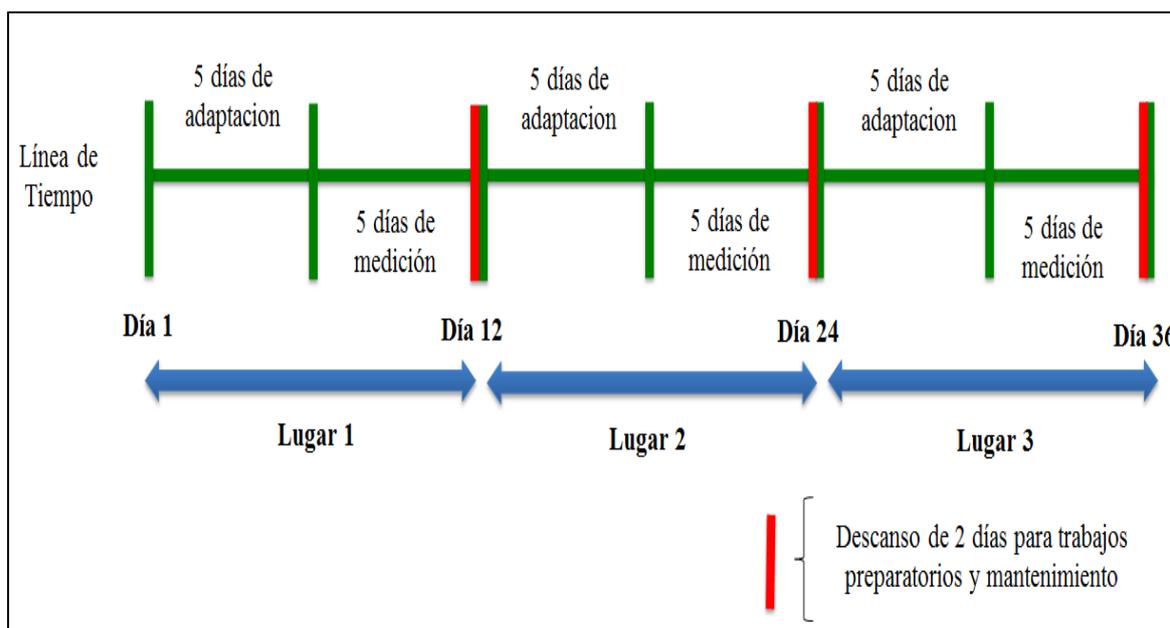


Figura 2. Representación del experimento en tres lugares (estancias)

El período del experimento fue de 10 a 12 días por lugar debido a que se realizó otro estudio en paralelo sobre la heterogeneidad espacial de la vegetación. El periodo comprende una fase de adaptación de cinco días y una fase de toma de muestras de las heces de los cinco días adicionales. Se establecieron dos días para las pausas entre los ensayos de mantenimiento del equipo técnico y prepararse para realizar el ensayo con las vacas del siguiente lugar (figura 2). Para estimar el consumo total de alimento de las vacas, se utilizó el dióxido de titanio como marcador externo.

Al comienzo del experimento, se visitó al pequeño productor en su lugar de pastoreo (estancia), se recogió información sobre la situación de la familia, los rebaños y vacas que poseía, la producción de leche y manejo de pastos por medio de una encuesta. La entrevista se llevó a cabo con el jefe de la familia, sólo o junto con su esposa (cuadro 2). Las vacas eran ordeñadas una vez al día de forma manual y se vendía la leche al acopiador que pasaba

a una hora determinada (entre las 11:00 a.m. y 2:00 p.m.). Cuando se comenzó con la prueba, se midió la cantidad de leche con una balanza digital de mano (Kern y Sohn GmbH, 5 kg de HDB, Balingen, BW, Alemania) y se registró diariamente, resaltando que el ternero pasaba la noche junto con la madre y el ordeño se realizaba en las mañanas.

Cuadro 2. Características de los pequeños productores del ensayo en el distrito de Chalhuanca en el 2015, según encuestas.

ACTIVIDADES	LUGARES		
	1	2	3
Hora de Ordeño	10 - 11:00 a.m.	9 - 10:00 a.m.	10 - 11:00 a.m.
Producción de Leche medido (kg/día)	2 - 4	1 - 5	2 - 4.5
Promedio de Producción de Leche (kg/día)	3.12 ± 0.58	3.14 ± 1.07	3.15 ± 0.68
Peso vivo de Vacas (kg/vaca)	(276 - 377)	(339 - 464)	(312 - 393)
Vacas en Producción (n)	4	4	8
Vacas Secas (n)	5	0	3
Vaquillona (n)	2	0	3
Vaquillas (n)	0	1	6
Terneros ((m) + (f)) (n)	3 + 2	2 + 2	5 + 6
Toretas (n)	0	2	4
Toros (n)	2	1	2
TOTAL DE ANIMALES	18	12	37

(m) = macho; (f) = hembra

Vaquillona es el nombre que recibe una vaca joven cuando su edad está entre los dos y tres años.

La vaquilla o novilla es el nombre que recibe una ternera cuando su edad está entre el año y medio y los dos años.

Además, se determinó el peso de los animales utilizando una cinta bovinométrica, la medición se hizo antes y después del experimento y para la lectura del peso se utilizaron cintas bovinométricas (SPAN) desarrolladas para determinar los pesos para las especies individuales y son muy precisos con cerca de dos por ciento de desviación (Inalmet S.A.S., 2013). En el cuadro 2 se observa que los períodos de pastoreo diferían entre lugares. En el lugar 1, las vacas fueron temprano en la mañana desde alrededor de 02:00 - 08:00 horas sin supervisión, y de nuevo en la tarde desde alrededor de 12:00-17:00 acompañado por un miembro de la familia en el pastoreo. En el lugar 2, las vacas se encontraban en la mañana antes del ordeño de alrededor de 06: 00 - 08: 00 y durante el día de 10:30 - 16:30 p.m., siempre bajo supervisión en el pastoreo. Las vacas del lugar 3 son alimentados por la mañana de 06:00 - 09:00 y por la tarde de 12:00-17:00 p.m., siempre bajo supervisión. Dado que los

potreros no fueron cercados, las vacas fueron controladas y observadas con el fin de evitar que se mezclen con otros rebaños en las áreas vecinas y cumplir con los límites de los pastos de la estancia. Las vacas mostraron un comportamiento de pastoreo natural sin mayor influencia por ningún factor asociado al experimento. Las cinco vacas se mantuvieron durante todo el procedimiento experimental en manadas. Durante el resto del día, por la noche y especialmente durante el ordeño de la mañana, las vacas fueron liberadas en un corral, cercado con piedras, o fueron atados con cuerdas a pie.

3.2.1. Medición del consumo de alimento

Se administró mediante vía oral diariamente a la vaca experimental el indicador externo dióxido de titanio (TiO_2) por medio de cápsulas de gelatina (25 g/animal/día), realizándose todos los días entre las 8:00 a.m. a 9:00 a.m., desde el día cero. Luego, se recolectaron las muestras de heces (aproximadamente 40 g/muestra) una vez al día desde el día seis, en el horario mencionado en la figura 3, directamente del recto durante 5 días por vaca experimental, las cuales se congelaron a -15°C hasta el final del experimento, después se mezclaron para obtener una sola muestra por cada vaca experimental.

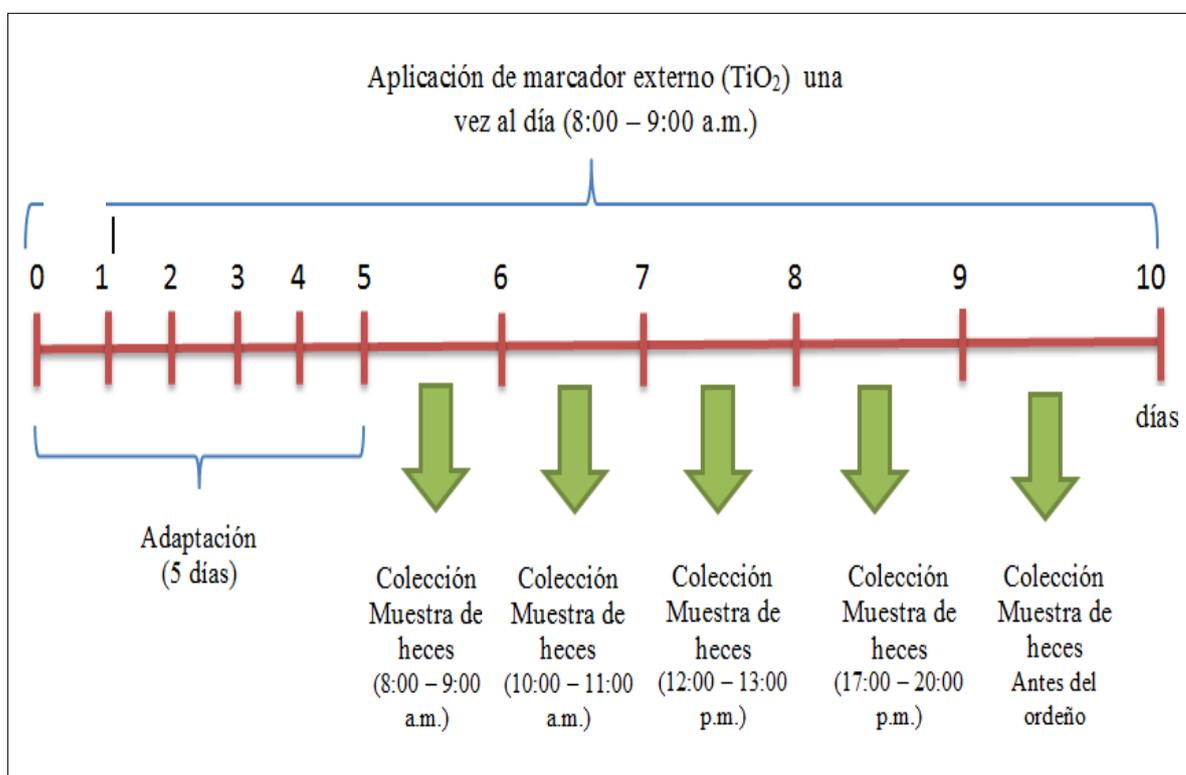


Figura 3. Esquema de aplicación del marcador externo (TiO_2).

Al final del periodo de recolección, las heces se descongelaron, se homogenizaron y se mezclaron en una sola muestra por animal (Carciofi *et al.*, 2007). Teniendo aproximadamente luego de este proceso una muestra de 400 g, lo cual es suficiente para calcular el contenido del indicador y realizar los demás análisis bromatológicos de éstas, lo que facilita en gran medida la realización de los experimentos. Posteriormente en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA) la muestra fue secada y molida parcialmente para su envío a los laboratorios del Instituto de Producción Animal en los Trópicos y Subtrópicos de la Universidad de Hohenheim (Alemania), donde realizaron el siguiente procedimiento:

- a) Todas las muestras de heces se secaron con aire durante 48 horas a 60 °C, se molieron manualmente para pasar a través de un tamiz de 1 mm, y se analizaron para TiO₂ como se describe en detalle por Brandt y Allam (1987) con modificaciones menores.
- b) En el primer paso, TiO₂ se solubilizó mediante el procedimiento de Kjeldahl durante 3 h en 0,96 g/g de ácido sulfúrico.
- c) En el segundo paso, 0.35 g de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) se añadieron a la solución de TiO₂, la cual se filtró para formar un complejo de color amarillo.
- d) En el tercer paso, la intensidad del color se mide en un espectrofotómetro (Jenway 6300) a una longitud de onda de 405 nm.

Se debe determinar la tasa de recuperación del indicador con la siguiente fórmula:

$$\text{Recuperación fecal del Indicador} = \frac{\text{Indicador excretado en heces}}{\text{Indicador consumido}}$$

Los indicadores por lo general se pueden recuperar hasta en un 98 por ciento, lo que garantiza la precisión de los resultados obtenidos (Kavanagh *et al.*, 2001; Harmon, 2007). El consumo de alimento se determinó indirectamente por la producción de heces y la digestibilidad del forraje ingerido. Para determinar la digestibilidad de la materia orgánica ingerida (dMO) y el consumo de materia orgánica (CA) diario. El CA se calculó a partir de dMO y la excreción diaria fecal de MO.

Sustancia seca fecal producida (g)

$$= \frac{\text{indicador externo consumido (g)} \times 100}{\% \text{ de indicador externo en la muestra de sustancia seca de las heces}}$$

Las muestras combinadas se dividieron en dos submuestras. A una submuestra se le realizó el procedimiento señalado anteriormente. Mientras que la otra submuestra se analizó para MS (Materia Seca), el crudo de cenizas y las concentraciones de proteína cruda (PC), cenizas brutas, y nitrógeno (N) se determinaron de acuerdo con los métodos del Comité Técnico Chino para la Estandarización de la Industria Alimentaria (2000).

El dMO se estimó a partir de PC ($N \times 6.25$) en MO de las heces de acuerdo con la ecuación de regresión no lineal (Wang *et al.*, 2009):

$$\text{dMO (\%)} = 89.9 - 64.4 \times \exp(-0.5774 \times \text{PC [g/kg fecal MO]}/100)$$

Posteriormente, el consumo de alimento de cada vaca experimental se calculó con el uso de la siguiente ecuación:

$$\text{CA [g/día]} = \text{fecal MO [g MS/día]} / (100 - \text{dMO (\%)})$$

El consumo de materia orgánica digestible (CA) y energía metabolizable (EM) se calculó multiplicando por concentraciones de CA, energía metabolizable (EM) de la dieta o dMO, respectivamente. Este último se estimó a partir del dMO según la fórmula derivada por Aiple (comunicación personal) en la base de datos (Aiple *et al.*, 1992).

$$\text{EM [MJ/kg MO]} = -0.9 + 0.170 \times \text{dMO (\%)}$$

Para llevar la conversión de MO a MS se realizó tomando en cuenta el porcentaje de ceniza, para obtener la EM (MJ/kg MS). El conocimiento del valor nutritivo de los alimentos es fundamental para la nutrición animal, no siendo suficiente con los análisis químicos, hay que considerar los efectos de los procesos de digestión, absorción y metabolismo animal (Bondi, 1989).

3.2.2. Medición del comportamiento ingestivo del animal

Los dispositivos GPS fueron marcados con un color específico y asignados a cada vaca por lugar, durante el experimento (10 días). Los GPS permanecieron en las vacas durante el día y la noche, y fueron revisadas todas las mañanas antes de ser liberados al pastoreo para

asegurar que todos los dispositivos estén funcionando, para guardar los datos diariamente (desde el primer día) y cambiar los paquetes de baterías (todas las mañanas durante el ordeño). Para proteger los dispositivos de la lluvia se embolsó en una bolsa de plástico con cierre doble y una bolsa a prueba de agua. Debido al mal funcionamiento de las baterías y demás fallas, no se tuvo una medición de todos los días pero si del 70-90 por ciento de los datos según se muestra en el cuadro 3.

El comportamiento de las vacas lecheras durante el pastoreo, es decir la distribución espacial de las diferentes actividades de comportamiento y las distancias a pie se registró usando estos dispositivos. Adicionalmente, los dispositivos GPS permitieron distinguir entre periodos de descanso y desplazamiento en la zona de pastoreo, siendo también realizado por De Weerd *et al.*, (2015) quien observó cuatro tipos de comportamiento (pastoreo, descanso, parada y caminata), usando datos de GPS para su medición, basados en distancias y ángulos de giro entre arreglos. La estimación de las actividades de los animales basados en los datos de GPS fue principalmente determinado por la velocidad de movimiento de un animal. Para esto se definieron los umbrales de velocidad apropiados. En este trabajo, los umbrales fueron: >18 m/s el animal caminaba, <18 m/s y > 2 m/s el animal estaba pastando/comiendo, y <2 m/s el animal estaba descansando (no durmiendo). Estos umbrales se establecieron con ayuda de las observaciones visuales para verificar su validez. A partir de los datos del GPS, la distancia desplazada por el animal cada 15 segundos se calculó y se almacenó. Cada minuto fue asignado a una actividad.

La suma de todas las actividades determinó el tiempo total de pastoreo, caminata y descanso. La distancia total recorrida se estimó a partir de la suma de los metros de distancia desplazados por el animal desde el inicio de las mediciones hasta el final. Esto debido a que el uso del Rumiwatch (cabestro con sensor) en el experimento no prosperó, esto probablemente al principio de este equipo, que se basa en la presión ejercida por el aceite dentro del tubo, las diferencias extremas en presión encontradas en altitudes elevadas (en comparación con las condiciones en las que se desarrolló el Rumiwatch) podrían haber evitado el sensor de presión para registrar cualquier cambio de presión (Castro-Montoya, J., comunicación personal, 15 de Mayo, 2018).

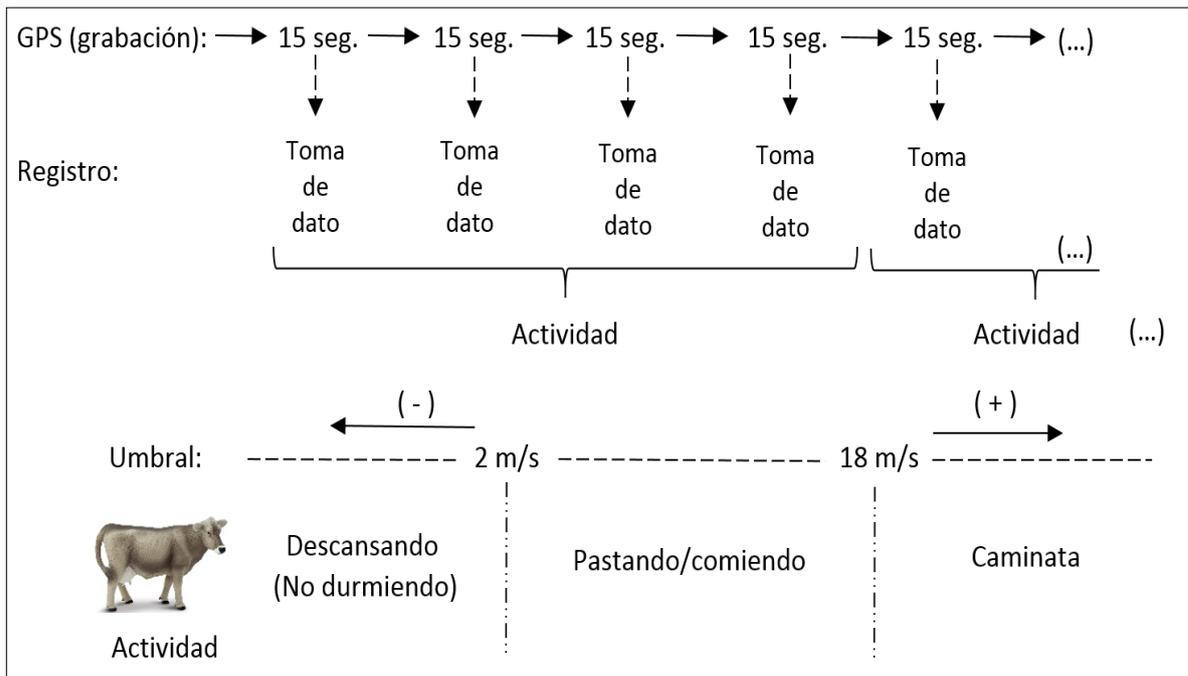


Figura 4. Esquematación de la toma de datos con el GPS y los umbrales para el análisis de datos.

Cuadro 3. Días de observación registrados y evaluados (n) de los dispositivos de posicionamiento global de los animales individuales de tres lugares en la comunidad de Chalhuan, 2015.

		Lugares		
		1	2	3
Días grabados		n	n	n
Vaca	1	10	7	9
	2	11	7	9
	3	9	7	8
	4	9	7	8
	5	11	7	9
Media		10	7	9

3.2.3. Biomasa, disponibilidad forrajera y análisis químico

La biomasa de la pastura (Hodgson, 1979; Korte *et al.* 1987) se refiere a la cantidad de plantas de la asociación que están por encima del suelo, incluyendo la pastura viva y muerta, expresada como kg MS/ha en cualquier época. El crecimiento se reduce cuando el área foliar es insuficiente para interceptar con eficiencia la luz incidente. El crecimiento y el forraje

residual después del pastoreo contribuyen a la acumulación de forraje disponible al inicio del período de pastoreo. El muestreo de vegetación de pastizales para determinar la composición florística por medio de "Transectas a Pasos" (Parker, 1951), mediante el anillo censador permite obtener información cuantitativa a la vez que cubre una extensa zona en el muestreo, a través del Método de Parker.

La disponibilidad forrajera es una medida de la cantidad de forraje por unidad de área en un momento dado y es expresado en kg MS/ha. El forraje disponible se midió cortando al ras del suelo la masa vegetal, separando el material muerto y partículas de suelo, para secar y pesar la cantidad actual de forraje (A.S.R.M., 1962) en el interior de 1 m².

Para el muestreo de vegetación se realizaron las siguientes actividades:

1. Al comienzo se visitó todo el pasto natural de la estancia o lugares registrando los límites con el GPS.
2. A continuación, con un marco a la medida, que le da la mejor precisión, fue utilizado para el muestreo de aproximadamente 30 puntos de muestreo por lugar en cada experimento.
3. El tamaño del sitio de los pastos fue evaluado y la red virtual se colocó a través de las áreas de pastoreo, determinando las transectas con puntos específicos mediante el GPS (Orientación sobre la elección de un muestreo, Diseño Ambiental Recolección de Datos del 2002).
4. En el centro del cuadrante se tomó el punto GPS y se colocó un nombre.
5. A partir de entonces, para obtener la biomasa se procedió a cortar todo el material verde que había dentro del cuadrante de 1 m², donde se recogió en alrededor de 1 cm por encima de la superficie del suelo y se pesó con una balanza digital. Toda la biomasa de cada cuadrante fue mezclada en un recipiente y pesada; luego de esto se seleccionó una submuestra (10 - 20 por ciento del total del peso en fresco). Los valores correspondientes se registraron en el papel y la bolsa de muestra. La submuestra se embolsó en una bolsa de papel etiquetada para su secado y fue observado continuamente para conservar su estado y posteriormente analizar su valor nutritivo en laboratorio.
6. Las submuestras de plantas obtenidas de la actividad anterior primero fueron presecados al aire en el lugar del experimento y luego se secó a 40 °C en una

cámara de secado hasta peso constante. Luego se hizo el análisis de su composición química y contenido nutricional en laboratorio.

En el anexo 7 y 8 se muestra el mapa de elevación y mapa de pendiente, respectivamente; se aprecia los puntos de muestreo (■), los pastizales y establos (líneas) registrados con los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) y tierra cultivable (lugar 3, marrón). Las áreas de pastoreo están dispuestas tal como están en el campo.

Las submuestras obtenidas fueron terminadas de secar en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA), fueron molidas y remitidas a los laboratorios del Instituto de Producción Animal en los Trópicos y Subtrópicos de la Universidad de Hohenheim (Alemania). El análisis de la fibra fueron determinados según el método de Van Soest *et al.*, (1991): Materia seca, ceniza bruta, nitrógeno, proteína bruta, FDN y FDA. Las muestras fueron sometidas a 60 ° C durante 48 horas en un aglutinante (horno WTB, Tipo F720, Tuttlingen, BW, Alemania) secado para garantizar el almacenamiento sin problemas de las muestras. Primero cada planta se reducía a un tamaño de 1 mm con un molino cortador (Retsch tipo SM1, Haan, NW, Alemania) seguido de una tecnología de laboratorio con un pequeño molino de campo micro-martillo (Culatti, tipo de MFC, Zurich, Suiza) llenándolos en bandejas y botellas etiquetadas.

3.3. Análisis estadístico

El análisis de datos se llevó a cabo con el software MINITAB 17 (Minitab Ltd., Brandon Court, Coventry, UK), con el que se hallaron los resultados sobre la base de promedios, desviación estándar y coeficientes de variación; dicha información servirá para identificar el consumo de alimento, comportamiento alimenticio y datos de la vegetación. Se calcularon los datos de los lugares de pastoreo (1, 2 y 3) sobre la base de las vacas en cada área. Para los parámetros de reposo, comer y caminar (h/día) y las distancias recorridas (km/día), también se calculó la media aritmética y la desviación estándar con los promedios de todos los días evaluables (cuadro 3). Los coeficientes de correlación de Pearson se calcularon utilizando el procedimiento PROC CORR del software estadístico SAS 9.4 (Statistical Analysis System, Cary NC, USA), realizando las correlaciones de todas las variables evaluadas, con énfasis entre la producción de leche, el consumo y comportamiento alimenticio, esto debido a la falta de datos locales.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Consumo de alimento

En el cuadro 4 se muestra un resumen de los valores promedio, desviación estándar y coeficientes de variación para la variable consumo de alimento.

Cuadro 4. Consumo de alimento en vacas al pastoreo.

Variable	Valor	Valor Mínimo	Valor Máximo
Consumo de alimento (kg MS/vaca/día)	8.25 ± 1.56 18.91%	4.18	10.23
Consumo (% de Peso Vivo)	2.29 ± 0.44 18.98%	1.25	2.90

Los valores son promedios de 15 vacas más la desviación estándar, los coeficientes de variación se muestran en porcentaje.

En promedio, los animales consumen 8.25 kg MS/vaca/día, valor promedio debajo de lo obtenido por Cruz (2008) que en la misma época de lluvias encontró un consumo de alimento de 10.1 kg MS/vaca/día en condiciones de pastizales naturales, encontrándose estos niveles de consumo en los rangos reportados para rumiantes al pastoreo (Lyons *et al.*, 2002). El consumo promedio obtenido en este estudio equivale a 2.29 por ciento del peso vivo promedio, valor por debajo a lo obtenido por Cruz (2008), que es de 2.5 por ciento en condiciones similares, siendo éstos porcentajes superiores a lo encontrado en praderas cultivadas en secano utilizando la metodología de colección total de heces, donde se encuentra niveles de consumo promedio de 1.93 por ciento (Flores *et al.*, 2006). Esto puede deberse probablemente a la naturaleza selectiva del ganado al pastoreo, las variaciones en la estructura del pasto determinado por las especies de las plantas y el estado de madurez de las mismas antes del pastoreo afectando la conducta ingestiva del ganado (Chacón y Stobbs, 1976). Según los coeficientes de correlación lineal de Pearson (cuadro 8), esta variable se

relaciona negativamente con el tiempo de descanso y sorprendentemente con la producción de leche, lo cual se deduce de la observación de que a mayor tiempo de pastoreo, disminuye el tiempo de descanso en un día. La correlación negativa con la producción de leche es muy baja (-0.07), así que no es importante. En cambio, hay una correlación positiva con el tiempo de caminata y pastoreo, distancia recorrida, y pesos iniciales y finales.

Para el peso inicial ingresaron al experimento con un peso inicial de 352.27 kg y al final del estudio obtuvieron un peso de 362.27 kg, hallando una variación de 10 kg en sólo 12 días durante el experimento. Además la producción de leche de las vacas en el lugar de estudio obtuvo en promedio 3.14 kg/vaca/día (cuadro 5).

Cuadro 5. Peso de los animales y la producción de leche de las vacas al pastoreo.

Variable	Valor	Valor Mínimo	Valor Máximo
Peso Inicial (kg)	352.27 ± 47.27 13.42%	276	464
Peso final (kg)	362.27 ± 49.60 13.69%	297	471
Producción de leche (kg/vaca/día)	3.14 ± 0.62 19.82%	1.53	4.04

Los valores son promedios de 13 vacas más la desviación estándar, los coeficientes de variación se muestran en porcentaje.

La energía metabolizable mostró en promedio un valor de 8.87 MJ EM/kg MS en los lugares de estudio (cuadro 6). El valor de energía metablozable obtenido es similar si aplicáramos la ecuación $EM = 0.16 \times DIVMO$ (Maff, 1975: en Geenty y Rattray, 1987). El valor encontrado en el presente estudio es superior a lo obtenido por Cruz (2008) de 7.4 MJ EM/kg MS, en época lluviosa bajo condiciones similares y cercano a lo obtenido por León *et al.* (2012) de 8.0 MJ EM/kg MS, estando el valor promedio obtenido en este experimento cercano a los mínimos requeridos para llevar adelante una producción lechera óptima 10 a 12 MJ EM/kg MS (Geenty y Rattray, 1987). Asimismo, Verdecia (2008) menciona que la energía metabolizable de los pastos con valores superiores a 8.37 MJ EM/kg MS se consideran de buena calidad. Este valor obtenido en el estudio se puede deber a un menor contenido de fibra en los pastos en épocas lluviosas, ya que se considera que existe un decrecimiento de la energía metabolizable con la edad del forraje, debido a transformaciones químicas y bioquímicas en los componentes de las plantas como la disminución de los

niveles de carbohidratos solubles de las proteínas digestibles y de la digestibilidad de la materia seca.

Cuadro 6. Energía metabolizable del pastizal que consumen las vacas.

Variable	Valor	Valor Mínimo	Valor Máximo
dMO (%)	57.46 ± 1.36 2.36%	55.45	60.24
EM (MJ/kg MS)	8.87 ± 0.23 2.60%	8.53	9.34

Los valores son promedios de 13 vacas más la desviación estándar, los coeficientes de variación se muestran en porcentaje.

EM Energía Metabolizable, dMO Digestibilidad de la materia orgánica.

Adicionalmente se puede mencionar que el valor energético de los forrajes depende de la digestibilidad de la materia orgánica, la cual está estrechamente vinculada con la composición de la planta porque la pared celular aumenta al envejecer la planta, disminuyendo la digestibilidad tanto de la materia seca como orgánica, resultando en una disminución de la energía.

Según los coeficientes de correlación lineal de Pearson (cuadro 8), esta variable se relaciona negativamente con el tiempo de descanso, pesos iniciales y finales y sorprendentemente de la producción de leche. La correlación negativa con la producción de leche es muy baja (-0.13), así que no es relevante, en cambio hay una correlación positiva con el tiempo de caminata, distancia recorrida, y la digestibilidad de la materia orgánica. La digestibilidad de la materia orgánica ingerida por las vacas mostró en promedio un valor de 57.46 por ciento (cuadro 6), siendo este valor superior a lo obtenido por Cruz (2008) de 46.5 por ciento, en época lluviosa bajo condiciones similares. Estos valores en el experimento muestran que la calidad del pasto es bueno ya que de acuerdo a la caracterización de la dMO (%) desarrollada por Urness y Mc Culloch (1973), quienes desarrollaron categorías generales para rangos de valores de dMO, siendo estas categorías: excelente (>50%), buena (40-50%), regular (30-40%) y pobre (<30%), encontrando que para el presente estudio se encuentra en la categoría excelente. Diversos estudios realizados sobre el efecto de la digestibilidad en el consumo de

alimento, señalan que el consumo aumenta cuando aumenta la digestibilidad ($r^2=0.66$) y que la digestibilidad de los pastos tropicales es más baja que la de los pastos de la zona templada (Turrisa, 1970). Según los coeficientes de correlación lineal de Pearson (cuadro 8), esta variable se relaciona negativamente con el tiempo de descanso, pesos iniciales y finales y sorprendentemente de la producción de leche. La correlación negativa con la producción de leche es muy baja (-0.13), así que no es relevante. En cambio, hay una correlación positiva con el tiempo de caminata, distancia recorrida, y la energía metabolizable. En esta última se muestra un valor de 1, ya que en este estudio se halló la energía metabolizable a partir de la DMO según las ecuaciones de Apple *et al.*, (2004).

4.2. Comportamiento ingestivo

En el cuadro 7 se muestra un resumen de los valores promedio, desviación estándar y coeficientes de variación para las actividades en base al comportamiento de las vacas al pastoreo.

4.2.1. Distancia recorrida

Según el cuadro 7 las distancias recorridas por las vacas en los tres lugares, mostrando en promedio un valor de 6.94 km/día, siendo superior a lo obtenido por Ruiz (2001) que caminaron en promedio 2.5 km/día. Para Hafez y Saad (1973), la distancia que cubre un animal cuando está pastando varía según el clima, topografía, especie y raza animal, siendo por lo general que los borregos recorren distancias más largas que el ganado vacuno.

Johnstone y Wallace (1944 - 45) citados por Abreu (2000), encontraron que la distancia recorrida en 24 horas fue más o menos de 4 kilómetros, siendo el 80% del desplazamiento durante el día. Según los coeficientes de correlación lineal de Pearson (cuadro 8), esta variable se relaciona negativamente con las horas que la vaca está en descanso y positivamente con las horas que se encuentra caminando o comiendo en los lugares de estudio.

Cuadro 7. Comportamiento ingestivo de las vacas al pastoreo.

Variable	Valor	Valor Mínimo	Valor Máximo	Porcentaje
Distancia recorrida, km/día	6.94 ± 1.02 (14.67%)	5.11	5.88	-
Descanso, h/día	12.24 ± 1.48 (12.06%)	9.97	14.93	50.98
Pastoreo, h/día	9.82 ± 1.19 (12.10%)	7.79	11.71	40.90
Caminata, h/día	1.95 ± 0.34 (17.56%)	1.28	2.6	8.12

Los valores son promedios de 5 vacas más/menos la desviación estándar, los coeficientes de variación se muestran entre paréntesis.

Asimismo, a mayor distancia recorrida (6.9 km/día en promedio), existe un grado de correlación positivo bajo con el consumo de materia orgánica (8.23 kg MS/día en promedio) pero si existe una correlación altamente positiva con la energía metabolizable (8.87 MJ/kg MS en promedio) y la digestibilidad de la materia orgánica ingerida (57.5 por ciento en promedio), a su vez una correlación baja con el peso inicial (352.3 kg en promedio) y final (362.3 kg en promedio) y también con la producción de leche (3.14 kg/vaca/día), ya que la vaca cuanto más camina sin comer, gasta energía en esta actividad que se podría utilizar en las otras actividades que encaminen a una mayor producción de leche, asimismo la distancia recorrida puede aumentar debido a la calidad o abundancia del pasto, si es mala o menos abundante deben pasar más tiempo buscando, como se muestra más adelante, la disponibilidad forrajera es mayor en el lugar 3, lo cual hace que las vacas caminen menos buscando comida e incrementen su producción de leche.

4.2.2. Descanso

Entre los lugares para esta actividad (cuadro 7), se observa que las vacas en promedio destinan 12.24 horas al día (50.98 por ciento) al descanso, mayor valor que el obtenido por Bignoli (1971) de 9 horas por día, Cruz (2008) de 5.9 horas por día en pastizales, y aún mucho mayor que el obtenido por Ruiz (2001) de 5.43 horas por día en condiciones de sierra peruana (4350 m.s.n.m). Una razón podría ser que a mayor altitud como Chalhuanas, las vacas permanecen mayor tiempo en descanso para ahorrar energía y aprovecharlo para protegerse del frío o usarlo indirectamente en otras actividades, corroborando el patrón sugerido por

Ruiz (2001) quien plantea que la vaca a mayores temperaturas, dedica mayor tiempo al descanso, afectando este patrón influye directamente en la producción de leche (Betancour *et al.*, 2003). Las diferencias en las horas de descanso también se pueden deber a la metodología empleada, en el caso de Bignoli (1971) y Ruiz (2001) usan el método de observación y simulación manual respectivamente, en este experimento se usa el GPS como instrumento para esta medición.

Según los coeficientes de correlación lineal de Pearson (cuadro 8), esta variable se relaciona negativamente con la distancia recorrida por la vaca y negativamente con las horas que se encuentra caminando o comiendo en las estancias o lugares. Asimismo, a mayor periodo de descanso, existe un grado de correlación negativo bajo con el consumo de materia orgánica, energía metabolizable y la digestibilidad de la materia orgánica ingerida, a su vez una correlación positiva baja con el peso inicial y final y también con la producción de leche, ya que la vaca cuanto más descansa ahorra energía, permitiéndole ganar peso y producir más leche.

4.2.3. Pastoreo

Las vacas invierten en promedio 9.82 h/día para pastoreo, valor inferior a lo observado en praderas cultivadas de rye grass trébol, 10.5 h/día, (Ruiz ,2001), pero superior que lo observado en pastizales a 4350 m.s.n.m., 8.5 h/día, (Cruz, 2008). Sin embargo, estos valores se encuentran dentro del rango de 7 a 11 h/día reportado por Hodgson (1982). Así mismo, Di Marco y Aello (2002) afirman que el tiempo de pastoreo diario de un vacuno, varía entre 6 a 10 horas diarias.

Este comportamiento del pastoreo de los animales se debería probablemente a las condiciones de bienestar animal causado por la temperatura, humedad relativa y radiación solar, que afectan la conducta ingestiva, el mantenimiento de la temperatura corporal y la ingesta de forraje. Los animales concentran las actividades de pastoreo en las horas más frescas y la de rumia en las horas más calurosas (Suárez, 2011). En condiciones alto andinas las vacas dedican más tiempo del día a pastorear que en condiciones de trópico; 42.5 % (Ruiz, 2001) y 33.3% (Cruz, 2008) para condiciones de sierra versus 24.7 % Nuñez (2014) para condiciones de trópico. Estas diferencias probablemente estén asociadas a las características de las pastura y a las condiciones ambientales diferentes, ya que el trópico se

caracteriza por altas temperaturas y en combinación con radiaciones mayores aumentan la carga calórica sobre el animal pastoreando, lo que condiciona el pastoreo durante las primeras horas de la mañana y últimas horas de la tarde y en la noche. Asimismo, la pendiente del terreno pudo haber influido en las horas de pastoreo, al igual que horas de caminata.

Según los coeficientes de correlación lineal de Pearson (cuadro 8), esta variable se relaciona negativamente con el tiempo de descanso y los pesos iniciales y finales, lo cual se deduce de la observación de que a mayor tiempo de pastoreo, disminuye el tiempo de descanso en un día y hace uso de los recursos energéticos perdiendo peso. Luego, se observa que se correlaciona positivamente con las demás variables, resaltando su relación con el consumo y la producción de leche ya que a mayor consumo de materia orgánica, esta se traduce en una mayor producción de leche gracias a la correlación positiva con la digestibilidad de la materia orgánica.

4.2.4. Caminata

Según el cuadro 7, el promedio de caminata fue 1.95 h/día (8.12%), superior a lo observado en praderas cultivadas de rye grass trébol, 0.4 h/día, (Ruiz, 2001), pero menor que lo observado en pastizales a 4350 m.s.n.m., 2.6 h/día, (Cruz, 2008). Los animales pudieron desplazarse menos tiempo probablemente a la mayor disponibilidad de forraje en época lluviosa. La diferencia con lo observado por Ruiz (2001) probablemente se haya debido que al pastorear en pastos cultivados en áreas más pequeñas hayan tenido disponibilidad de alimento de buena calidad, no necesitando desplazarse distancias mayores para encontrar sus alimentos. En el área de estudio las vacas se alimentaron con pastos naturales, y cerca de la mitad del área presentó una pendiente que se encontraba entre 15 a 25 por ciento dificultando la caminata (Anexo 8).

La caminata se relaciona negativamente con el tiempo de descanso, producción de leche y los pesos iniciales y finales, lo cual se deduce de la observación de que a mayor tiempo de caminata, disminuye el tiempo de descanso en un día y hace uso de los recursos energéticos perdiendo peso, lo cual también se relaciona indirectamente con una menor producción de leche (cuadro 8).

Cuadro 8. Coeficientes de la correlación lineal de Pearson entre las diferentes variables evaluadas en el experimento realizado en Chalhuanas, en época lluviosa.

	C (h/día)	P (h/día)	D (h/día)	DR (km/día)	CMO (g/día)	EM (MJ/kg MS)	dMO (%)	PI (g)	PF (g)	PL (kg/vaca/día)
C (h/día)										
P (h/día)	0.79**									
D (h/día)	-0.88**	-0.99**								
DR (km/día)	0.86**	0.74**	-0.79**							
CMO (g/día)	0.25	0.09	-0.13	0.03						
EM (MJ/kg MS)	0.58*	0.41	-0.47	0.69**	-0.01					
dMO (%)	0.58*	0.41	-0.47	0.69**	-0.01	1.00**				
PI (g)	-0.06	-0.29	0.25	-0.08	0.31	-0.39	-0.39			
PF (g)	-0.06	-0.29	0.25	-0.05	0.40	-0.37	-0.37	0.96**		
PL (kg/vaca/día)	-0.27	-0.28	0.29	-0.33	-0.07	-0.13	-0.13	0.22	0.17	

Nivel de significación de Pearson: * (0.01 < p < 0.05); ** (0.001 < p < 0.01)

C: Caminata (h/día), P: Pastoreo (h/día), D: Descanso (h/día), DR: Distancia recorrida (km/día), CA :Consumo de Alimento (kg MS/día), EM: Energía Metabolizable (MJ/kg MS), dMO: Digestibilidad de la materia orgánica ingerida (%), PI: Peso Inicial (kg), PF: Peso Final (kg), PL: Producción de leche (kg/vaca/día)

4.3. Composición química del pastizal

El cuadro 9 muestra un resumen de los valores promedio, desviación estándar y coeficientes de variación de las variables relacionadas a la composición química de las unidades experimentales en los tres lugares.

4.3.1. Fibra detergente neutra

El contenido de FDN presente en los pastos en los tres lugares mostró en promedio 66.47 por ciento, valor similar a lo encontrado por Cruz (2008) de 67.3 por ciento en época lluviosa en condiciones similares. Estos resultados guardan relación a lo reportado por Fierro (1985) que reporta un promedio de 68.9 por ciento en promedio, Cáceres *et al.*, (1996) con 70.1 por ciento de FDN, y Flores *et al.*, (2005) con 65.4 por ciento en dietas de vacas al pastoreo en pastos naturales lo cual demuestra una correlación inversa con los contenidos de proteína. Además Agnusdei *et al.*, (2011) menciona que una pastura de Festuca alta en estado vegetativo alcanza valores de fibra detergente neutro (FDN) de 50%.

4.3.2. Fibra detergente ácida

El contenido de FDA presente en los pastos en los tres lugares tiene un valor promedio de 33.25 por ciento (cuadro 9). Este valor es importante porque mientras menor contenido de FDA de los pastos, mayor digestibilidad de la materia orgánica y la energía metabolizable. Como menciona Christensen *et al.*, (2015) el FDA es uno de los principales indicadores de calidad e influencia del forraje consumo, producción de leche, salud animal y el costo de alimentación.

4.3.3. Proteína cruda

La concentración de proteína cruda en los pastos en los tres lugares mostró un valor promedio de 8.09 por ciento (cuadro 9), valor inferior a lo obtenido por Cruz (2008) de 10.3 por ciento en época lluviosa bajo condiciones similares, sin embargo es inferior a lo encontrado por Fierro (1985), donde el contenido de proteína fue 11.5 por ciento en época de lluvias y Cáceres *et al.*, (1996) que reporta un contenido promedio de proteína de 10.3 por ciento en época de lluvias en pastizales en las Sierras del Sur. Sin embargo, estos valores están acorde a Milford y Minson (1966), quienes mencionan que contenidos

menores al 7 por ciento de proteína en los forrajes tienen como consecuencia una reducción en el consumo de los mismos.

Cuadro 9. Composición química y valor nutricional del pastizal.

Variable	Valor	Valor Mínimo	Valor Máximo
FDN (%)	66.47 ± 4.20 (6.32%)	51.56	76.68
FDA (%)	33.25 ± 3.63 (10.91%)	22.44	40.32
Proteína cruda (%)	8.10 ± 2.15 (26.59%)	4.68	19.19
Biomasa (kg MS/ha)	463.12 ± 105.36 (22.75%)	216.34	857.18
Disponibilidad forrajera (kg MS/ha)	310.65 ± 100.85 (32.47%)	108.00	527.00

Los valores son promedios de 5 vacas más/menos la desviación estándar, los coeficientes de variación se muestran entre paréntesis.

FDN: Fibra Detergente Neutra, FDA: Fibra Detergente Ácida, MS: Materia seca.

Este comportamiento se debe que al inicio de las lluvias existen mayor cantidad de rebrotes de hojas y tallos suaves y palatables, mientras que la época lluviosa se encontraron estructuras más gruesas y lignificadas debido a la floración y maduración del forraje relacionado al crecimiento acelerado del forraje y rotación lenta de los animales.

Según la tabla de requerimientos nutricionales del NRC (2001) el requerimiento mínimo de proteína es de 6 por ciento para vacas preñadas con peso de 350 a 650 kg, posterior al parto este requerimiento se incrementa a 9 a 11 por ciento, dependiendo del nivel de producción láctea, revelando que para el presente estudio contiene apenas la cantidad para mantenimiento, no siendo suficiente para sostener una adecuada reproducción y producción de leche eficiente.

4.3.4. Biomasa

La biomasa vegetal entre los tres lugares tuvo un valor promedio de 463.12 kg MS/ha (cuadro 9). La biomasa varió entre 216.34 kg de MS/ha y 857.18 kg de MS/ha. Todas las áreas de pastoreo de los tres lugares se encontraban entre 3835 y 4025 m.s.n.m., y tenía gradientes entre 0 - 50%. Estos resultados no cumplen con la biomasa de la planta por encima del suelo en la región, ya que es una medición de una sola vez durante el período del ensayo en el pastizal. De acuerdo con Bartl et al. (2009) varía la producción de biomasa por encima de la tierra en pastos naturales en varias comunidades en la sierra peruana en la estación seca o húmeda varía entre 135 a 1935 kg MS/ha. Además esta producción de biomasa es comparable a la tierra de la pradera de hierba en el norte de China con 500 - 1000 kg MS/ha, con el pastoreo de montaña en el norte de China con hasta 1479 kg TM/ha (Jin et al., 2014) o con un prado mediterráneo con aproximadamente 2190 kg de MS/ha (Smit et al., 2008).

4.3.5. Disponibilidad forrajera

La disponibilidad forrajera de los pastos mostró un valor promedio de 207.10 kg MS/ha (cuadro 9). Para Hodgson *et al.*, (1994), la disponibilidad de forraje es uno de los factores más importantes de la pastura que afecta el consumo de los animales al pastoreo; considerando que es un componente que puede ser modificado mediante el manejo de pastoreo al determinar carga animal y productividad, y se debe de tomar en cuenta para evaluar estrategias de manejo de la pradera. El nivel de forraje disponible determina si el nivel de ingestión deseado para un nivel determinado de asignación de pasto puede ser alcanzado con exactitud. Esto debido a que el potencial de selección de una dieta de calidad depende en gran medida del forraje disponible (Flores *et al.*, 2005). La composición florística fue en el lugar 1 (*Festuca dolichophylla* – *Muhlenbergia fastigiata*), lugar 2 (*Festuca dolichophylla* – *Alchemilla pinnata*) y en el lugar 3 (*Festuca dolichophylla* - *Calamagrostis vicunarum*). La baja disponibilidad forrajera presentada y la composición predominante de *Festuca dolichophylla* en los lugares estudiados se puede deber a la altitud en que se encontraban (Anexo 7) y la pendiente en que se encontraban estos terrenos en el área estudiada (Anexo 8).

V. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones de este estudio se concluye lo siguiente:

1. El consumo de alimento promedio fue 8.25 kg MS/vaca/día, lo cual representa en promedio al 2.34 por ciento del peso vivo, encontrándose la producción de leche en 3.14 kg/vaca/día en promedio.
2. Las vacas al pastoreo pasaron menos tiempo del día comiendo (9.8 h/día) y caminando (1.9 h/día, 6.9 km/día) y mayor tiempo en descanso (12.3 h/día). Este comportamiento ingestivo se debe probablemente a una mayor digestibilidad de la materia orgánica, mayor disponibilidad de forraje y un menor contenido de fibra (FDA y FDN).
3. La composición química de los pastos presentó valores promedio de proteína cruda (8.21 por ciento), el contenido de fibras (FDN, 66.33 por ciento y FDA, 33.35 por ciento). Se presenta una biomasa en promedio de 463.12 kg MS/ha y disponibilidad forrajera de 310.65 kg MS/ha.

VI. RECOMENDACIONES

1. Introducir pastos mejorados con mejor valor nutritivo reduciendo de esa forma pérdidas por distancias recorridas excesivas.
2. Incorporar la rotación de animales mediante la delimitación de los pastizales para mejorar su condición.
3. Evaluar el efecto de la suplementación típica de la zona con el comportamiento de las vacas lecheras en diferentes grupos de edad.
4. Establecer el tiempo de rumia y número de bocados con el fin de establecer un balance energético y un plan alimentario en la zona.
5. Establecer modelos predictivos que permitan una mejor sostenibilidad de la producción ganadera en la zona.
6. Realizar la validación de los datos GPS mediante la observación de los animales.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M.L. 2000. Forrajes y su relación con la alimentación y comportamiento animal. C.I. El Triunfo. Balancan – Tabasco, México. www.altavista.com/comportamientoanimal/vacaslecheras.

AGNUSDEI, M.G., DI MARCO, O.N., & INSÚA, J. 2011. Calidad nutritiva de Festuca alta. *Visión rural*, 18(89).

AIPLE, K.P., STEINGASS, H., AND MENKE, K.H. 1992. Suitability of a fecal buffered suspension as the inoculum in the Hohenheim Gas Test. 1. Modification of the method and Its Ability in the prediction of organic-matter digestibility and metabolizable energy content of ruminant feeds rumen fluid as Compared With inoculum. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. pp. 67:57 - 66.

ALLEN, M.S. 2000. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 83: 83:1598-1624.

APPLE, J.K., MAXWELL, C.V., BROWN, D.C., FRIESEN, K.G., MUSSER, R.E., JOHNSON, Z.B., AND ARMSTRONG, T.A. 2004. Effects of dietary lysine and energy density on performance and carcass characteristics of finishing pigs fed ractopamine. *Journal of Animal Science*. 82: 3277–3287.

ARIAS, J. 2000. La situación ganadera en el Perú. En agro enfoque: revista para el desarrollo agropecuario, agroindustrial y agro exportación. Año XV, edición, 111 Febrero –2000. Lima- Perú.

ASRM (AMERICAN SOCIETY OF RANGE MANAGEMENT AND AGRICULTURE BOARD). 1962. Basic Problems and Techniques in Range Research. Report of a Joint

Committee of the American Society of Range management and Agriculture Board. Pub. N°. 890. Washington D.C. p. 45-81.

BAILEY, D.W., GROSS, J.E., LACA, E.A., RITTENHOUSE, L.R., COUGHENOUR, M.E., SWIFT, D., SIMS, P.L. 1996. Mechanism that result in large herbivore grazing distribution patterns. *Journal of Range Management*. 49 (5): 386-40.

BARBOSA, E.G., PIVELLO, V.R., MEIRELLES, S.T. 2008. Allelopathic evidence in *Brachiaria decumbens* and its potential to invade the brazilian Cerrados. *Braz. Arch. biol. technol.*, 51 (4): 825-831.

BARTL, K., GAMARRA, J., GÓMEZ, C.A., WETTSTEIN, H.R., KREUZER, M., HESS, H.D. 2009. Agronomic performance and nutritive value of common and alternative grass and leg-ume species in the Peruvian highlands. *Grass Forage Sci*. 64 (2), 109-121.

BASARAB, J.A., PRICE, M.A., AALHUS, J.L. 2003. Residual feed intake and body composition in young cattle. *Canadian Journal of Animal Science*, v.83, n.2, p.189-204, 2003.

BAUMONT, R., COHEN-SALMON, D., PRACHE, S., SAUVANT, D. 2004. A mechanistic model of intake and grazing behavior in sheep integrating sward architecture and animal decisions. *Animal Feed Science and Technology*. 112: 5-28.

BAUMONT, R., PRACHE, S., MEURET, M., MORAND-FEHR, P. 2000. How forage characteristics influence behavior and intake in small ruminants: A review. *Livestock Production Science*. 64: 15-28.

BERNET, T., HERVÉ, D., LEHMANN, B., WALKER, T. 2002. Improving land use by slope farmers in the Andes: an economic assessment of small-scale sprinkler irrigation for milk production. *Mountain Research and Development*. 22 (4), 375–382.

BETANCOUR, K., IBRAHIM, M., HARVEY, C., Y VARGAS, B. 2003. Efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en fincas ganaderas de doble propósito en Matiguás. Nicaragua. Agroforestería en las Américas Vol. 10 N° 39-40. 2003. p 50.

BIGNOLI, D.P. 1971. Comportamiento de los animales al pastoreo. *Dinámica Rural*, Bs, As. 36: 104–106.

BONDI, A.A. 1989. *Animal Nutrition*. Editorial Acribia, SA Zaragoza, España. 546 pp.

BOUTEN, W., BAAIJ, E.W., SHAMOUN-BARANES, J., CAMPHUYSEN, K.C.J. 2013. Aflexible GPS tracking system for studying bird behavior at multiple scales. *Jornithol*2013; 154:571–580.

BRACK, A., Y MENDIOLA, C. 2004. *Ecología del Perú*. Editorial Bruño. Lima.

BRANDT, M., Y ALLAM, S.M. 1987. Analytik von Titandioxid im Darminhalt und Kot nach Kjeldahlaufschluß. *Archives of Animal Nutrition*. Nutr. 37,453–454.

BREMER, H., FESSEL, G.C.A., PEZZATO, L.E. 2005. Determinação de rotina do crômio em fezes, como marcador biológico, pelo método espectrofotométrico ajustado da 1,5- difenilcarbazida. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.35, n.3, p.691- 697.

BRISKE, D.D., AND HEITSCHMIDT, R.K. 1991. An Ecological Perspective. In: R. K. Heitschmidt and J. W. Stuth (Ed.) *Grazing Management: An Ecological Perspective*. p 11. TimberPress, Inc., Portland, OR.

BUÑAY, A.J.K. 2010. Validación del método cenizas ácido insolubles para determinar digestibilidad en el alimento balanceado frente al método de recolección total. Riobamba, Ecuador: Escuela superior politécnica del Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Bioquímica y Farmacia, 139 p. Tesis (Bioquímico Farmacéutico).

BUTT, B. 2010. Seasonal space-time dynamics of cattle behaviour and mobility among Maasai pastoralists in semi-arid Kenya. *Journal of Arid Environments*. 74 (3), 403-413.

CACERES, W., VERASTEGUI, S., Y FLORES, E.R. 1996. Composición de la dieta y selectividad en vacunos en pastizales de la Sierra Sur. Boletín Técnico LUP – UNALM. Lima – Perú.

CAGNACCI, F., BOITANI, L., POWELL, R.A., BOYCE, M.S. 2010. Animal ecology meets GPS-based radiotelemetry: a perfect storm of opportunities and challenges. *Phil. Trans. R. Soc. B* 365, 2157–2162 (doi:10.1098/rstb.2010.0107).

CANALES, C., Y TAPIA, M. 1987. Producción y Manejo de Forrajes en los Andes del Perú. Universidad Nacional San Cristobal de Huamanga. Proyecto Investigación de los Sistemas Agropecuarios Andinos, PISA (INIPA, CIID, ACIDI). Lima.

CARCIOFI, A.C., VASCONCELLOS, R.S., DE-OLIVEIRA, L.D. 2007. Chromic oxide as a digestibility marker for dogs. A comparison of methods of analysis *Animal Feed Science and Technology*, v. 134, n.3, p. 273-282.

CHACÓN, E., AND STOBBS, T.H. 1976. Influence of progressive defoliation of a grass sward on the eating behavior of cattle. *Australian Journal of Agricultural Research*. 27(5): 709-727.

CHAMBERLAIN, D.E., AND THOMAS, P.C. 1983. A note on the use of chromium sesquioxide as a marker in nutritional experiments with dairy cows. *Animal Production*. 36:155.

CHÁVEZ, A., GONZÁLEZ, M.H., Y FIERRO, L.C. 1981. Consumo voluntario de forraje en vacas gestantes durante la época de sequía. Pastizales. XII-3.

CHAVEZ, I. 1983. Comportamiento de ovinos bajo dos sistemas de pastoreo en un pastizal mediano abierto durante la época de verano en la región central de Chihuahua. Tesis Universidad Autónoma de Chihuahua, México. 114 p.

CLANTON, D.C., AND RALEIGH, R.J. 1987. Forty years of grazing livestock nutrition research. In: *Grazing Livestock Nutrition Conference (Proceeding)* Jackson, Wyoming.

COMITÉ TÉCNICO CHINO PARA LA NORMALIZACIÓN DE LA INDUSTRIA DE ALIMENTACIÓN Y LA ASOCIACIÓN CHINA DE LA INDUSTRIA DE ALIMENTACIÓN. 2000. Chinese Technical Committee for Feed Industry Standardization and the Chinese Association of Feed Industry. Beijing, China: China Standard Press (in Chinese).

CORDOVA, F.J., WALLACE, J.D., AND PIEPERM, R.D. 1978. Forage intake by grazing livestock: A review. *Journal of Range Management*. 31:430.

CHRISTENSEN, R.G., YANG, S.Y., EUN, J.S., YOUNG, A.J., HALL, J.O., & MACADAM, J.W. 2015. Effects of feeding birdsfoot trefoil hay on neutral detergent fiber digestion, nitrogen utilization efficiency, and lactational performance by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98(11), 7982-7992.

CRUZ, J.A. 2008. Composición de la dieta, consumo de forraje y demanda energética de vacas Brown Swiss x Criollo en praderas naturales Altoandinas del Departamento de Pasco. Tesis Magister Scientiae. Universidad Nacional Agraria La Molina.

CUMMING, G.S., GAIDE, T.N., NDLOVU, M. 2012. Towards a unification of movement ecology and biogeography: Conceptual framework and a case study on Afrotropical ducks. *J Biogeogr.* 2012; 39:1401–1411. doi: 10.1111/j.1365-2699.2012.02711.x.

DE WEERD, N., VAN LANGEVELDE, F., VAN OEVEREN, H., NOLET, B.A., KÖLZSCH, A., PRINS, H.H.T., AND DE BOER, W.F. 2015. Deriving Animal Behaviour from High - Frequency GPS: Tracking Cows in Open and Forested Habitat. *PLoS ONE*, 10(6), e0129030. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0129030>.

DEVRIES, T.J., AND VON KEYSERLINGK, M.A.G. 2005. Time of feed delivery affects the feeding and lying patterns of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 88:625–631.

DI MARCO, N., AELLO, S. 2002. Costo energético de la actividad de vacunos en pastoreo y su efecto en la producción. En: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), www.anterior.inta.gob.ar ; consulta: diciembre de 2012.

DISTEL, R.A., VILLALBA, J.J., AND LABORDE, H.E. 1993. Effects of early experience on voluntary intake of low-quality roughage by sheep. *Journal Animal Science*. p 72:1191.

DOVE, H., AND MAYES, R.W. 1991. The use of plant waxes and alkanes as marker substances in studies of the nutrition of herbivores: a review. *Aust. J. Agric. Res.* 42:913-952.

DUMONT, B., Y PETIT, M. 1995. An indoor method for studying the preferences of sheep and cattle at pasture. *Applied Animal Behaviour Science*. 46, 67-80

EKLUND, M., CAINE, W.R., SAUER, W.C., HUANGC, G.S., DIEBOLDD, G., SCHOLLENBERGERA, M., MOSENTHINA, R. 2012. True and standardized ileal digestibilities and specific endogenous ileal recoveries of crude protein and amino acid in soybean meal, rapeseed meal and peas fed to growing pigs. *Livestock science*, v.145, n.1. p. 174-182.

FIERRO, L.C. 1985. Forage intake, diet composition and bionergetic of grazing sheep in southern Peru. Thesis for Doctor of Philosophy. Texas Tech University, USA.

FISHER, D.S. 2002. A review of a few factors regulating voluntary feed intake in ruminants. *Crop. Sci.* 42:1651.

FLORES, A. 1992. Mejoramiento genético del ganado vacuno de carne. Proyecto TTA. 1ra Edición. Lima- Perú.

FLORES, A., Y BRYANT, F. 1990. Manual de pastos y forrajes. INIIA – Texas Tech University. Pp. 108 -116.

FLORES, E. 1993. Applying the concept of feeding stations to the behavior of cattle grazing variable amounts of available forage. A Thesis of Master of Science. Utah State University.

FLORES, E. 1996. Reality, limitations and research needs of the Peruvian livestock sector. In Latin American Regional Livestock Assessment, pp. 83–96. Small Ruminant CRSP. 15-18 April. San José, Costa Rica. Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture (IICA) – University of California at Davis.

FLORES, E., CRUZ, J., Y ÑAUPARI, J. 2006. Comportamiento Nutricional, Perfil Alimentario y Economía de la Producción Lechera en Praderas Cultivadas en Secano: Caso Pasco. Proyecto Innovación y Competitividad para el Agro Peruano (INCAGRO). Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC). LUP-UNALM. Reporte Científico. Pp. 9. Lima, Perú.

FLORES, E.R., CRUZ, J.A., Y ÑAUPARI, J. 2005. Utilización de praderas cultivadas en secano y praderas naturales para la producción lechera. Boletín Técnico CICCA – FDA – INCAGRO. Lima – Perú.

FORBES, J.M. 1995. Voluntary Food Intake and diet selection in farm Animals: Second Edition, Issue: Ed.2, Page: 1-453 Publication Year: UK: CAB International.

FRYXELL, J.M. HAZELL, M., BORGER, L., DALZIEL, B.D., HAYDON, D.T., MORALES, J.M. 2008. Multiple movement modes by large herbivores at multiple spatiotemporal scales. ProcNatAcadSciUSA.2008; 105:19114–19119.doi:10.1073/pnas.0801737105PMID:19060190.

GASTÓ, J., SILVA, F., Y COSIO, F. 1990. Sistema de Clasificación de Pastizales de Sudamérica. Sistema en Agricultura. IISA. 9(1). Departamento de Zootecnia, Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile.

GEENTY, K.G., Y RATTRAY, P.V. 1987. The energy requirements of grazing sheep and cattle. Pp. 39-53. In: Livestock feeding on pasture. New Zealand Society of Animal Production Occasional Publication. N° 10.

GINANE, C., BONNET, M., BAUMONT, R., REVELL, D. 2015. Feeding behaviour in ruminants: a consequence of interactions between a reward system and the regulation of metabolic homeostasis. *Animal Production Science* 55:247-260.

GONZÁLEZ, L.A., BISHOP-HURLEY, G., HENRY, D., CHARMLEY, E. 2014. Wireless sensor net-works to study, monitor and manage cattle in grazing systems. *Animal Production Science*. 54 (10), 1687-1693.

GOTTARDI, E., TUA, F., CARGNELUTTI, B., MAUBLANC, M.-L., ANGIBAULT, J.-M., SAID, S., & VERHEYDEN, H. 2010. Use of GPS activity sensors to measure active and inactive behaviours of European roe deer (*Capreolus capreolus*). *Mammalia*, 74(4), 355-362.

GREGORINI, P. 2012. Diurnal grazing pattern: its physiological basis and strategic management. *Animal Production Science*, 52(7), 416-430. doi: 10.1071/AN11250.

GREGORINI, P., TAMMINGA, S., Y GUNTER, S.A. 2006. Daily grazing patterns of cattle: a behavioral overview. *Professional Animal Science*, 22:201.

GUO, Y., POULTON, G., CORKE, P., BISHOP-HURLEY, G.J., WARK, T., SWAIN, D.L. 2009. Using accelerometer, high sample rate GPS and magnetometer data to develop a cattle movement and behaviour model. *Ecological Modelling* 220, 2068-2075.

HAFEZ, E.S.E., Y SAAD, E. 1973. Adaptación de los animales domésticos. Editorial Labor. 1ra Edición. Barcelona – España.

HARMON, D.L. 2007. Experimental approaches to study the nutritional value of food ingredients for dogs and cats. *Revista Brasileira de Zootecnia* 36 (Suplemento especial): 251-262.

HART, R.H., BISSIO, J., SAMUEL, M.J., AND WAGGONER, J.R. 1993. Grazing systems, pasture size, and cattle grazing behavior, distribution and gains. *Journal of Range Management*. 46: 81–87.

HEBBLEWHITE, M., AND HAYDON, D.T. 2010. Distinguishing technology from biology: a critical review of the use of GPS telemetry data in ecology. *PhilosTransRSocLondBBiolSci*.2010;365:2303–2312.doi:10.1098/rstb.2010.0087PMID:20566506.

HODGSON, J. 1979. Nomenclature and definitions in grazing studies. *Grass and Forage Sci*. 34:11-18.

HODGSON, J. 1982. Influence of sward characteristics on diet selection and herbage intake by the grazing animal. En: Hacker, J. B. Editor. Nutritional limits to animal production from pastures. Commonwealth Agricultural Bureaux. Pp. 153-166.

HODGSON, J., CLARK, D., AND MITCHELL, R. 1994. Foraging behaviour in grazing animals and its impact on plant communities. In: Fahey Gc, collins M, Mertens Dr, Moser Le, editores. Forage quality, evaluation and utilization. Madison, WI: American society of agronomy. 796-827p.

HOLMES C.W., BROOKES, I.M., GARRICK, D.J., MACKENZIE, D.D.S. 2002. Milk production from pasture. Massey University, NZ.

HOSSEINKHANI, A., DEVRIES, T.J., PROUDFOOT, K.L., VALIZADEH, R., VEIRA, D.M., AND VON KEYSERLINGK, M.A.G. 2008. The effects of feed bunk competition on the feed sorting behavior of close-up dry cows. *Journal of Dairy Science*. 91:1115-1121.

HUHTANEN, P., ASIKAINEN, U., ARKKILA, M., AND JAAKKOLA, S. 2007. Cell wall digestion and passage kinetics estimated by marker and in situ methods or by rumen evacuations in cattle fed hay 2 or 18 times daily. *Animal Feed Science and Technology* 133:206-227.

HULBERT, I.A.R. 2001. GPS and its use in animal telemetry: the next five years. In: Sibbald AM, Gordon, IJ, EDITORS. Tracking animals with GPS. Aberdeen: The Macaulay Land Use Research Institute; 2001.pp. 69–72.

IGP (INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ). 2005: Atlas climático de precipitación y temperatura del aire en la Cuenca del Río Mantaro. Lima, Perú: CONAM - Consejo Nacional del Ambiente.

INALMET, S.A.S. 2013. Cintas Pesadoras Bovinas. YouTube. <http://www.youtube.com/watch?v=K2nV8xVQw4U>, revisado el 18.12.2015.

INEI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA). 2007. Censos Nacionales XI de Población y VI de Vivienda. Recuperado el 15.09.15, de <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/>

INEI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA). 2012. Resultados Definitivos IV Censo Nacional Agropecuario 2012. <http://proyectos.inei.gob.pe/web/DocumentosPublicos/ResultadosFinalesIVCENAGRO.pdf> , revisado el 15.09.2015.

JAGGER, S., WISEMAN, J., COLE, D.J.A., CRAIGON, J. 1992. Evaluation of inert markers for the determination of ileal and fecal apparent digestibility values in the pig. *British Journal of Nutrition*. 68, 729–739.

JOCHER, F. 2016. Räumliche Heterogenität der Vegetation und des Verhaltens von Milchkühen auf Weiden in den Anden Perus. Master Thesis. Stuttgart - Hohenheim University.

JIN, Y., YANG, X., QIU, J., LI, J., GAO, T., WU, Q., ZHAO, F., MA, H., YU, H., XU, B. 2014. Remote Sensing-Based Biomass Estimation and Its Spatio-Temporal Variations in Temperate Grassland, Northern China. *Remote Sens*. 6 (2), 1496-1513.

KAVANAGH, S., LYNCH, P.B., O'MARA, F., CAFFREY, P.J. 2001. A comparison of the total collection and marker technique for the measurement of apparent digestibility of diets for growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, V.89, n.1, p.49- 58.

KILGOUR, R.J. 2012. In pursuit of “normal”: A review of the behaviour of cattle at pasture. April 2012 *Applied Animal Behaviour Science* 138(s 1–2):1–11 DOI: 10.1016/j.applanim.2011.12.002.

KORTE, C., CHU A., Y FIELD, T. 1987. Pasture production. Livestock feeding on pasture. Occasional publication Nro. 10. 145 p.

KRISTJANSON, P., KRISHNA, A., RADENY, M., KUAN, J., QUILCA, G., SANCHEZ-URRELO, A., LEON-VELARDE, C. 2007. Poverty dynamics and the role of livestock in the Peruvian Andes. *Agric. Syst.* 94 (2), 294-308.

LANGBEIN, J., AND NICHELMANN, M. 1993. Differences in behaviour of free-ranging cattle in the tropical climate. *Applied Animal Behaviour Science.* 37:197.

LE DU, Y.L.P., AND PENNING, P.D. 1982. Animal based techniques for estimating herbage intake. In: J. D. Leaver (Ed). *Herbage Intake Handbook*. The British Grassland Society.

LEÓN, M., MARTÍNEZ, S., PEDRAZA, R., GONZÁLEZ, C., Y BARRETO, G. 2012. Correlación entre energía metabolizable calculada y producción de gas in vitro con heces depuestas como inóculo. Centro de Estudios para el Desarrollo de la Producción Animal (CEDEPA), Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Camagüey, *Rev. Producción Animal.* 24 (2): 2012. – Cuba.

LI, Q., AND PATIENCE, J. F. 2016. Factors involved in the regulation of feed and energy intake of pigs. *Animal Feed Science and Technology* 233, 22-33.

LÓPEZ, R. 1984. Dieta del Ganado en Agostadero. Folleto de Divulgación. Vol. 1. No. 4. U.A.A.A.N. Saltillo, Coah.

LYONS, R.K., MACHEN, R.M., FORBES, T.D.A. 2002. Entendiendo el consumo de forrajes de los animales en pastizales. Cooperativa de Texas. El Sistema Universitarios Texas A&M.

MAYNARD, L.A., LOOSLI, J.K., HINTZ, H.F., Y WARNER, R.G. 1981. Nutrición Animal. 7a. ed. McGraw-Hill. México.

MEIJS, J.A.C., WALTERS, R.J.K. AND KEEN, A. 1982. Sward methods. In: J. D. Leaver (Ed). Herbage Intake Handbook. The British Grassland Society.

MILFORD, R., Y MINSON, D.J. 1966. The feeding value of tropical pastures. In: Davies, W. y Skidmore, CL. Tropical pastures. London, Faber, pp. 106-114.

MILLER-CUSHON, E.K., BERGERON, R., LESLIE, K.E., MASON, G.J., AND DEVRIES, T.J. 2014. Competition during the milk-feeding stage influences the development of feeding behavior of pair-housed dairy calves. *Dairy Sci.* 97 :6450–6462.

MINSON, D. 1990. Forage in Ruminant Nutrition. Academic Press. San Diego, CA.

MYERS, W.D., LUDDEN, P.A., NAYIGIHUGU, V., HESS, B.W. 2006. Excretion of titanium dioxide and chromic oxide in duodenal digesta and feces of ewes. *Small Ruminant Research.* 63, 135–214. National Academy Press. Washington, DC.

NRC (NATIONAL RESEARCH COUNCIL). 1987. Predicting Feed Intake of Food-Producing Animals. National Academy Press. Washington, DC.

NRC (NATIONAL RESEARCH COUNCIL). 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle Seventh Revised Edition. Washington D. C. USA.

NUÑEZ, J. 2014. Perfil alimentario y plan de pastoreo para la producción lechera con pasturas *Panicum maximum*. Tesis de maestría para optar el grado de Producción Animal. Lima, Perú.

OWENS, M.K., LAUNCHBAUGH, K.L., HOLLOWAY, J.W. 1991. Pasture characteristics affecting spatial distribution of utilization by cattle in mixed brush communities. *J. Range Manage.* 44:118–123.

OWEN-SMITH, N., FRYXELL, J.M., AND MERRILL, E.H. 2010 Foraging theory upscaled: the behavioural ecology of herbivore movement. *Phil. Trans. R. Soc. B* 365, 2267–2278. (doi:10.1098/rstb.2010.0095).

PALHANO, A.L., CARVALHO, P.C.F., DITTRICH, J.R. 2007. Características do processo de ingestão de forragem por novilhas holandesas em pastagens de capim-mombaça. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.36, n.4, p.1014-1021, 2007.

PARKER, W. 1951. A Method for measuring Trend and Range Condition on National Forest Ranges. USDA. Forest Service.p.157.

PATERSON, J., AND KERLEY, M. 1987. Discussion of marker methodologies used in grazing experiments and digestibility of forages consumed by grazing animals. In: *Grazing Livestock Nutrition Conference (Proceeding)*. Jackson, Wyoming.

PATTERSON, T.A., THOMAS, L., WILCOX, C., OVASKAINEN, O., MATTIOPOULOS, J. 2008. State-space models of individual animal movement. *Trends EcolEvol*.2008; 23:87–94.doi:10.1016/j.tree.2007.10.009PMID: 18191283.

PHILLIPS, C.J.C. 1993. *Cattle Behaviour*. Farming Press, Ipswich.

POND, K.R., BURNS, J.C., AND FISHER, D.S. 1987. External markers - Use and methodology in grazing studies. *Proceeding, Grazing livestock nutrition conference*. North Carolina State University and USDA, ARS. 49 - 53 p.

PROVENZA, F. 1995. Mechanisms of learning in diet selection with reference to phytotoxicosis in herbivores. *Journal Range Management*. Vol. 45. p. 36-45. E.E.U.U.

PUTFARKEN, D., DENGLER, J., LEHMANN, S., HÄRDITTE, W. 2008. Site use of grazing cattle and sheep in a large-scale pasture landscape: A GPS/GIS assessment. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 111 (1-2), 54-67.

RECHARTE, J., ALBAN, L., ARÉVALO, R., FLORES, E.R., HUERTA, L., ORELLANA, M., OSCANO, L., AND SÁNCHEZ, P. 2002. El grupo Páramo, Jalcas

y Punas del Perú: Instituciones y acciones en beneficio de comunidades y ecosistemas alto andinos. En Anales de la Reunión del Grupo Internacional de Páramos. Bogotá, Colombia.

ROSEMBERG, M. 2000. Producción de ganado vacuno de carne y de doble propósito. 1ra Edición. Lima- Perú.

RUIZ, F.E. 2001. Estudio del comportamiento y requerimiento energético de vacas lecheras en pasturas en la sierra central del país. Tesis Ingeniero Zootecnista. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú.

SCHLECHT, E., HÜLSEBUSCH, C., MAHLER, F., BECKER, K. 2004. The use of differentially corrected global positioning system to monitor activities of cattle at pasture. Appl. Anim. Behav. Sci. 85 (3-4), 185-202.

SHAMOUN-BARANES, J., BOM, R., VAN LOON, E.E., ENS, W.J., OOSTERBEEK, K., BOUTEN, W. 2012. From sensor data to animal behavior: an oyster catcher example. PlosOne 2012; 7:doi:10.1371/journal.pone.0037997.

SILVA, D. 2006. Sistemas de producción lechera; ¿Qué sistema funciona mejor para usted?, parte 2. Agro Enfoque – Perú. 2006. 21 (151): 60 - 64.

SMITH, M.A., RODGERS, J.D., DODD, J.L., AND SKINNER, Q.D. 1992. Habitat selection by cattle along an ephemeral channel. J. Range Manage. 45: 385–390.

SMIT, H.J., METZGER, M.J., EWERT, F. 2008. Spatial distribution of grassland productivity and land use in Europe. Agric. Syst. 98 (3), 208-219.

SUÁREZ, P., REZA, S., GARCIA, F., PASTRANA, I., Y DÍAZ, E. 2011. Comportamiento ingestivo diurno de bovinos de ceba en praderas del pasto Guinea (*Panicum maximum* cv. Mombasa). Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria. 12(2), 167-174. Careté, Colombia.

TAHIR, M.Z.I. 2008. Studies on partial replacement of fish meal with oil seed meals in the diet of major carps in semi-intensive culture system. Ph. D. Thesis. Deptt. Zool. Univ. Agri. Faisalabad, Pakistan, 174-178.

THORNTON, P.K., Y HERRERO, M. 2001. Integrated crop–livestock simulation models for scenario analysis and impact assessment. *Agric. Sys.* 70, 581–602.

TITGEMEYER, E.C., ARMENDARIZ, C.K., BINDEL, D.J., GREENWOOD, R.H., LÖEST, C.A. 2001. Evaluation of titanium dioxide as a digestibility marker for cattle. *Journal of Animal Science.* 79. 1059–1063.

TOMKIEWICZ, S.M., FULLER, M.R., KIE, J.G., AND BATES, K.K. 2010. Global positioning system and associated technologies in animal behaviour and ecological research. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365:2163-2176

TURÍN, C. 1999. Influencia de la alimentación con pastos naturales y cultivados en alpacas Tuis Huacaya de 6 y 18 meses de edad. Tesis Ing. Zoot. Universidad Nacional Agraria. Lima. Perú. 149 p.

TURNER, L.W., UDAL, M.C., LARSON, B.T., AND SHEARER, S.A. 2000. Monitoring cattle behavior and pasture use with GPS and GIS. *Can. J. Anim. Sci.* 80(3): 405-413.

TURRIZA, L.O. 1970. Consumo por el Ganado, digestibilidad y composición química de seis gramíneas tropicales. Tesis de Grado de Magister Scientiae. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Centro de Enseñanza e Investigación. Turrialba, Costa Rica. Octubre, 1970.

UNGAR, E.D., HENKIN, Z., GUTMAN, M., DOLEV, A., GANSKOPP, D. 2005. Inference of animal activity from GPS collar data on free ranging cattle. *Rangeland Ecol Manag.* 2005; 58:256-266.

URNES, P.J., AND MC CULLOCH, C.Y. 1973. Deer nutrition in Arizona chaparral and desert habitats in Nevada. Part II: chemical analysis and in vitro digestibility of seasonal deer forages. Spec. Rep. E. Federal Aid in Wildlife Restoration Act. Proj. W-78-R.

VAN SOEST, P.J., ROBERTSON, J.B., LEWIS, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74 (10), 3583-3597.

VENTURA, O. 2003. Ponencia: Valoración económica de los bienes y servicios ambientales de las praderas altoandinas en el Perú – políticas para el manejo sostenible. En: “III Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas.” Arequipa, Perú.

VERDECIA, D.M. 2008. Rendimiento y componentes del valor nutritivo del *Panicum maximum* cv. Tanzania. *Revista electrónica de Veterinaria*. Volumen IX. N°5. Mayo-2008.

WAGHORN, G.C., CLARK, D.A. 2001. Feeding value of pastures for ruminants. *N. Z. Vet. J.* 2004; 52:320–331.

WAGHORN, G.C., MCNABB, W.C. 2003. Consequences of plant phenolic compounds for productivity and health of ruminants. *Proc Nutr Soc.* 62:383–392.

WAGHORN, G.C., Y BARRY, T.N. 1987. Pasture as a Nutrient Source. En *Livestock Feeding on Pasture*. p. 21–38.

WANG, C.J., TAS, B.M. GLINDEMANN, T., RAVE, G., SCHMIDT, L., WEISSBACH, F., AND SUSENBETH, A. 2009. Fecal crude protein content as an estimate for the digestibility of forage in grazing sheep. *Animal Feed Science and Technology* 149:199–208.

WESTON, R.H. 2002. Constraints on feed intake by sheep. In: *Sheep Nutrition* (Ed. M. Freer and H .Dove). CABI Publishing. pp. 27-46.

YARANGA, R.M. 2009. Alimentación de camélidos sudamericanos y manejo de pastizales, Módulo de Camélidos Sudamericanos I, Huancayo, Marzo.

YOUNG, K., AND LIPTON, J. 2006. Adaptive governance and climate change in the tropical highlands of western South America. *Climate Change* 78: 63-102.

ZORRILLA, J. 1979. Determinación del consumo voluntario en condiciones de libre pastoreo. En: *Manual de Técnicas de Investigación en Nutrición de Rumiantes*. Departamento de Nutrición Animal. INIP-SARH.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Base de datos de Consumo de alimento, Energía metabolizable y digestibilidad de la materia orgánica.

Lugar	Vaca	Consumo de alimento (kg MS /día)	ME [MJ x kg ⁻¹ OM]	dOM (%)
1	1	9.71	9.07	58.66
1	2	6.44	9.28	59.89
1	3	9.05	9.34	60.24
1	4	10.23	9.10	58.81
1	5	8.10	8.74	56.68
2	1	9.55	8.74	56.73
2	2	7.66	8.73	56.63
2	3	8.48	8.85	57.36
2	4	7.72	8.84	57.30
2	5	4.18	8.86	57.41
3	1	9.99	8.62	55.99
3	2	8.54	8.75	56.78
3	3	8.84	8.80	57.09
3	4	6.97	8.78	56.94
3	5	8.25	8.53	55.45
Promedio		8.25	8.87	57.46
Desviación estándar		1.56	0.23	1.36
Coefficiente de Variación (%)		18.91	2.60	2.36
Valor mínimo		4.18	8.53	55.45
Valor máximo		10.23	9.34	60.24

Anexo 2. Base de datos del peso inicial (kg), final (kg) y la producción de leche (kg/vaca/día).

Lugar	Vaca	Peso inicial (kg)	Peso Final (kg)	Producción de Leche (kg/vaca/día)
1	1	345	356	3.53
1	2	312	297	3.21
1	3	276	312	2.84
1	4	377	384	2.91
1	5	339	352	-----
2	1	464	471	4.04
2	2	402	414	3.66
2	3	393	408	1.53
2	4	365	393	3.33
2	5	339	335	-----
3	1	393	414	3.30
3	2	312	339	2.74
3	3	326	312	2.94
3	4	315	321	3.77
3	5	326	326	3.00
Promedio		352	362	3.14
Desviación estándar		47	50	0.62
Coefficiente de variación (%)		13	14	19.82
Valor mínimo		276	297	1.53
Valor máximo		464	471	4.04

Anexo 3. Base de datos del comportamiento ingestivo de las vacas en los lugares de estudio.

Lugar	Vaca	Caminata (h/día)	Pastoreo (h/día)	Descanso (h/día)	Distancia recorrida (km/día)
1	1	2.17	10.56	11.28	7.24
1	2	2.16	9.20	12.63	7.42
1	3	2.32	11.71	9.97	8.88
1	4	2.60	11.24	10.16	8.06
1	5	2.40	11.34	10.26	7.57
2	1	1.75	9.25	13.00	6.51
2	2	1.77	8.68	13.55	6.91
2	3	1.97	9.34	12.69	7.63
2	4	1.86	8.93	13.21	7.30
2	5	1.95	11.07	10.99	7.44
3	1	1.84	8.76	13.40	5.91
3	2	1.49	8.80	13.70	5.29
3	3	1.85	10.43	11.72	6.69
3	4	1.28	7.79	14.93	5.11
3	5	1.80	10.15	12.05	6.20
Promedio		1.95	9.82	12.24	6.94
Desviación estándar		0.34	1.19	1.48	1.02
Coefficiente de Variación (%)		17.56	12.10	12.06	14.67
Valor mínimo		1.28	7.79	9.97	5.11
Valor máximo		2.60	11.71	14.93	8.88

Anexo 4. Base de datos de FDN (%), FDA (%) y proteína cruda (%).

Lugar	FDN (%)	FDA (%)	Proteína cruda (%)
1	62.97	27.26	11.58
1	54.86	24.68	11.04
1	69.19	37.09	6.38
1	70.50	34.05	8.63
1	51.56	22.44	19.19
1	64.95	30.26	8.87
1	62.00	26.97	11.96
1	66.60	32.60	8.27
1	63.18	34.70	7.40
1	62.61	33.18	9.29
1	64.72	32.81	7.73
1	67.22	36.94	7.82
1	56.39	26.13	11.56
1	66.34	27.52	9.94
1	66.33	27.93	9.62
1	66.09	32.72	9.63
1	60.65	24.84	11.82
1	65.23	31.96	6.63
1	66.78	31.07	7.70
1	65.87	33.22	7.02
1	68.92	38.78	6.91
1	61.88	28.30	12.50
1	62.58	30.17	9.10
1	71.28	36.92	5.71
1	66.33	33.80	5.78
1	70.23	37.39	6.59
1	70.32	38.63	4.71
2	55.58	25.79	16.83
2	67.81	36.80	7.85
2	71.23	37.34	4.68
2	66.43	32.66	8.49
2	66.00	28.49	9.64
2	71.48	38.12	6.34
2	70.25	34.93	8.69
2	66.77	35.46	7.74
2	69.87	34.92	8.08
2	65.37	28.88	8.20
2	67.23	28.16	8.96
2	65.23	30.35	8.07
2	65.15	31.82	9.04

2	68.20	33.60	7.21
2	63.15	29.69	8.39
2	67.32	34.53	6.15
2	53.60	26.99	12.53
2	68.27	34.38	6.45
2	64.39	33.42	9.16
2	63.54	30.94	9.99
2	63.46	34.94	8.11
2	66.19	32.73	6.85
2	65.39	34.87	6.07
2	67.54	34.14	6.31
2	68.53	36.27	6.29
2	68.71	30.96	7.49
2	65.28	31.59	8.28
2	65.89	30.75	9.04
2	61.12	27.56	11.43
2	58.42	25.22	10.93
2	65.73	31.97	9.52
2	69.22	37.71	7.26
2	65.88	30.45	7.22
2	61.63	29.70	9.74
2	61.95	31.15	7.79
2	71.53	34.45	6.82
2	68.66	35.91	7.37
2	67.10	30.83	10.38
2	69.25	36.40	6.73
2	72.85	33.56	5.74
2	68.30	32.00	8.01
3	66.91	34.40	7.56
3	66.71	36.53	6.57
3	65.68	30.63	8.80
3	63.22	31.81	8.03
3	68.07	34.73	7.67
3	68.77	34.66	4.94
3	64.33	35.25	6.61
3	67.70	35.97	6.33
3	68.58	36.35	6.61
3	66.21	33.44	9.01
3	72.80	40.28	5.63
3	69.22	35.83	7.05
3	68.58	33.37	7.11
3	70.76	36.05	6.46
3	63.42	31.78	7.86
3	66.54	33.71	7.07
3	64.94	32.58	8.01

3	66.29	33.25	8.04
3	62.79	32.09	8.10
3	70.22	35.47	8.85
3	68.92	34.34	8.56
3	70.81	39.91	5.99
3	68.35	35.19	7.33
3	70.37	35.34	8.19
3	67.96	34.21	8.34
3	70.69	37.24	5.76
3	64.09	32.85	9.95
3	66.19	33.00	8.45
3	69.29	36.17	8.21
3	53.69	32.13	7.63
3	67.78	36.28	8.03
3	69.36	35.98	7.06
3	71.24	35.32	8.44
3	67.30	35.10	7.53
3	69.46	34.76	6.68
3	65.23	30.84	7.16
3	69.97	36.76	6.95
3	76.68	40.32	4.71
3	72.30	37.44	5.94
3	69.38	36.99	7.50
3	68.56	37.85	4.80
3	71.01	39.26	7.19
3	67.74	33.52	7.45
3	71.51	32.80	9.50
Promedio	66.47	33.25	8.10
Desviación estándar	4.2	3.6	2.2
Coefficiente de Variación (%)	6.32	10.91	26.59
Valor mínimo	51.56	22.44	4.68
Valor máximo	76.68	40.32	19.19

Anexo 5. Base de datos de la biomasa de los lugares de estudio (kg MS/ha).

Lugar	Biomasa (kg MS/ha)
1	335.83
1	294.37
1	857.18
1	501.50
1	361.47
1	378.21
1	310.57
1	380.97
1	414.08
1	425.51
1	426.20
1	455.87
1	323.60
1	374.87
1	381.42
1	526.98
1	331.66
1	442.62
1	422.02
1	382.29
1	430.93
1	340.07
1	388.05
1	667.27
1	501.11
1	427.96
1	696.73
2	402.38
2	431.83
2	539.38
2	349.00
2	357.38
2	455.71
2	391.74

2	400.14
2	555.53
2	454.46
2	444.08
2	417.80
2	479.17
2	445.43
2	431.65
2	518.98
2	216.34
2	558.69
2	441.95
2	411.17
2	375.66
2	456.89
2	474.63
2	452.00
2	483.67
2	441.02
2	418.00
2	405.89
2	560.59
2	388.70
2	407.20
2	507.82
2	450.28
2	338.32
2	529.07
2	586.91
2	484.04
2	494.84
2	532.93
2	492.67
2	437.28
3	459.35

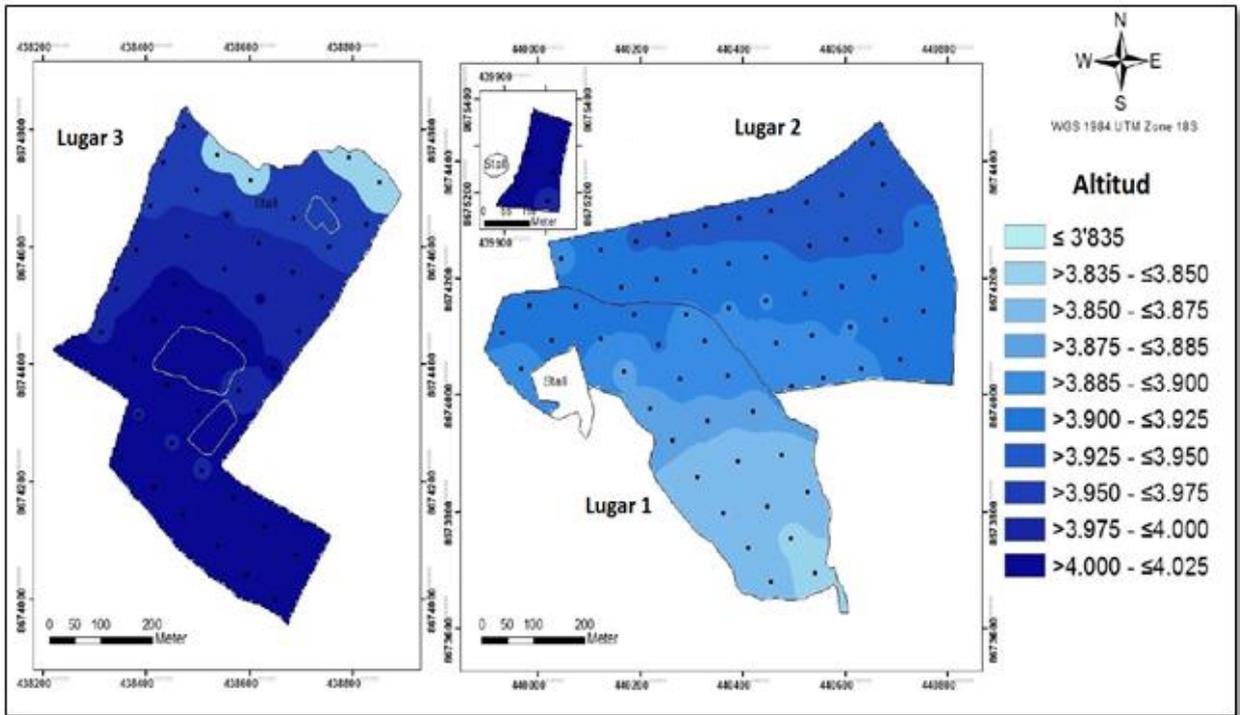
3	686.96
3	428.29
3	400.65
3	478.95
3	585.30
3	443.51
3	424.50
3	499.69
3	508.15
3	762.01
3	543.49
3	443.84
3	467.86
3	458.21
3	437.92
3	407.32
3	434.08
3	752.53
3	417.84
3	391.12
3	504.00
3	455.19
3	477.32
3	437.38
3	459.25
3	396.97
3	435.10

3	487.94
3	374.63
3	409.69
3	498.17
3	501.13
3	497.09
3	558.51
3	512.87
3	449.94
3	592.46
3	760.37
3	455.75
3	810.28
3	460.43
3	474.54
3	228.66
Promedio	463.12
Desviación estándar	105.36
Coefficiente de Variación	22.75
Valor mínimo	216.34
Valor máximo	857.18

Anexo 6. Base de datos de la disponibilidad forrajera de los lugares de estudio (kg MS/ha)

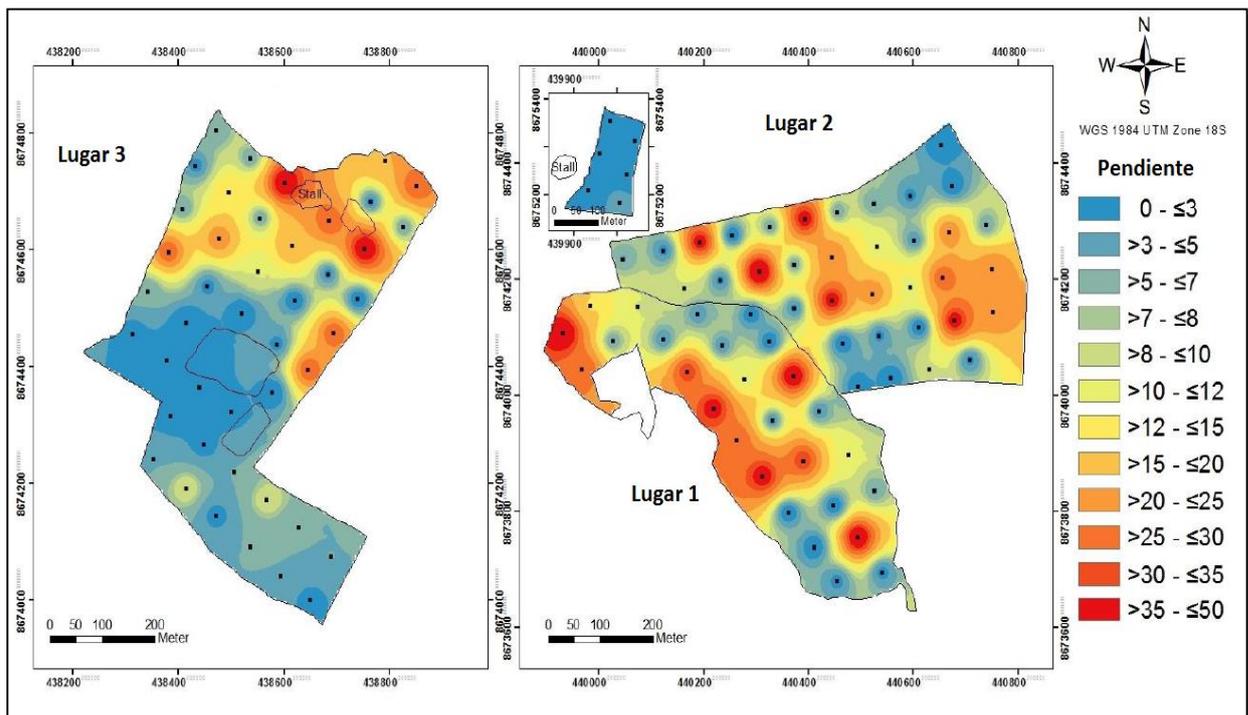
Lugar	Disponibilidad Forrajera(kg MS/ha)
1	261
1	251
1	272
1	287
1	156
1	273
1	312
1	192
1	293
2	273
2	227
2	180
2	284
2	180
2	108
2	240
2	282
2	269
2	318
3	392
3	396
3	407
3	351
3	459
3	408
3	377
3	402
3	507
3	339
3	527
3	413
Promedio	310.65
Desviación estándar	100.85
Coefficiente de Variación	32.47
Valor mínimo	108
Valor máximo	527

Anexo 7. Distribución espacial de la elevación (metros sobre el nivel del mar) de las pasturas en los tres lugares de estudio.



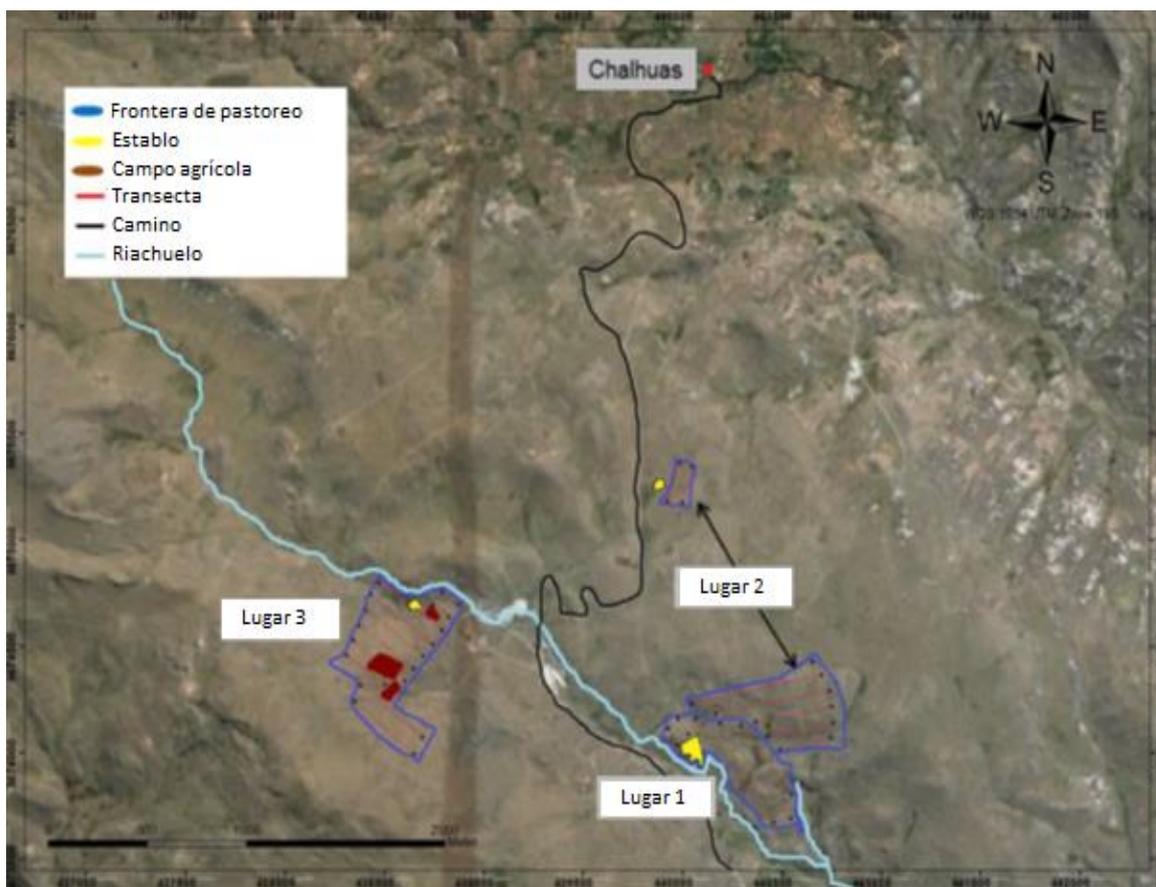
Fuente: Jocher (2016). Räumliche Heterogenität der Vegetation und des Verhaltens von Milchkühen auf Weiden in den Anden Perus.

Anexo 8. Distribución espacial de la pendiente (%) de las pasturas en los tres lugares de estudio.



Fuente: Jocher (2016). Räumliche Heterogenität der Vegetation und des Verhaltens von Milchkühen auf Weiden in den Anden Perus.

Anexo 9. Vista panorámica y detalles de los lugares de estudio.



Anexo 10. Vacas en el lugar de estudio con sus collares GPS.

