

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFFECTO DE LA OFERTA DE FORRAJE Y GENOTIPO VACUNO SOBRE  
LA PRODUCTIVIDAD DE LA CRÍA VACUNA EN CAMPOS DE URUGUAY**

**“por”**

**Martín DO CARMO CORUJO**

**TESIS presentada como uno de los  
Requisitos para obtener el título de  
Magister en Ciencias Agrarias opción  
Ciencias Animales**

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
Diciembre de 2013**

Tesis aprobada por el tribunal integrado por Dr. Carlos Nabinger, Ing. Agr (PhD)  
Pablo Boggiano, Dr. Andrés Cibils, Ing. Agr. (PhD) Valentin Picasso, el (día) de  
(mes) de (año). Autor/a: Martín Do Carmo. Director/a Ing Agr. (MSc) Pablo Soca

Dedico este trabajo a mi familia, especialmente a Maite mi hija, Ana mi compañera y a mis padres Isabel y Neri

## AGRADECIMIENTOS

A Pablo Soca y Mariana Carriquiry por su contribución a la mejora de mi formación profesional y hacer posible la finalización de este trabajo.

A la gente de la estación “Bernardo Rosengurt”, especialmente a Dorrel Bentancor, Victoria Cal, Oscar, Mauricio y Joselo Cáceres por su contribución a la realización de este trabajo.

A INIA por proporcionarme tiempo para la finalización de la maestría.

## TABLA DE CONTENIDOS

	Página
PAGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
RESUMEN.....	VI
SUMMARY.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	1
1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.2 HIPÓTESIS.....	4
1.3 MODELO CONCEPTUAL DEL ECOSISTEMA CAMPOS BAJO PASTOREO.....	5
1.3.1 <u>Experimentos de pastoreo de Campos: aportes a la investigación sobre la relación planta-animal en el país y la región</u> .....	12
2. EFFECT OF FORAGE ALLOWANCE AND COW GENOTYPE ON PASTURE AND COW-CALF PRODUCTIVITY IN CAMPOS GRASSLAND.	20
2.1 ABSTRACT.....	20
2.2 INTRODUCTION .....	21
2.3 METHODS .....	24
2.3.1 <u>Experimental site</u> .....	24
2.3.2 <u>Experimental design and treatments</u> .....	25
2.3.3 <u>Pasture measurement</u> .....	26
2.3.4 <u>Animals</u> .....	27
2.3.5 <u>Stocking rate and actual forage allowance</u> .....	29
2.3.6 <u>Calculations and statistical analyses</u> .....	29
2.4 RESULTS .....	30
2.4.1 <u>Forage mass, height and accumulation</u> .....	31
2.4.2 <u>Stocking rate and actual forage allowance</u> .....	33
2.4.3 <u>Animal performance and net energy requirements</u> .....	33
2.5. DISCUSSION.....	36
2.6 ACKNOWLEDGMENTS.....	42

2.7 REFERENCIAS.....	42
3. <u>DISCUSIÓN GENERAL</u> .....	51
3.1 LA OFERTA DE FORRAJE Y EL GRUPO GENETICO VACUNO COMO DETERMINANTES DE LA PRODUCCION, UTILIZACION Y EFICIENCIA DE USO DEL CAMPOS.....	51
3.2 APORTES AL MODELO CONCEPTUAL DE INVESTIGACIÓN Y AL DISEÑO DE SISTEMAS PASTORILES.....	57
4. <u>CONCLUSIONES</u> .....	59
5. <u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u> .....	60
6. <u>ANEXOS</u> .....	73
6.1 ESTIMACIÓN DE LOS KILOGRAMOS DE FORRAJE NECESARIOS PARA ALCANZAR LA PERFORMANCE LOGRADA.....	73
6.2 ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA DE USO DE LA ENERGÍA CONSUMIDA EN CADA TRATAMIENTO DE OFERTA DE FORRAJE Y GENOTIPO VACUNO.....	75
6.2.1 <u>Estimación de la eficiencia de producción animal por unidad de superficie</u> .....	76

## RESUMEN

La oferta de forraje (OF) controla el flujo de energía a producción, utilización y eficiencia de uso del forraje por vacas de cría. Se postuló un modelo conceptual del ecosistema cría vacuna, basado en variables de estado, flujo de energía y retroalimentación obtenida de antecedentes previos y del presente experimento. Pocos antecedentes analizaron de forma integrada los cambios en producción y utilización del forraje. No han sido reportados antecedentes sobre la eficiencia de uso del forraje en pastoreo, su interacción con la OF y genotipo de vacas y su efecto sobre la productividad del sistema de cría vacuna. Ello fundamentó la realización de un experimento que estudiara el efecto de la OF y genotipo de la vaca sobre la productividad de la cría vacuna en pastoreo de Campos. La hipótesis fue que mayor OF y genotipo “cruza” en vacas de cría, mejoraría la producción individual y eficiencia de uso del forraje, pero reduciría la carga animal. El diseño experimental fue de bloques al azar y arreglo factorial de tratamientos (2 x 2) de OF alta (Hi) y baja (Lo) (4 y 2,5 kg MS por kg de PV) y genotipo de la vaca, pura (Pu, Hereford y Angus) y cruce (Cr, F1 cruces recíprocas). El aumento de la OF aumentó la producción de forraje (14,7 vs  $12 \pm 1,7$  kg MS·ha<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> Hi vs Lo), el consumo de forraje (10,5 vs  $9,5 \pm 0,15$  Mcal EN·d<sup>-1</sup> Hi vs Lo.), la condición corporal de vacas de cría y la eficiencia de transformación del forraje en producto animal (15,07 vs 10,52 gramos de ternero / Mcal de EM año<sup>-1</sup> Hi-Cr vs Lo-Pu) sin disminución de la carga animal. Aumentar la oferta de forraje y utilizar vacas cruce incrementó la producción por unidad de superficie (88 vs 71 kg de PV ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> Hi-Cr y Lo-Pu respectivamente). La información colectada permitiría mejorar los resultados económicos de la cría vacuna en Campos y atenuar los efectos negativos de la variabilidad climática.

Palabras clave: oferta de forraje, carga animal, vacas de cría, eficiencia de conversión

## **EFFECT OF FORAGE ALLOWANCE AND COW GENOTYPE ON PRODUCTIVITY OF COW-CALF SYSTEMS IN CAMPOS OF URUGUAY**

### **SUMMARY**

Forage allowance (FA) controls the flux of energy between forage production and utilization, but also the efficiency of energy conversion into animal products. We proposed a conceptual model for cow-calf systems based on “energy levels”, “rate of energy flow” and “control of flow rates” from previous reports and our experiment. Few previous works reported analysis of forage production and utilization at the same time. No reports were found about efficiency utilization of forage energy under grazing, his interaction with forage allowance and cow genotype, and ultimately the productivity of the cow-calf system. Previous reasons lead to realize an experiment to study the effect of FA and cow genotype on cow-calf productivity in Campos. The hypothesis was that higher FA and cross beef cows enhance the individual production, increase efficiency of forage intake but reduce the stocking rate. The experiment had a complete randomized block design with 2 x 2 factorial arrangements of treatments of FA high (Hi) and low (Lo) (4 and 2.5 kg DM per kg LW) and cow genotype, pure (Pu, Hereford and Angus) and cross (Cr, F1 reciprocal crosses). Higher FA increased forage production (14.7 vs 12 ± 1.7 kg MS·ha<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> Hi vs Lo), forage intake (10.5 vs 9.5 ± 0.15 Mcal EN·d<sup>-1</sup> Hi vs Lo.), body condition score (4 vs 4.2) and biological efficiency of forage intake into calf live weight (15.07 vs 10.52 grams/ Mcal EN y<sup>-1</sup> Hi-Cr vs Lo-Pu) without change in stocking rate. High FA and use of crossbred cows increased calf production per unit area (88 vs 71 kg LW ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> Hi-Cr and Lo-Pu respectively). This information could be use to increase the economic profit of cow-calf systems and alleviate the negative effect of climate change.

Key words: forage allowance, stocking rate, beef cows, biological efficiency

## 1. INTRODUCCIÓN

Los pastizales son ecosistemas naturales de alto valor económico, social y ambiental por los beneficios directos (producción de alimentos) y servicios ecosistémicos que brindan (Holechek, 2011). Los pastizales del Río de la Plata (*Campos*) son uno de los más extensos del mundo (Paruelo et al., 2010), puesto que ocupan unos 700 000 km<sup>2</sup>, lo cual incluye el noreste de Argentina, sur de Brasil y Uruguay. La vegetación predominante de esta área se denomina *Campos* (Allen et al., 2011) y representa la principal fuente de alimento de la ganadería vacuna y ovina del Río de la Plata (Paruelo et al., 2010). Los *Campos* se han mantenido por más de 400 años como base de la producción ganadera de la región. Producen forraje con bajo niveles de insumos y han demostrado ser altamente resistentes al sobrepastoreo y a eventos climáticos extremos vinculados al incremento de la variabilidad climática (Nabinger et al., 2011).

El pastoreo, es la principal herramienta de manejo a través de la cual es posible regular el flujo de captación y transformación de energía solar en producto animal, lo que determina la productividad y resiliencia del pastizal (Briske y Heitschmidt, 1991). La carga animal es la principal medida vinculada al manejo del pastoreo a través de la cual se regula el flujo de energía entre la productividad primaria y secundaria del ecosistema pastoril (Briske y Heitschmidt, 1991). Durante la estación de crecimiento, en pasturas dominadas por especies de ciclo C4, como los Campos de Uruguay, la precipitación total se relacionó positivamente con la producción de forraje (Beretta et al., 2000). En sistemas pastoriles, orientados en base a la carga animal (número de animales por unidad de superficie) fija, la variabilidad en la producción de forraje modifica permanentemente la cantidad de forraje diaria y estacional a la cual accede cada animal. Por el contrario, cuando se orienta el manejo del forraje en base a la oferta de forraje (OF, kilogramos de forraje por kilogramo de peso vivo animal, Sollenberger et al., 2005) sin



modificaciones en el área de pastoreo, la carga animal resulta en una variable de respuesta

Los experimentos, que para Campos reportan conjuntamente los efectos de la oferta de forraje sobre la productividad de la pastura y animal son escasos y han utilizado como modelo animal, novillos en crecimiento (Maraschin et al., 1997; Soares et al., 2003). La modificación de la OF entre 4 a 12 kg MS/100kg PV/día permitió incrementar la producción de forraje de 11 a 16 kg MS/ha/día, la producción de carne 78 a 145 kg/ha/año y la eficiencia de uso de la radiación solar entre 0.009 a 0.017 (energía incidente/energía en la carne) (Nabinger et al., 2000). La OF de 6 y 10 kg de MS/100 kg de PV/día maximizaron la producción animal por unidad de superficie y animal respectivamente (Piaggio, 1994). No obstante, se encontró interacción entre la OF y estación del año sobre la ganancia diaria de peso vivo lo cual fundamentó la necesidad de emplear ofertas de forraje variables entre estaciones del año (Piaggio, 1994).

En Uruguay, la investigación tanto en ecología (Olmos, 1990; Altesor et al., 2005) como en producción animal sobre *Campos* (Berretta et al., 2000; Formoso, 2005) han puesto escaso énfasis sobre el efecto de la OF sobre la productividad física, económica y resiliencia del ecosistema Campos. La síntesis de experimentos de pastoreo sobre el efecto de la carga animal sobre la productividad de Campos (Olmos, 1992; Formoso, 2005; Ayala y Bermúdez, 2005) no permitió identificar normas cuantitativas y objetivas para estimar la capacidad de carga bajo pastoreo en general y con vacas de cría en particular. No se cuenta con funciones de respuesta que relacionen la carga animal u OF con el porcentaje de destete y los kilos de ternero por unidad animal y de superficie de los sistemas de cría en pastoreo de campos.

El proceso de cría vacuna se caracteriza por su baja eficiencia de transformación de la energía consumida (<30 % de la energía consumida anualmente) en producto animal (Ferrell y Jenkins, 1985). Mejorar dicha eficiencia, requiere incrementar los gramos de ternero destetado por

megacaloría de energía del forraje consumida. Esto justificaría controlar en forma conjunta la OF y los grupos genéticos de vacas de cría. Los biotipos de menor tamaño corporal, moderada producción de leche, superior grasa corporal y elevado consumo de forraje, resultaron más eficientes en ambientes caracterizados por el inferior nivel de consumo de forraje (3000 kilogramos de materia seca (MS) por vaca/año) (Jenkins y Ferrell, 1994). Dicha mejora se explica por la combinación de excelentes resultados reproductivos, elevados niveles de producción de leche y peso al destete de los terneros, sin incrementos importantes en los requerimientos y consumo de energía de par vaca-ternero. Las modificaciones del genotipo vacuno han permitido mejorar la eficiencia de uso de la energía y aumentar la productividad de los sistemas de cría (Cundiff et al., 1974; Morris et al., 1987). Las mejoras en los niveles de producción de leche, la reducción en el intervalo parto-celo, mayor tasa de preñez, destete y kilogramos de ternero destetado han sido propuestos como indicadores de la superioridad en la eficiencia biológica de vacas F1 (Angus, Hereford y Shorthorn) con respecto a vacas puras (Cundiff et al., 1974; Morris et al., 1987).

El porcentaje de destete resultó explicado por el largo del anestro postparto el cual resultó afectado por la nutrición energética y el amamantamiento (Short et al., 1990). La condición corporal resultó un excelente estimador del estado energético de las vacas de cría en pastoreo (Short et al., 1990). Para los Campos en Uruguay el logro de 80% de destete en vacas multíparas Hereford es posible si las vacas alcanzan una CC moderada (CC = 5; escala 1-8; Vizcarra et al., 1986) en otoño y alcanzan una CC moderada-liviana (CC = 4) durante primavera-verano (parto e inicio de entore) luego de perder 1 unidad de CC durante el invierno (Soca et al., 2007). No obstante, son escasos los antecedentes que han relacionado los atributos de Campos (altura y masa de forraje) con la CC de vacas de cría (Trujillo et al., 1996). Identificar la respuesta en la CC y la eficiencia de producción de kilos de ternero destetado por vaca y unidad de superficie ante cambios en la oferta de forraje y grupos genético de vacas de cría permitirá mejorar el

conocimiento sobre la productividad y sostenibilidad del ecosistema Campos.

El objetivo general del presente trabajo fue evaluar el efecto de los cambios en la oferta de forraje y el grupo genético de las vacas sobre la producción, utilización y eficiencia de uso del forraje del sistema de cría vacuna en pastoreo de Campos.

### 1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estudiar los cambios en los atributos de la pastura, la producción de forraje y la carga animal de Campos ante modificaciones de la oferta de forraje.

Estudiar la respuesta en peso vivo y condición corporal de vacas de cría y el peso vivo de los terneros al destete de dos genotipos a cambios en la oferta estacional de forraje de Campos.

Proponer un modelo de funcionamiento del ecosistema pastoril con el objetivo de mejorar su comprensión y discutir el aporte a la mejora en la producción física del Campos ante cambios en oferta de forraje y genotipo vacuno.

### 1.2 HIPÓTESIS

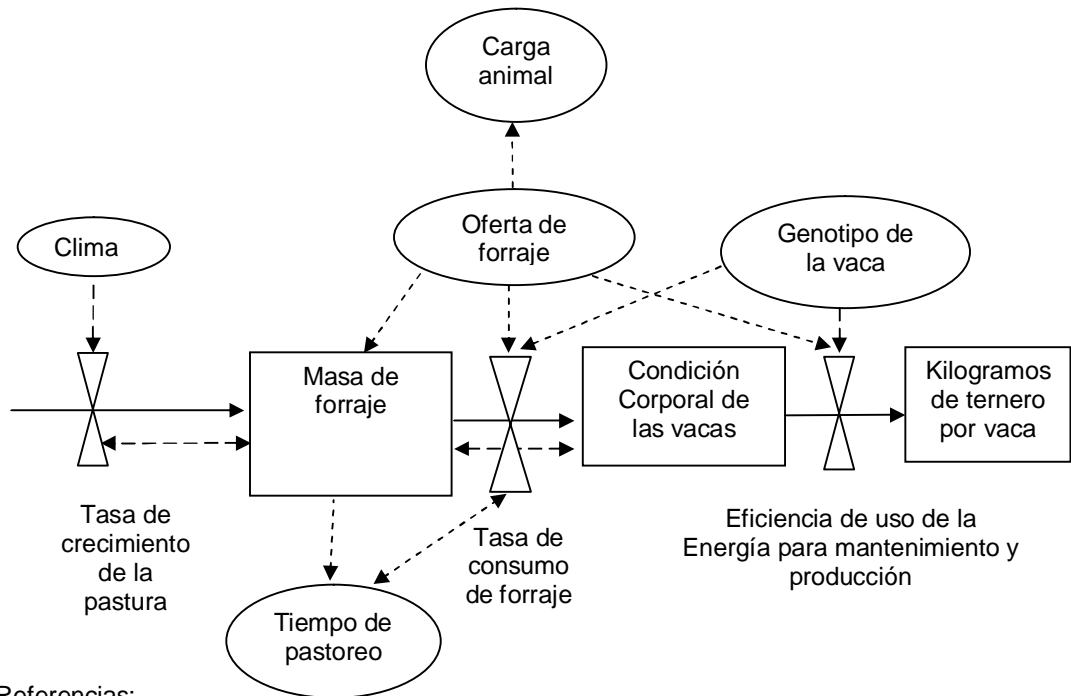
El aumento en la oferta de forraje de Campos incrementa la masa y altura de la pastura, la producción de forraje y performance por animal, no obstante, esto se asocia con una reducción de la carga animal y la producción animal por hectárea.

El empleo de vacas cruza mejora la eficiencia en el uso de la energía del forraje destinado a producir kilogramos de ternero lo cual depende de la oferta de forraje empleada.

### 1.3 MODELO CONCEPTUAL DEL ECOSISTEMA CAMPOS BAJO PASTOREO

Los objetivos de la presente revisión lo constituyen a) la elaboración de un modelo conceptual (Figura 1) del sistema objeto de estudio: Ecosistema *Campos* bajo pastoreo con vacas de cría sometido a cambios en la oferta de forraje y b) la reflexión sobre los aportes de la investigación nacional y regional a las principales variables de estado y flujo de materia física e información del ecosistema pastoril descrito en la Figura 1.

Figura 1. Modelo conceptual que describe las variables de estado, flujos de información y variables auxiliares que describen el funcionamiento de Campos bajo pastoreo.



Referencias:

Rectángulo: variable en que se mide el estado o nivel del sistema.

Línea continua: flujo de energía.

Línea punteada: regulación de flujo o feedback (que puede ser positivo o negativo).

Círculo: variable auxiliar que afecta el proceso o estado del sistema (basado en Forrester 1995).

Las principales variables de estado del modelo lo constituyen la masa de forraje, condición corporal de las vacas y los kilos de ternero destetado por vaca. La masa de forraje depende de la interacción entre la intensidad de pastoreo (proporción del forraje inicial que es removido) y la tasa de acumulación de forraje. Entre primavera y otoño (cuando la temperatura no limita la producción de forraje), la acumulación de forraje de las especies de ciclo fotosintético C4, principales componentes del *Campos*, resultó controlada por la precipitación (Fynn y O`Connor 2000; Bermúdez y Ayala, 2005). Dicho control se explica por la estrecha relación entre la lluvia y temperatura con la aparición, elongación y largo de vida de las hojas de gramíneas (Agnusdei y Lemaire, 2000). Dichos caracteres componen el índice de área foliar (IAF) el cual presentaría una estrecha asociación con la masa y altura del forraje de Campos (Gonçalvez, 2007). Para pasturas templadas (*Lolium perenne* y *Trifolium repens*) han sido reportados modelos que relacionan la altura con fotosíntesis bruta y senescencia neta que explican la acumulación de forraje bajo pastoreo (Parsons et al., 1983, Bircham y Hodgson, 1983). Dicho modelo ha sido analizado conjuntamente con el consumo de forraje por animal y unidad de superficie, lo cual ha sido empleado para proponer normas de manejo de la producción animal sostenible (Parsons et al., 1988).

Las relaciones entre masa de forraje y acumulación de forraje, reportadas para Campos, derivan fundamentalmente de la investigación llevada a cabo en Rio Grande do Sul, Brasil. Una síntesis de dichos resultados se presenta en la Figura 2 (Moojen y Maraschin, 2002).

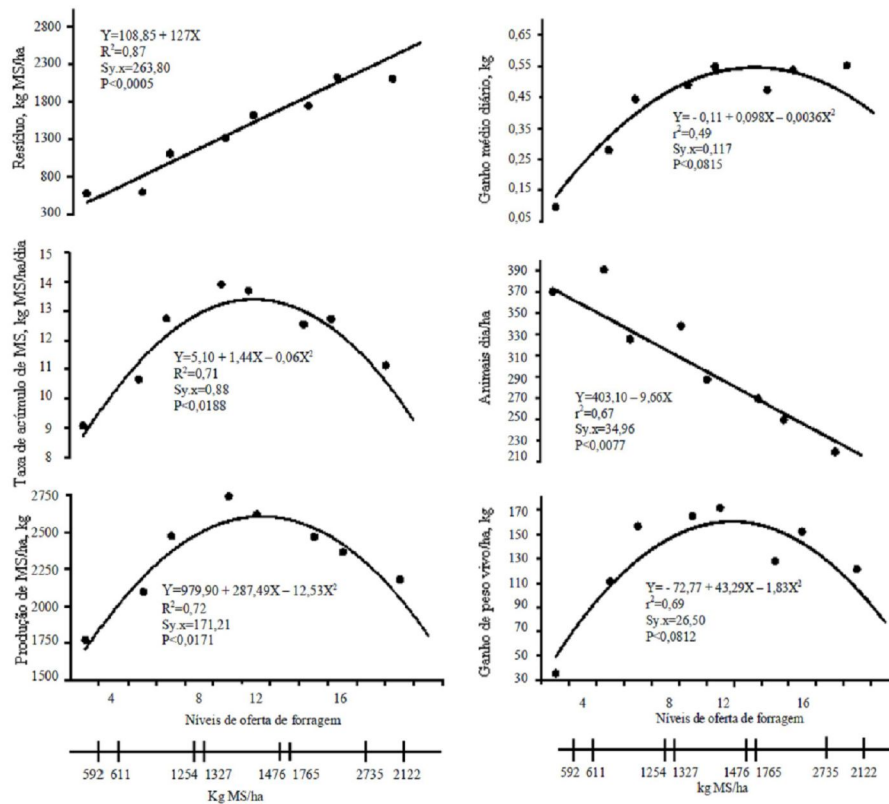


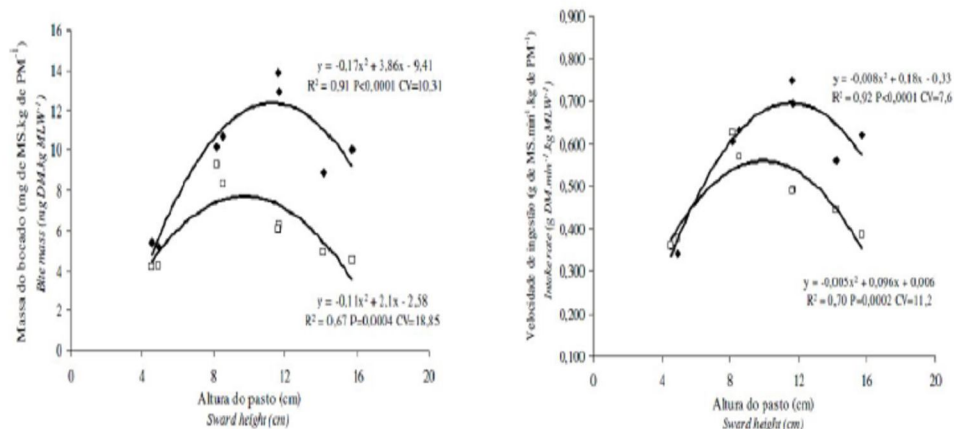
Figura 2. Efecto de la oferta de forraje sobre la masa de forraje remanente, tasa de acumulación de forraje, producción anual de forraje, ganancia diaria por animal y unidad de superficie. Tomado de Moojen y Maraschin 2002.

Los experimentos reportados por Moojen y Maraschin (2002) o Maraschin et al., (1997) se llevaron a cabo sobre Campos con niveles de oferta de forraje fija anual. Mejoras en la masa de forraje de Campo entre 900 a 1800 kg MS/ha o de 4 a 12 % en la OF se asoció con una mejora en la producción de forraje de 1000 kg/ha/año o 3 kg MS/ha/día (Maraschin et al., 1997, Moojen y Maraschin 2002, Figura 2). En los experimentos resumidos en la Figura 2 se encontró una relación cuadrática entre la masa de forraje con la tasa de acumulación y la producción anual de forraje. La máxima producción de forraje se obtuvo entre 1200-1700 kg MS/ha entre 8-13% de OF. La reducción en la acumulación de forraje se explicaría por el incremento de la senescencia en valores que superan a una decreciente fotosíntesis bruta

(Parsons et al., 1988). No obstante los valores de producción de forraje reportados por los experimentos de la Figura 2 entre 1750 a 2750 kg MS/ha resultaron inferiores que experimentos realizados en Uruguay.

Bajo pastoreo de Campos se han caracterizado relaciones entre altura de la pastura y comportamiento ingestivo de vacunos y ovinos (tasa de consumo y tamaño de bocado), donde entre 4 y 12 cm de altura se incrementó la tasa de consumo de forraje explicado en parte por mayor masa de forraje por bocado, (Gonçalves, 2007) Figura 3.

Figura 3. Efecto de la altura del forraje sobre la masa del bocado (3.1) y velocidad de ingestión (3.2) de terneras (■) y ovejas (□) en pastoreo. Tomado de Gonçalves 2007.



■ - Massa do bocado de terneras (●) e ovelhas (□) em pastagem natural, referente aos tratamentos 4, 8, 12, 16 cm.

■ - Velocidade de ingestão de terneras (●) e ovelhas (□) em pastagem natural, referente aos tratamentos 4, 8, 12, 16 cm.

Dichas funciones explicarían la maximización de la ganancia diaria con la altura de la pastura promedio que se registró en OF en el orden de 10 %OF. El mayor consumo de forraje se asoció en forma positiva y negativa con la tasa de consumo y el tiempo de pastoreo respectivamente. Los animales emplearon más tiempo en menor área pero con atributos de la pastura que permiten mayor consumo de nutrientes y/o menor gasto de energía en

pastoreo (Gonçalves 2007). Las relaciones entre masa, altura y estructura de Campos y su relación con la ingestión del forraje que afecta el consumo de forraje diario (tasa de consumo y tasa de bocado) de vacunos y ovinos permitió identificar los valores de masa de forraje donde se optimizaría no solo la producción de forraje sino también el consumo y la conducta de vacunos a pastoreo (Gonçalves, 2007). Esto explicaría la mejora del balance de energía y la ganancia de peso vivo reportada en la Figura 2.

El estado nutricional del rodeo de cría, resultó estimado a través de la condición corporal (CC) que resultó un indicador del reservorio de energía posible de emplear frente a variaciones en las condiciones ambientales. Frente a variaciones en la ingestión de energía es posible emplear la CC para funciones vitales de acuerdo a prioridades definidas por la homeostasis y homeorhesis del animal (Houghton et al., 1990, Short et al., 1990). Una mejora de CC refleja mejor balance energético de la vaca lo cual se asoció positivamente con hormonas metabólicas (leptina, insulina e IGF-I) que informan sobre la relación entre balance consumo de energía y reproducción (Hess et al., 2005). Esto explicaría, las asociaciones entre la CC al parto y con el largo de anestro postparto y la probabilidad de preñez. Vacas con mejor CC durante el otoño (4.4 vs 3.4, escala de 1-8, Vizcarra et al., 1996) alcanzaron mejor performance reproductiva cuando se aplicó destete temporario a inicio de entore. No se encontró diferencias entre grupos en la CC al parto o inicio de entore (Orcasberro et al., 1990). Vacas que 190 días previo al parto no difirieron en CC (5.5) donde un grupo fue sometido a restricción en la alimentación durante la gestación para alcanzar diferencias en CC al parto (5.5 vs 4.8, Escala 1 a 9, Wagner et al., 1988), sin embargo no se diferenciaron en la performance reproductiva, ni en el peso de los terneros al destete cuando las vacas restringidas durante la gestación fueron realimentadas durante la lactancia (Freetly et al., 2000). Piaggio (1994) reporta que la mejor performance individual no siempre se da a igual oferta de forraje entre estaciones del año, esto fundamenta el uso de diferentes



ofertas de forraje entre estaciones del año con el objetivo de mejorar la eficiencia de uso de la energía (Orcasberro et al., 1990; Piaggio, 1994; Freetly et al., 2000).

En sistemas pastoriles criadores el genotipo de la vaca ha demostrado ser una poderosa herramienta para mejorar la eficiencia de uso de la energía (gramos de ternero destetado por kg de MS consumida por la vaca) (Barlow et al., 1988, Jenkins y Ferrell, 1994). Las vacas de cría destinan más del 70% de la energía anual consumida a mantenimiento de funciones vitales (Ferrell y Jenkins, 1985). Se estudió la interacción entre grupo genético x ambiente en la eficiencia de uso de la energía de 9 razas vacunas en 4 niveles de alimentación. La eficiencia de uso de la energía se mantuvo entre 20 y 50 gramos de ternero por kilogramo de MS consumida por la vaca (Jenkins y Ferrell, 1994). En niveles de 3000 kg de MS consumida por año, las vacas de grupo genético Red Poll resultaron las más eficientes en conversión de energía. A medida que la oferta de materia seca se incrementó, las razas con mayor potencial de crecimiento y producción de leche mejoraron la eficiencia de conversión (Jenkins y Ferrell, 1994). Vacas F1 (Angus x Hereford) redujeron el intervalo parto-celo, parto-concepción y mejoraron el porcentaje de preñez en el primer servicio y peso de los terneros al destete con respecto a las razas puras (Cundiff et al., 1974; Morris et al., 1986). Similares diferencias fueron encontradas en experimentos desarrollados en Uruguay donde se evaluó la productividad de vacas Hereford y sus cruzas F1 con las razas Nelore, Angus y Salers (Gimeno et al., 2002) realizadas bajo pastoreo de Campos (Gimeno et al., 2002; Espasandín et al., 2006). En dichos experimentos, los animales puros y cruzas pastorearon en la misma superficie, no se ajustó la cantidad de forraje ofertado por vaca y las vacas F1 resultaron más pesadas que las vacas Hereford. Dichas vacas podrían haber accedido a mejores sitios de alimentación debido a que podrían “dominar” a las más livianas por los mejores sitios de pastoreo (Bouissou, 1982). Por lo tanto, las diferencias en performance animal podrían deberse a mayor consumo de energía de las

vacas F1 (de mayor peso vivo) y no a mayor eficiencia de conversión de kg de forraje a kg de ternero destetado. Barlow et al., (1994) trabajando con vacas Hereford y las F1 de Hereford con Friesian, Simmental y Brahman que pastorearon 3 pasturas de diferente "calidad", alta, media y baja (digestibilidad de la materia orgánica en "alta" de 0.57- 0.78, "media" de 0.52- 0.61 y "baja" de 0.44-0.5) resultaron en diferencias en el ranking de eficiencia productiva (kg de ternero destetado por vaca entorada). Cuando la calidad de forraje resultó "baja", la craza Brahman fue la de mayor producción, en cambio con calidad "alta" de la pastura, la craza Friesian resultó en mayor producción. Sin embargo cuando se evaluó la eficiencia de producción relativo al consumo de forraje encontraron que las vacas F1, Hereford x Brahman fueron las de mayor eficiencia de producción en todos los ambientes (Barlow et al., 1988). Esto resalta la necesidad, por un lado de ajustar la cantidad de forraje asignado (oferta de forraje) a cada grupo de animales lo cual permitirá comparar entre grupos genéticos y cuantificar el consumo de energía de las vacas. El grupo genético de las vacas podría afectar la interacción entre CC, los atributos de la pastura y el estado fisiológico para determinar el balance de energía (Blanc et al., 2006). Los niveles de producto animal dependen de la CC de la vaca, el consumo de energía presente, el potencial de producción de leche y de crecimiento del ternero. El efecto de la CC y el estado fisiológico de las vacas sobre el consumo de energía podría ser diferente según el genotipo de la vaca y afectar así la partición de energía con destino a producción animal (Jenkins y Ferrell, 1994; Blanc et al., 2006). Esto podría explicarse porque hay genotipos que "invierten" energía en la supervivencia y otro que "invierten" en su descendencia (Blanc et al., 2006) lo que resulta en diferencias en la productividad de las vacas medida en kilogramos de ternero.

Debido a que la demanda de energía por parte de los animales varía con el estado fisiológico, mientras que la producción de forraje varía con la lluvia, temperatura y el IAF, un ajuste preciso entre la oferta y demanda de forraje requiere cuantificar la cantidad de forraje asignada por kg de peso vivo,

(Wheeler et al., 1973). Este modelo no ha sido empleado por la investigación de “largo plazo” con animales a pastoreo en Uruguay (Cuadro 1). Son escasos, de corto plazo, sin reporte del diseño y con escasas mediciones sobre la relación planta-animal, los experimentos de pastoreo con la carga animal como tratamiento principal. El único experimento que controló la OF permitió postular modelos de predicción del consumo de forraje y la ganancia diaria de peso vivo con base en la concentración energética de la pastura y la proporción de forraje verde en el forraje disponible (indicador de las posibilidades de selectividad) (Piaggio, 1994).

Bajo este modelo de investigación la carga animal (kg de peso vivo/ha) pasa a ser una variable de respuesta dado que depende de la OF y masa de forraje (Figura 1). La producción por unidad de área podría estimarse a través del producto de la productividad por animal (definida como el producto del peso al destete y el porcentaje de destete) y los kilos de peso vivo por hectárea sostenidos por los cambios en la oferta de forraje.

### 1.3.1 Experimentos de pastoreo de Campos: aportes a la investigación sobre la relación planta-animal en el país y la región.

La literatura sobre diseño y análisis de experimentos de pastoreo, permitió postular una serie de criterios a cumplir para evaluar su posibilidad de aportar a la toma de decisiones en los sistemas pastoriles comerciales de producción (Adams et al., 1999; Bransby y Maclaurin, 2000). Han sido propuestos como deseables: 1) Especificar el diseño experimental de manera de testar las hipótesis planteadas. Los empleados con superior frecuencia han sido el diseño completamente al azar, bloques al azar y en parcelas divididas con replicas en espacio y tiempo. La ausencia de réplicas en espacio y el aumento en los niveles del factor que se quiere estudiar han sido estrategias del diseño planteadas como contradictorias y discutidas en profundidad por Bransby et al., 1988 2) Elección de los tratamientos, niveles e interacción. Arreglos de tratamientos. Los mismos se basan en el modelo

conceptual que se tenga del sistema objeto de estudio. En este caso la Figura 1. Las interacciones entre factores (ejemplo grupo genético de la vaca x oferta de forraje) nos “acercan al funcionamiento” del sistema no obstante complejiza el diseño en el campo y el control experimental 3) Repetición de los tratamientos en tiempo y espacio. La mayoría de las publicaciones periódicas no acepta experimentos de pastoreo sin réplica en espacio y tiempo. 4) Variables relevadas que explican los resultados alcanzados. Los registros de los niveles de las variables de estado del sistema, en este caso masa de forraje y CC de la vacas, contribuye a interpretar el efecto de los tratamientos sobre el resultado del sistema 5) Control de las fuentes de variación que afectan el consumo de forraje, la composición de la dieta o el comportamiento en pastoreo de los animales (carga animal, raza, tamaño corporal, edad, sexo, tamaño del grupo de animales) 6) Modelo estadístico para análisis de los resultados experimentales.

En el Cuadro 1 se presentan y agrupan, de acuerdo a los criterios empleados los experimentos de pastoreo realizados a nivel nacional y la región. No se consideran “experimentos de pastoreo” aquellos donde solamente se registró la respuesta vegetal, aunque la pastura estuviese bajo pastoreo (Bransby y Maclaurin, 2000).

Cuadro 1. Experimentos nacionales y regionales de pastoreo sobre Campos.

Autor	Diseño estadístico	Tratamientos	Réplica temporal y espacial	Variables explicativas del resultado alcanzado	Modelo de análisis estadístico
Formoso 2005	nr	0,8 UG + pastoreo continuo 0,8 UG + pastoreo diferido 1 UG + pastoreo continuo 1 UG + pastoreo diferido 1,2 + pastoreo continuo 1,2 + pastoreo diferido En una relación ovino a bovino de 3 a 1	Desde 1990 a 1993	nr	nr
Ayala y Bermúdez 2005	nr	0,75 UG + pastoreo continuo 0,92 UG + pastoreo continuo 0,92 UG + pastoreo rotativo 1,07 UG + pastoreo rotativo En una relación ovino/bovino 2/1	Desde 1993 a 1996	nr	nr
Olmos 1992	nr	0,6 UG 0,8 UG 0,6 UG pasó a 0,8 UG en 1987 0,8 UG pasó a 1 UG en 1987 Se utilizaron ovinos castrados	Desde 1984 a 1988 Tratamientos con descanso tienen réplica espacial pero no temporal	nr	nr
Rodríguez-Palma et al. 2006	Completamente al azar en la pastura y los animales	Fertilización nitrogenada de 0 o 100 kg de N/ha/año, pastoreado con vacunos de recría en una altura promedio de 8,4 ± 1,7 cm	Desde 2002 al presente, en 2 parcelas cada tratamiento	Consumo de lámina, frecuencia de pastoreo y severidad de defoliación Selectividad	Regresión lineal y análisis de varianza
Piaggio 1994	Completamente	4 niveles de oferta de forraje (5, 7,5, 10 y	desde 1991 a	Consumo de lámina, frecuencia de pastoreo y severidad de defoliación Selectividad	Modelos lineales y Análisis

	al azar en los animales	12,5% del PV por día) sobre <i>Campo</i> mejorado con <i>Lotus corniculatus</i> , con vacunos de recría Holando	1992	animal Consumo de forraje	de varianza.
Orcasberro et al. 1990a	Completamente al azar en los animales	2 niveles de masa de forraje en otoño 500 vs 1200 kg MS/ha (40 días) y destete temporario a inicio de entore, con vacas de cría	Sin réplica temporal	nr	
Barbiel et al. 1992	Parcelas divididas	2 niveles de masa de forraje a inicio de entore, con destete temporario o sin destete, en vacas de cría		nr	
Trujillo et al. 1996	Completamente al azar en los animales	5 niveles de altura de forraje (cm) durante invierno 1991 y 1992, (90 a 120 días), con vacas de cría	1991 y 1992	nr	Modelos lineales generales (GLM) de programa SAS
Moojen 1991 (Brasil)	Bloques completos al azar	4 niveles de oferta de forraje, 4, 8, 12 y 16% del PV por día durante 1 año (mayo de 1989 a abril de 1990) con vacunos de recría	2 repeticiones evaluados en 1989-1990	nr	Modelos de Regresión lineal, cuadrático y cúbico
Leal 1993 (Brasil)	Bloques completos al azar	4 Niveles ofertas de forraje 4, 8, 12 y 16% del PV por día entre setiembre de 1990 y mayo de 1991, con vacunos de recría	2 repeticiones evaluado en 1990 a 1991 (253 días)	nr	Análisis de regresión polinomial del programa SANEST, análisis de varianza con 2 fuentes de variación (oferta de forraje y estación del año)
Setelich 1994 (Brasil)	Bloques completos al azar	4 ofertas de forraje 4, 8, 12 y 16% del PV por día entre setiembre de 1992 a abril de 1993, con vacunos de recría	2 bloques evaluados en 1992 a 1993	nr	Modelos de regresión lineal y cuadrática con 2 fuentes de variación oferta de forraje y estación del año
Orcasberro et al. 1990b	Completamente al azar en los animales	3 Niveles de masa de forraje (500, 1000 y 1500 kg MS·ha <sup>-1</sup> ), durante 6 meses, con ovinos castrados		Consumo de forraje Selectividad animal	Análisis de varianza

Referencias: nr = no reportado, UG = unidad ganadera una vaca seca de 380 kg de peso vivo

El enfoque de investigación basado en experimentos diseñados con la carga animal fija no reportan el diseño estadístico del experimento, no relevaron variables que contribuyan a explicar el resultado productivo alcanzado (consumo de energía, selectividad animal, gasto de energía en pastoreo) y no reportan el modelo estadístico de análisis de la información generada (Formoso, 2005; Ayala y Bermúdez, 2005). Si tomamos como referencia el modelo conceptual planteado en la Figura 1, confirmamos que dichos experimentos no contribuyen a cuantificar las relaciones entre variables de estado. Por otra parte dichos experimentos no permiten identificar rangos óptimos físicos y económicos de carga animal para predios ganaderos del Uruguay. No fue posible predecir el consumo de forraje o la performance animal individual lo cual condiciona un escaso aporte para la toma de decisiones en sistemas de cría vacuna sobre campo natural.

El planteo de investigación a largo plazo para determinar la carga animal “óptima” en pastizales de EEUU, ubicó como principal variable de respuesta al porcentaje de utilización del forraje que no redujo la producción de forraje y al mismo tiempo resultó útil a la toma de decisiones en sistemas reales (Holechek, 1988). Sin embargo, este tipo de aproximación a la estimación de la carga animal óptima no tuvo en cuenta las variaciones estacionales e interanuales en la producción de forraje y los cambios en los requerimientos animales en diferentes momentos del año.

Los experimentos que impusieron tratamientos de altura, masa y OF permitieron reportar modelos como la Figura 2 y relaciones entre la cantidad de forraje, CC y la ganancia de peso vivo, lo cual aporta relaciones entre variables de estado del sistema objeto de estudio (Orcasberro et al. 1990 a y b; Trujillo et al., 1996; Moojen, 1991; Leal, 1993; Setelich, 1994; Piaggio, 1994). Controlar el forraje asignado resulta necesario cuando se quiere predecir la performance individual de los animales e influir en la producción de forraje, o cual a mediano plazo determinará la carga animal. Bajo carga animal fija, la cantidad y calidad del forraje disponible es permitido que varíe naturalmente e incluso que acumule forraje seco durante el pastoreo,

mientras que con carga variable se controla directamente el nivel de forraje presente y asignado” (Wheeler et al., 1973)

Los experimentos nacionales, que reportan el efecto de la altura, masa u oferta de forraje de Campos sobre la performance productiva de los animales, no reportaron los cambios en la producción de forraje mientras que los realizados en Brasil evaluaron la producción de forraje, la carga animal y la performance individual de los animales. No obstante, son escasos los antecedentes que reportan variables que podrían explicar la producción animal (tasa de consumo de forraje, velocidad de ingestión, Figura 3) (Gonçalves, 2007). En dichos experimentos de Brasil el aumento de la oferta de forraje fija anual mejoró la productividad animal y unidad de superficie pero provocó una reducción en los niveles de carga animal.

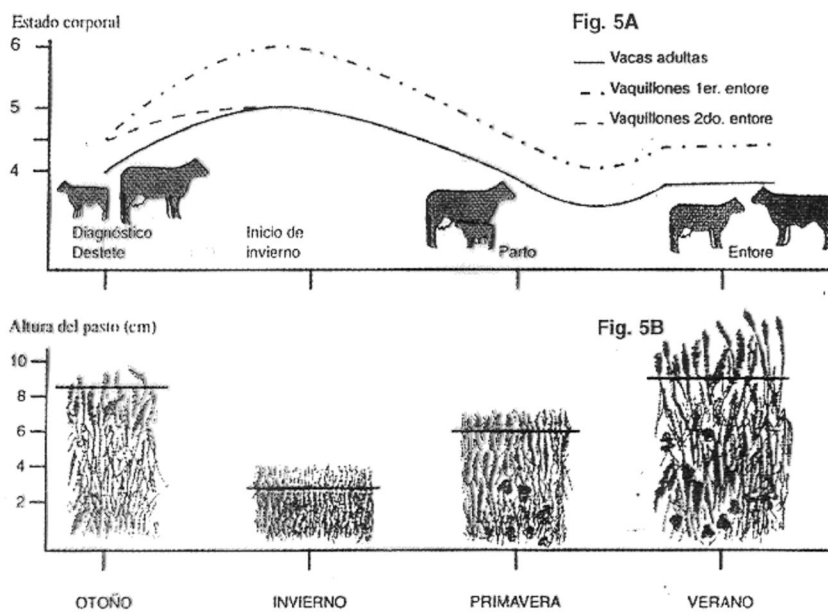
A nivel nacional e internacional ha sido reportado el efecto de la masa o altura de forraje y oferta de forraje sobre la CC, el peso al destete de los terneros, la producción de leche de las vacas y el porcentaje de preñez de vacas de cría en pastoreo (Nicol, 1979; Baker et al., 1981; Wright y Russel, 1986; Wright y Whyte, 1989; Trujillo et al., 1996). No obstante, en estos trabajos, no se reportan los efectos de los cambios en la masa de forraje sobre la producción de forraje y la carga animal durante el ciclo productivo. Dichos resultados permitirían tomar decisiones de corto plazo para mejorar la performance animal, no obstante, a largo plazo sería necesario cuantificar las relaciones entre altura y producción de forraje y la carga animal.

Los experimentos realizados en Facultad de Agronomía durante el período 1989-1992 se plantearon modificar la altura del forraje de Campos y estudiar los cambios en la condición corporal (CC) eficiencia reproductiva y productiva de vacas de cría (Orcasberro et al., 1990a; Barbiel et al., 1992; Trujillo et al., 1996). Esta serie de experimentos permitió postular un modelo de cambio de CC y altura de pasto para vacas de cría en pastoreo de Campos (Figura 4). Este modelo propone que al parto e inicio del entore la CC se ubique en valores “mínimos óptimos” para maximizar la probabilidad de preñez (Orcasberro et al., 1990a; Trujillo et al., 1996). Los niveles de CC



propuestos y la aplicación de destete temporario permiten obtener elevada tasa de preñez (>80%) a través de la reducción en la duración del anestro posparto, sin afectar negativamente el peso de los terneros al destete. Este enfoque experimental resulta una guía para tomar decisiones sobre las relaciones planta-animal con vacas de cría en pastoreo de Campos. Los resultados productivos resultan reproducibles cuando se controla la CC y se aplica destete temporario (Soca et al., 2007). No obstante, en la propuesta de la Figura 4 resulta una incógnita el efecto de la altura de forraje sobre la carga animal y la producción de forraje.

Figura 4. Propuesta de cambio de altura del forraje y condición corporal durante el año para “optimizar” la eficiencia reproductiva de vacas de cría en pastoreo de Campos (Soca y Orcasberro, 1992).



El experimento reportado por Piaggio (1994) constituye el único antecedente que en la región cuantificó simultáneamente la producción animal y la selectividad, el consumo de forraje y la conducta de pastoreo. Esto

constituye una base sólida para interpretar los resultados y recomendar prácticas de manejo. Los experimentos realizados en el Sur de Brasil que emplearon la oferta de forraje como tratamiento llegaron a recomendaciones acerca del manejo de la carga animal en pastoreo de Campos. Mantener la oferta de forraje entre 11- 13 kg MS·100 kg de PV por día se asoció con niveles de masa de forraje entre 1300 a 1600 kg MS ha<sup>-1</sup> (Nabinger et al., 2000). Sin embargo en Uruguay no se dispone de una guía de manejo de carga animal en función de la masa de forraje u oferta de forraje que optimice simultáneamente la producción animal y de forraje. No obstante, experimentos que utilizaron oferta de forraje fija o variable entre estaciones del año obtuvieron niveles de productividad animal de 150-180 kg PV·ha<sup>-1</sup>·año<sup>-1</sup> y 230 kg PV·ha<sup>-1</sup>·año<sup>-1</sup> respectivamente (Nabinger et al., 2000; Soares et al., 2003). Estas mejoras, han sido atribuidas a cambios en la estructura de la pastura y su relación con la producción de forraje, composición química del forraje cosechado y su consecuencia en nivel de producción por animal y unidad de superficie lo cual refleja el potencial de producción animal de *Campos* ante modificaciones en la oferta de forraje. Es posible postular la hipótesis que el control de la oferta de forraje y el empleo de grupos genéticos de vacas cruza en sistemas de cría vacuna podría mejorar en forma simultánea la producción, uso y conversión de energía en producto animal. Dichas mejoras, no involucran cambios en los insumos empleados, por lo que se trasladarían al resultado físico y económico de la producción de carne en sistemas de cría vacuna.

## 2. EFFECT OF FORAGE ALLOWANCE AND COW GENOTYPE ON PASTURE AND COW-CALF PRODUCTIVITY IN CAMPOS GRASSLAND<sup>1</sup>

1 Martín Do Carmo, 2 Mariana Carriquiry, 3 Lynn Sollenberger and 4 Pablo Soca

Authors are:

1 Master of Animal Science Student, School of Agronomy, Universidad de la República, Garzón 780, Montevideo, Uruguay.

e-mail: [martindocarmocorujo@gmail.com](mailto:martindocarmocorujo@gmail.com)

Present address: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Ruta 5 km 386, Tacuarembó, Uruguay. CP 45000

2 Associate Professor, Animal Production and Pastures Dept, School of Agronomy, Universidad de la República, Garzón 780, Montevideo, Uruguay.

3 Professor of Grassland Science, Agronomy Department, University of Florida, Gainesville, Florida, USA.

4 Professor, Animal Production and Pastures Dept, School of Agronomy, Universidad de la República, Ruta 3 km 363, Paysandú, Uruguay.

### 2.1 ABSTRACT

Controlling forage allowance could be a useful tool to increase pasture and cow-calf production efficiency in environments with variable climate conditions. This study was conducted to determine the effect of two levels of forage allowance, Hi (4 kg DM per kg of liveweight [LW]) and Lo (2.5 kg DM

---

<sup>1</sup> Artículo escrito para publicar en Grass and Forage Science

per kg of LW), on Campos grassland characteristics and beef cow-calf productivity of pure (Pu, Hereford and Angus) and crossbred (Cr, F1 reciprocal crosses) beef cows. Pasture mass and accumulation, stocking rate, cow body condition score (BCS), energy intake and calf LW at weaning were estimated from August 2007 to March 2010. Forage mass and accumulation were greater in Hi than in Lo, while stocking rate did not differ between Hi and Lo, and BCS was greater in Hi than in Lo, and in Cr than Pu cows. Energy intake and calf LW at weaning were greater for Hi than Lo, and for Cr than Pu cows. Biological efficiency (energy intake / kg of calf LW at weaning) was enhanced by the use of crossbred cows (30.2 vs 28.7 grams of calf per Mcal of net energy). It is concluded that control of forage allowance and crossbred cows provides significant advantages for livestock production in Campos grassland.

Key words: beef cows, stocking rate, forage traits, beef cow-calf efficiency, rangeland.

## 2.2 INTRODUCTION

Campos grasslands (Allen *et al.*, 2011) occupy 700 000 km<sup>2</sup> in South America (Paruelo *et al.*, 2010). They provide low-cost feed that serves as the primary nutrient source to livestock in this region. Additionally, these grasslands supply ecosystem services (Paruelo *et al.*, 2010) and demonstrate high resistance to overgrazing and extreme weather events.

Ruminants have the ability to convert low-quality forage, like that on Campos grassland, to useful products through the grazing process. The control of grazing, through the management of stocking rate, is the main tool available for regulating the amount of solar energy captured and transformed into animal products (Briske and Heitschmidt, 1991). In environments with large

variation in forage production due to seasonal differences in rainfall or temperature, the optimal stocking rate to reach a specific performance target varies among seasons and years (Mott, 1960; Wheeler *et al.*, 1973). Forage allowance, defined as kg of forage dry matter (DM) per kg of animal live weight (LW; Sollenberger *et al.*, 2005; Allen *et al.*, 2011), may be a more useful tool than stocking rate alone for controlling the grazing process because it integrates both feed availability (forage mass) and feed requirements (animal LW). Forage allowance affects forage mass, a variable that is a primary driver of both forage production and animal intake (Parsons *et al.*, 1983; Sollenberger *et al.*, 2012). Because forage mass controls the slope of the average daily gain (ADG) response to stocking rate and the extent to which the nutritive quality potential of the forage can be expressed in animal performance, controlling forage allowance can make it possible to sustain near maximum live weight gain per hectare throughout the year (Sollenberger and Vanzant, 2011).

Research on Campos ecology (Altesor *et al.*, 1998; Paruelo *et al.*, 2010) and animal production (Berretta *et al.*, 2000) has paid little attention to the concept of forage allowance and to the complex interactions among climate, soils, plants and animals (Nabinger *et al.*, 2000). In contrast, forage allowance has been studied to a much greater degree on sown or naturalized pastures (Baker *et al.*, 1981; Guerrero *et al.*, 1984; Wales *et al.*, 1999; Stakelum *et al.*, 2007).

Use of fixed stocking rate on Campos grassland, has resulted in low beef cattle production, ranging from 70 to 120 kg LW ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> (Berretta *et al.*, 2000). The potential for improving animal performance on the Campos using forage allowance to guide management decisions was demonstrated by Nabinger *et al.*, (2000) who increased beef production to 150 to 180 kg LW ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>. Others have reached up to 230 kg LW ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> if forage allowance was varied among seasons (Soares *et al.*, 2003). Along with there being few studies evaluating use of forage allowance to guide grazing management on

the Campos, nearly all of those studies used growing steers as their animal model (Piaggio 1994; Maraschin *et al.*, 1997; Soares *et al.*, 2003) instead of the much more prevalent cow-calf system.

Cow-calf systems transform less than 30% of the annual metabolizable energy intake into calf product (Ferrell and Jenkins, 1985). To increase productivity and efficiency in beef systems, greater weaning rate and calf LW at weaning are necessary. Management of the cow BCS at calving and during the breeding season can partially address these goals (Short *et al.*, 1990). Allowing animal weight and BCS to vary throughout cattle production cycles (called weight cycling) has been suggested as a tool to increase efficiency of energy use in cow-calf systems (Freetly *et al.*, 2000). Cows that lost some BCS during pregnancy consumed less energy than cows that maintained BCS, but pregnancy rate and calf LW at weaning were similar (Freetly *et al.*, 2000). Illustrating this response, Soca *et al.*, (2007) reported that to achieve 80% pregnancy rates in multiparous Hereford cows grazing Campos, it is necessary to achieve moderate BCS of 5 (scale from 1 to 8; Vizcarra *et al.*, 1986) during autumn and BCS of 4 at calving and during the breeding season, i.e., a loss of one unit of BCS during winter. To capitalize on weight cycling it is necessary to control feed availability per cow in each season, an issue that can be addressed by controlling seasonal forage allowance.

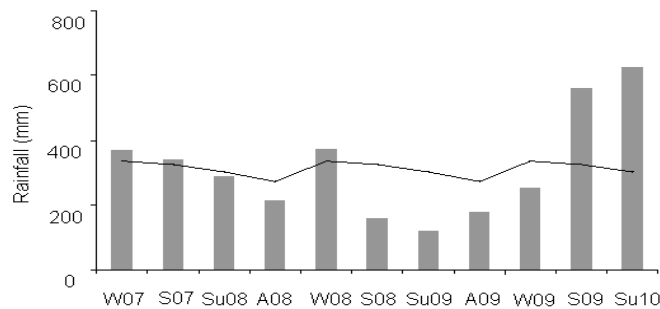
In addition to nutritional management through controlling forage allowance, beef cow genotype affects production efficiency (Jenkins and Ferrell, 1994). Cundiff *et al.*, (1974) and Morris *et al.*, (1987) found shorter interval to first estrus, higher pregnancy rate, weaning rate and kg of calf weaned per cow exposed in F1 cows (Angus and Hereford reciprocal crosses) compared with purebred cows (Angus and Hereford).

Thus to increase productivity and efficiency in beef systems there appears to be a role for both improved grazing management by controlling forage allowance and use of crossbred cattle. The objective of this experiment was to quantify the effect of forage allowance and cow genotype on pasture traits and beef cow productivity grazing Campos.

## 2.3 METHODS

### 2.3.1 Experimental site

The study was conducted on 95 ha of Campos grassland located at the Prof. Bernardo Rosengurtt Experimental Station, School of Agronomy, Uruguay (32° 35' S, 54° 15' W) between August 2007 and March 2010. Annual rainfall is nearly 1200 mm and climate type classified as Cfa (subtropical, humid, without dry season, where mean temperature in the coldest month is between -3°C to 18°C and the warmest is above 22°C) according to Köppen (Panario and Bidegain, 1997). During the first spring-summer (2007-2008), rainfall was similar to the long-term average (1961-1990), but a drought occurred during the second spring-summer period (2008-2009) when rainfall was 55% below the long-term average. In contrast, during the last spring-summer period (2009-2010) rainfall was 88% above the long-term average (Figure 1).



**Figure 1.** Seasonal rainfall (grey bars) quantified at study site from winter 2007 to summer 2010 and long-term (black line) seasonal average (1961 to 1990) obtained from meteorological station at Melo city, 24 km east of the research station (Dirección Nacional de Meteorología, 2011). Seasons were defined as summer (Su) from December to February, autumn (A) from March to May, winter (W) from June to August and spring (S) from September to November, and years 2007, 2008, 2009, and 2010 are indicated as 07, 08, 09, and 10, respectively.

### 2.3.2 Experimental design and treatments

The experimental design was a randomized complete block with two blocks that were based on differences in soil characteristics. Block 1 consisted of Hapludalfs and Argiudolls soils, and Block 2 of Hapluderts and Argiudolls soils. Campos grassland were dominated by the plant species *Axonopus affinis* Chase, *Oxalis* sp., *Cyperus* sp., *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Eryngium nudicaule* Lam., *Gaudinia fragilis* (L.) P. Beauv., *Chevreulia sarmentosa* (Pers.) S. F. Blake, *Stipa setigera* (Trin & Rupr.) Backworth, *Paspalum notatum* Fluegge and *Coelorhachis selloana* (Hack.) A. Camus (F. Olmos, personal communication) similar to grassland composition reported for a site near to the experimental station (Altesor *et al.*, 1998).

Each block consisted of four experimental units to which the 2 x 2 factorial combination of forage allowance (Hi and Lo) and cow genotype (Pu and Cr)



treatments were allocated. Forage allowance, the ratio between forage mass and stocking rate (kg of forage dry matter [DM] per kg of LW, Sollenberger *et al.*, 2005; Allen *et al.*, 2011), varied with season of year and levels for Hi and Lo, respectively, were 5 and 3 kg DM kg LW<sup>-1</sup> during autumn; 3 and 3 kg DM kg LW<sup>-1</sup>, during winter; and 4 and 2 kg DM kg LW<sup>-1</sup> during spring and summer. Levels of forage allowance chosen were a consequence of previous work of Piaggio (1994) where maximum animal LW (with steers) per unit area was achieved at around 2.5 kg of DM per kg LW of forage allowance and maximum daily gain throughout the year occurred at forage allowance of around 4 or more kg of DM per kg LW. Seasonal variation reflects the model of BCS change reported by Soca *et al.*, (2007) that proposed BCS of 5 (scale from 1 to 8) at the beginning of winter and BCS 4 at calving and breeding season. Continuous stocking method was applied throughout the year (Allen *et al.*, 2011), with forage allowance adjusted monthly starting in August 2007 using the “put and take method” (Mott and Lucas, 1952). Forage allowance, and thus stocking rate, was adjusted taking into account the future forage production (for the next period); we assumed higher forage production (10 vs. 5 kg DM ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) in Hi than in Lo, with the exception of winter when we assumed zero forage production in both treatments.

Area of experimental units was different in the two blocks. Block 1 consisted of 60 ha and experimental units were 20.01 (Hi-Cr), 19.67 (Hi-Pu), 10.12 (Lo-Cr) and 9.64 (Lo-Pu) ha in area respectively. Block 2 was 35 ha and experimental units were 12.5 (Hi-Cr), 12.27 (Hi-Pu), 5.35 (Lo-Cr) and 5.26 (Lo-Pu) ha in area, respectively.

### 2.3.3 Pasture measurements

Forage mass (kg DM ha<sup>-1</sup>) was estimated monthly by the comparative yield method (Haydock and Shaw, 1975). Monthly, for each experimental unit 11 ± 1.5 (mean ± SD) reference quadrats of 0.25 m<sup>2</sup> were cut at ground level and

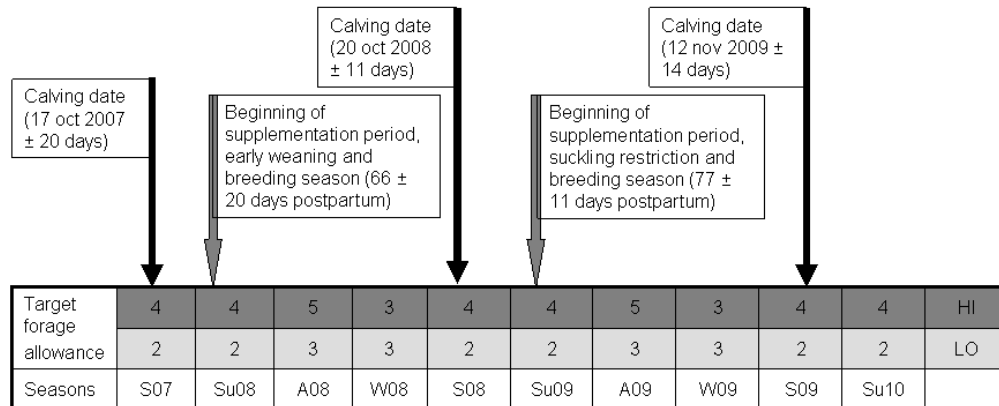
187 ± 95 quadrats per plot were visually measured. Forage height (cm) was estimated with a ruler for the reference quadrats, according to Hodgson (1990). Forage accumulation (kg DM ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), a descriptor of forage production, was estimated using portable cages, and it was calculated as dry weight change per unit area per day between the previous sampling date and the current one (t Mannelje, 1978). The measurement period of forage accumulation was from winter 2007 to summer 2010, in 19 periods of 51 ± 19 d (range 23 to 111 d). Seasonal estimation of forage accumulation was made by weighted average of daily forage accumulation for each period in that season.

Laboratory analyses were conducted using forage samples clipped to ground level from reference quadrats described above for measures of pasture mass. Forage from approximately 17 ± 12 quadrats per experimental unit was composited. The composite sample (one per experimental unit per season) was weighted to represent the forage mass of each reference quadrat sample included in that composite. Forage samples were dried to constant weight at 60°C, weighed, then double-ground using a Wiley mill (Model 4 Thomas-Wiley Laboratory Mill, Thomas Scientific, Swedesboro, NJ) to pass through a 1-mm screen for chemical composition analyses. Analysis of forage dry matter (DM, 105°C), ash (550°C), crude protein (Kjeldahl, AOAC 2007) and acid detergent fiber (ADF, Fiber Analyzer 200, Ankom Technology Corporation, Fairport, N.Y. Van Soest *et al.*, 1991) were performed.

#### 2.3.4 Animals

Testers and extra cows belonged to a group of experimental animals described by Espasandin *et al.*, (2006). Thirty Pu (Hereford and Aberdeen Angus) and thirty Cr (F1 reciprocal Hereford and Angus crosses) multiparous cows, aged four to eight years, with normal calving and pregnancy confirmed

by ultrasound were randomly assigned to the experimental units. Tester cows were maintained in the experimental unit and extra cows with similar physiological stage and genotype were added or removed based on the measurement of forage mass. Tester cows were maintained on the same treatment throughout the experiment if they calved annually. Cow liveweight (LW, kg) and body condition score (BCS) were assessed monthly. Cow LW was measured without fasting during the morning and within one hour of when animals were removed from experimental units. Cow BCS was visually assigned on a scale ranking from 1 = very thin to 8 = very fat (Vizcarra *et al.*, 1986). Cow LW and BCS were averaged within a season. Calf LW without fasting was assessed at calving and at the beginning of the breeding season when they were separated from the cows (early weaning at  $66 \pm 20$  d) or when suckling restriction was applied (calves fitted with nose plates for 11 d, at  $76 \pm 11$  d postpartum). During the first and second breeding seasons supplement period with rice bran began with suckling restriction and continued for 20 d at level of 2 kg per cow per day on fresh basis (86.5% DM, 13.5% CP, 44% NDF, 13.5% ether extract). Calving and breeding seasons and supplement period within the seasons is shown in Figure 2. In 2010, cows were not mated, definitive weaning was performed at  $132 \pm 15$  d postpartum and cows were not supplemented during the postpartum, see Figure 2. Calf average daily gain (ADG) was calculated for the lactation period from calving to weaning. Male calves were castrated at birth.



**Figure 2.** Mean date  $\pm$  standard deviation of calving (black arrow) and beginning of breeding season (grey arrow) weaning or suckling restriction and period of supplementation that lasted for 20 days in both years (2007 and 2008). Seasons were defined as summer (Su) from December to February, autumn (A) from March to May, winter (W) from June to August and spring (S) from September to November, and years 2007, 2008, 2009 and 2010 are indicated as 07, 08, 09, and 10, respectively.

### 2.3.5 Stocking rate and actual forage allowance

Stocking rate ( $\text{kg LW ha}^{-1}$ ) was estimated as a seasonally weighted average from monthly values. Actual forage allowance was estimated as the ratio between the seasonal average forage mass ( $\text{kg DM ha}^{-1}$ ) and seasonal average stocking rate ( $\text{kg LW ha}^{-1}$ ; Sollenberger *et al.*, 2005; Allen *et al.*, 2011).

### 2.3.6 Calculations and statistical analysis

Net energy requirements (NE req) were estimates in Mcal per cow (plot average) but also in Mcal per kg of metabolic body weight ( $\text{LW}^{0.75}$ ) to take into account the differences in LW between cows, using energy requirements

(NRC, 2000) of the cow-calf pairs. Calculations were based on cow LW and BCS, days of gestation, calf LW at birth and energy on milk (milk production and composition during the lactation period was taken from Gutierrez *et al.*, 2013). Biological efficiency (grams of calf weaned per Mcal of energy consumed during the gestation-lactation period, 378 d) was estimated using NE req (input) per cow and calf LW at weaning (output).

All data were analyzed with pasture as experimental unit. Forage mass, height, accumulation, and chemical composition; cow LW and BCS; calf LW at weaning and ADG; stocking rate, actual forage allowance and NE req (Mcal NE cow d<sup>-1</sup> and NE req LW<sup>0.75</sup> d<sup>-1</sup>) were analyzed by repeated measures (season as the repeated measure) using the MIXED procedure (SAS Institute, Cary, NC, USA, 2002). The model included forage allowance, cow genotype, season and their interactions as fixed effects and block as a random effect. For calf ADG and calf LW at weaning the model included year and sex of the calf as fixed effects and days to weaning as a covariate. The covariance structure used in all variables was first order autoregressive with the exception of forage accumulation for which compound system covariance structure was applied. Kenward-Rogers procedure was used to adjust the denominator degrees of freedom. The initial values (August 2007) of forage mass, height and accumulation, and cow LW and BCS were used as covariates in their respective analyses. The effect of cow genotype was removed from the model for analyses of pasture characteristics, stocking rate and actual forage allowance because it was not significant ( $P > 0.20$ ). Tukey–Kramer tests were conducted for mean separation ( $\alpha = 0.05$ ). Correlations between variables were performed by PROC CORR of SAS. Analysis of covariance between seasonal rainfall and forage accumulation (excluded data from winters) was performed by PROC MIXED of SAS to test if slopes were different from zero, and one or more models were needed. Slopes were different from zero, but slopes for the two forage allowances were not different ( $P > 0.05$ ), thus one model, performed by PROC REG, was

adequate to describe the data. A simple analysis of variance with PROC MIXED was used to analyse biological energy efficiency where the model included forage allowance, cow genotype and the interaction as fixed effects and block as a random effect.

## 2.4 RESULTS

Forage allowance affected all the variables with the exception of ADF and CP concentrations and stocking rate. All response variables were affected by season; however, year did not affect calf LW at weaning or calf ADG (Table 1). Cow genotype affected all the animal response variables; however, interaction of forage allowance and cow genotype only tended to affect NE req (P = 0.1) and did not affect the animal responses (Table 1).

Table 1. Significance (probabilities) of the effects of forage allowance (FA), season (S), cow genotype (G), year (yr) and interactions, for variables measured during the experiment.

Variable	Effects							
	FA	S	FA x S	G	FA x G	G x S	yr	yr x FA
<b>Forage mass</b>	<0.05	<0.01	<0.05	-	-	-	-	-
<b>Forage height</b>	<0.05	<0.01	<0.05	-	-	-	-	-
<b>Forage accumulation</b>	0.05	<0.05	0.71	-	-	-	-	-
<b>Forage ADF<sup>1</sup></b>	0.34	<0.01	0.15	-	-	-	-	-
<b>Forage CP<sup>2</sup></b>	0.54	<0.01	0.57	-	-	-	-	-
<b>Stocking rate</b>	0.21	<0.01	<0.01	-	-	-	-	-
<b>Actual forage allowance</b>	<0.01	<0.01	<0.01	-	-	-	-	-
<b>NE req per cow<sup>3</sup></b>	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.10	<0.01	-	-
<b>NE req<sup>7</sup> per LW<sup>0.75</sup></b>	<0.05	<0.01	0.27	0.10	0.38	<0.05	-	-
<b>BCS<sup>4</sup></b>	<0.01	<0.01	<0.05	<0.05	0.88	0.52	-	-
<b>Cow LW<sup>5</sup></b>	<0.01	<0.01	<0.05	<0.05	0.45	0.97	-	-
<b>Calf LW<sup>5</sup> at weaning</b>	<0.01	-	-	<0.01	0.55	-	0.19	<0.10

<b>Calf ADG</b> <sup>6</sup>	<0.01	-	-	<0.01	0.99	-	0.16	0.10
------------------------------	-------	---	---	-------	------	---	------	------

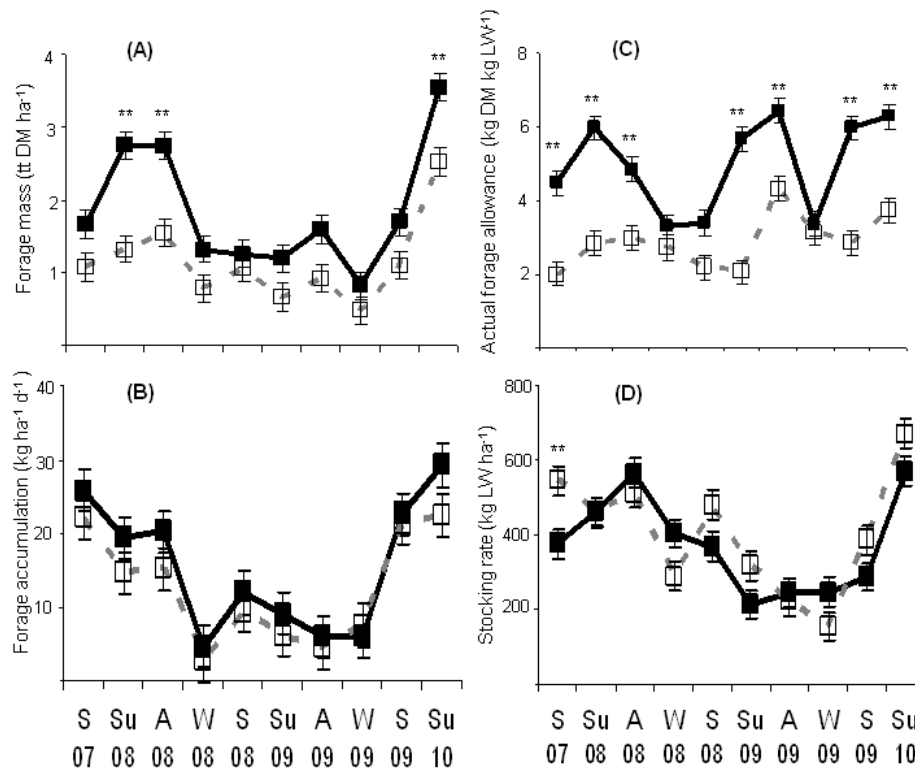
<sup>1</sup> ADF indicates acid detergent fibre, <sup>2</sup> CP indicates crude protein, <sup>3</sup> NE req indicates net energy requirements, <sup>4</sup> BCS indicates body condition score, <sup>5</sup> LW indicates live weight, <sup>6</sup> ADG indicates average daily gain, <sup>7</sup> indicates NE requirements per metabolic body weight.

#### 2.4.1 Forage mass, height and accumulation

Forage mass for the period from august 2007 to march 2010 was 63% greater in Hi than in Lo ( $1860 \pm 114 \text{ kg ha}^{-1}$  vs.  $1140 \pm 114 \text{ kg ha}^{-1}$ ), and forage height was 54% greater in Hi than in Lo ( $5.4 \pm 0.18 \text{ cm}$  and  $3.5 \pm 0.18 \text{ cm}$ , Table 1). Forage mass and forage height differed between Hi and Lo during summer 2008, autumn 2008 and summer 2010 (Figure 3).

Forage accumulation was 21% greater ( $P = 0.05$ ) in Hi than in Lo ( $14.7 \pm 1.7$  vs  $12.1 \pm 1.7 \text{ kg DM ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ), but interaction between forage allowance and season was not detected (Table 1). Linear regression between forage accumulation and rainfall was significant ( $P < 0.0001$ ) and best described by a quadratic relationship,  $y = -6.09 + 0.1169 x - 0.0001099 x^2$ , ( $r^2 = 0.5$ ,  $P < 0.0001$ ) where  $x$  is accumulated rainfall for each season (spring, summer or autumn). During winter, forage accumulation was limited by temperature and did not respond to rainfall, but during spring, summer and autumn it varied with rainfall. For this reason, season had a greater effect on forage accumulation than did forage allowance (Table 1).

Forage allowance did not affect ADF or CP ( $P > 0.2$ ) however both were affected by season (Table 1). Higher CP and lower ADF occurred during spring and differed with the other seasons (CP = 10.5 vs.  $8.1 \pm 0.33$  and ADF = 35.9 vs.  $40.5 \pm 1.0$ ).



**Figure 3.** Change in mean ( $\pm 1$  S.E.), during the experimental period, of forage mass (A), forage accumulation (B), actual forage allowance (C) and stocking rate (D), in Hi (■) and Lo (□) forage allowance treatments. Differences between Hi and Lo are indicated with \*\* when  $P < 0.05$ . Seasons were defined as summer (Su) from December to February, autumn (A) from March to May, winter (W) from June to August and spring (S) from September to November, and years 2007, 2008, 2009 and 2010 are indicated as 07, 08, 09, and 10, respectively.

#### 2.4.2 Stocking rate and actual forage allowance

Average stocking rate did not differ between Hi and Lo (Table 1;  $382$  vs.  $398 \pm 7$  kg LW ha<sup>-1</sup>, respectively), but interaction between forage allowance and season was detected. Interaction occurred because during spring 2007 (at start of experiment) (Figure 3) stocking rate was greater ( $P < 0.05$ ) in Lo than



in Hi, but differences were not observed during the other seasons. Stocking rate was correlated ( $P < 0.0001$ ) with forage mass,  $r = 0.65$ , and was not correlated with forage allowance ( $P = 0.5$ ).

Actual forage allowance was above the target allowance in Hi and Lo (Figure 3F). Forage allowance differed between Hi and Lo during all the seasons but S08 and W08 and W09. Average difference between Hi and Lo was  $1.9 \pm 0.14$  kg DM kg LW<sup>-1</sup>, but during spring, summer and autumn seasons it was  $2.5$  kg DM kg LW<sup>-1</sup> ( $5.5$  vs.  $3$  kg DM kg LW<sup>-1</sup>).

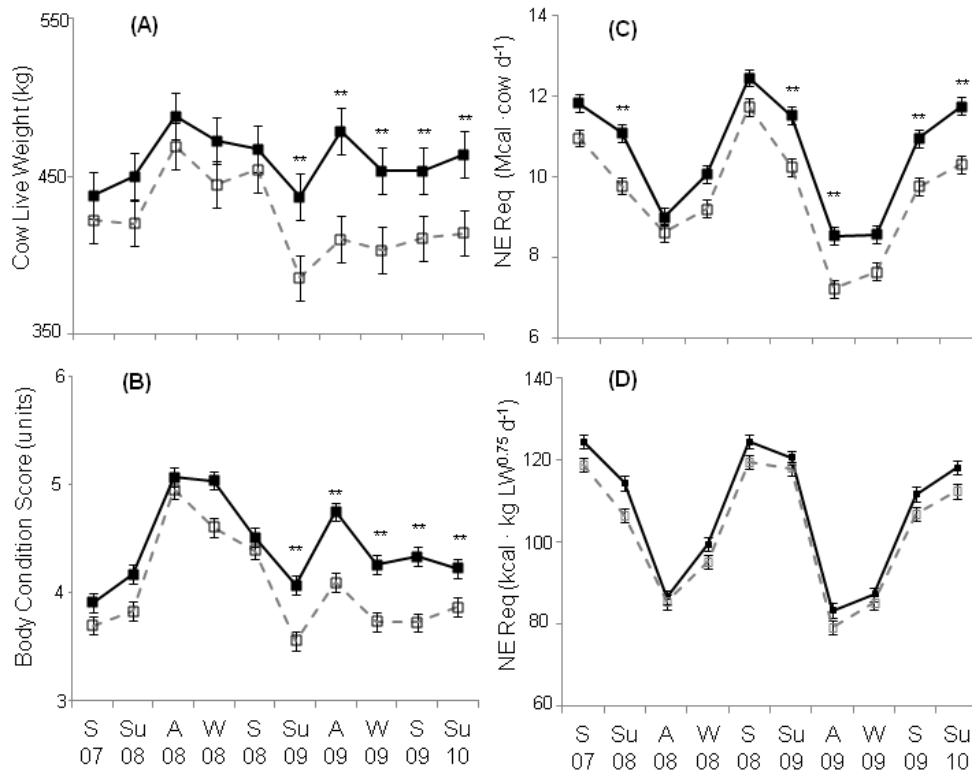
#### 2.4.3 Animal performance and net energy requirements

Interaction between forage allowance and season was detected for cow BCS and LW (Table 1). Cow BCS and LW were greater for Hi than Lo from summer 2009 to summer 2010 (Figure 4B and 4C). Cow BCS and LW were greater in average in Cr than in Pu ( $4.2 \pm 0.04$  and  $455 \pm 13$  vs.  $4.0 \pm 0.04$  and  $424 \pm 13$  kg, respectively).

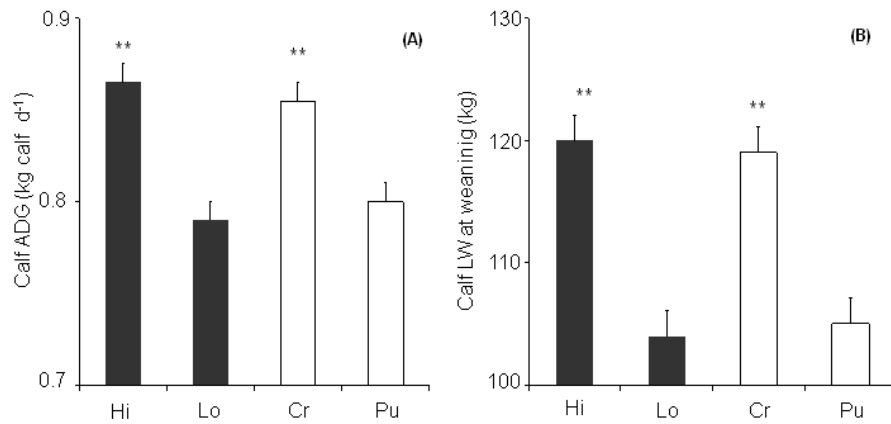
Net energy requirements per cow (NE req, Mcal cow d<sup>-1</sup>) were affected by interaction of forage allowance x season and cow genotype x season, plus main effects (Table 1). However NE req per LW<sup>0.75</sup> was not affected by forage allowance x season but was affected by forage allowance on average ( $107$  vs  $103 \pm 0.99$  kcal of NE per LW<sup>0.75</sup>). Although genotype x season was significant in the analysis of variance, Tukey-Kramer differences were not detected ( $P > 0.2$ ).

Calf LW at weaning ( $94 \pm 31$  d,  $n = 148$ ) and calf ADG from calving to weaning were affected by forage allowance and cow genotype (Table 1, Figure 5), but no interactions were detected between forage allowance x cow genotype or forage allowance x year or genotype x year (Table 1). The effects of forage allowance and cow genotype on calf LW at weaning were

additive, such that the difference between Lo-Pu and Hi-Cr was 30 kg (Figure 5, 15 kg from forage allowance and 15 kg from cow genotype).



**Figure 4.** Mean (±1 S.E.) of cow live weight (LW, A), body condition score (B), net energy requirements (NE req) per cow (C) and per LW<sup>0.75</sup> (D) in Hi (■) and Lo (□) during the experimental period. Differences are indicated with \*\* when  $P < 0.05$ . Seasons were defined as summer (Su) from December to February, autumn (A) from March to May, winter (W) from June to August and spring (S) from September to November, and years 2007, 2008, 2009 and 2010 are indicated as 07, 08, 09, and 10, respectively.



**Figure 5.** Mean ( $\pm 1$  S.E.) calf average daily gain (ADG, A) and calf live weight at weaning (calf LW, B) in calves under Hi or Lo (■) forage allowance and Cr or Pu (□) cow genotype. Differences are indicated with \*\* ( $P < 0.05$ ).

Biological efficiency, in terms of energy, for the breeding process, (ratio between NE requirements for gestation + lactation period, 378 d and calf LW at weaning) tended to be enhanced by forage allowance ( $P = 0.08$ , Hi = 30.0 vs Lo =  $28.8 \pm 0.5$  grams of calf per Mcal of NE req), but was increased by cow genotype ( $P = 0.05$  Cr = 30.2 vs. Pu =  $28.7 \pm 0.5$  grams of calf per Mcal of NE req). This biological efficiency did not consider the effect of forage allowance and cow genotype on reproduction efficiency of the cow-calf system.

## 2.5 DISCUSSION

It is well established that when forage allowance increases, forage mass increases (Baker *et al.*, 1981; Maraschin *et al.*, 1997; Wales *et al.*, 1999). The difference in forage mass between Hi and Lo was similar to reports of Maraschin *et al.*, (1997) and Maraschin and Moojen (2002) from Campos grasslands where forage mass varied between 930 and 1600 kg DM ha<sup>-1</sup> for forage allowances of 1.5 to 5 kg DM kg LW<sup>-1</sup>. Forage mass changed

throughout time due to changes in forage accumulation and stocking rate, however, across a wide range of forage mass, similar forage allowance was possible (Figure 3) simply by adjusting the stocking rate (Sollenberger *et al.*, 2005).

Differences in forage mass could be because not all of the greater forage allowance was consumed by cows, Wales *et al.*, (1999) reported an increment of 0.15 to 0.35 kg in intake per kg of increment in forage allowance, thus the forage not consumed contributed to increased forage mass. In the current study, greater forage accumulation for Hi than Lo contributed to increased forage mass. It is well established for many pastures in different environments that higher forage mass across the growing season results in greater forage accumulation (Parsons *et al.*, 1983; Hirata, 2000; Stuedemann and Franzluebbbers, 2007). Higher forage mass is related to higher leaf area index (LAI) and thus with greater photosynthesis when abiotic factors do not prevent it (Briske and Heitschmidt, 1991). Forage accumulation was 22% greater in Hi than in Lo, similar to the report of Moojen and Maraschin (2002) and modestly greater in the current experiment (means of 12.1 and 14.7 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> for Lo and Hi, respectively) than reported by Maraschin *et al.*, (1997) for Campos grassland (means of 7 to 10 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>). However the biggest effect on forage accumulation was due to rainfall. Change in forage accumulation between spring 2007 (342 mm) and spring 2008 (160 mm) was more than 100%. In fact, this response of forage growth to rainfall is highly known and reported for grasslands in South Africa (Fynn and O'Connor, 2000) US (Hill *et al.*, 1993; Gillen and Sims, 2004), Argentina (Lattanzi *et al.*, 2007) and Uruguay (Berretta *et al.*, 2000).

On an annual scale, the stocking rate did not differ between levels of forage allowance. To our knowledge, this is the first study to report increasing forage allowance while maintaining a similar stocking rate on an annual

scale. This effect could be explained because of two reasons. First, there was greater forage accumulation in Hi than in Lo, and second, low forage allowance (3 kg of DM kg<sup>-1</sup> of LW) was maintained during winter in Hi. The numerically (i.e., non-statistically different) greater stocking rate in Hi than in Lo during winter (Figure 3) could be explained by the reduction in forage allowance in Hi, compared with autumn, and the numerically greater forage mass in Hi than in Lo during autumn. The concept behind the forage allowance strategy was to maintain higher forage mass during the growing season, and consume all the forage during the non growth period of Campo grassland. This strategy is possible because beef cows can lose BCS during the gestation period and regain (because higher forage allowance) during the lactation period without affecting performance (Freetly *et al.*, 2000). Stocking rate in Hi and Lo allowance treatments changed with forage accumulation rate and increasing/decreasing forage mass like in previous studies that maintained forage mass at a constant level (Hill *et al.*, 1993, Lattanzi *et al.*, 2007).

Across a large range of stocking rates, there is a negative relationship between forage mass and stocking rate (Bransby *et al.*, 1988; Stuedemann and Franzluebbbers, 2007; Sollenberger *et al.*, 2012). The relationship was positive ( $r = 0.65$ ) in the current study, however, and this occurred because to maintain a forage allowance target it is necessary to increase stocking rate in response to an increase in forage mass or to decrease stocking rate when forage mass decreases (Sollenberger *et al.*, 2005). In contrast, when fixed stocking rates are the treatment (Bransby *et al.*, 1988), stocking rates do not change in spite of seasonal changes in forage accumulation and forage mass, so it is logical that at greater stocking rates forage mass decreases. When the treatment was forage mass and it was maintained constant throughout the growing season (Stuedemann and Franzluebbbers, 2007), change in stocking rate would occur only as a result of changes in forage accumulation rate, and forage mass should not change. For these reasons,

experiments utilizing fixed stocking rates or forage mass should expect a negative relationship between forage mass and stocking rate in contrast to the results of the current study.

Cow BCS, LW and energy intake per cow (NE req per cow) differed between Hi and Lo from summer 2009 to summer 2010 (Fig 4), however this occurred in absence of statistical differences in forage mass or stocking rate, but large differences in forage allowance (Figure 3 and Figure 4). Numerically higher forage mass and interaction with greater forage allowance could determine higher energy intake (Wales *et al.*, 1999) but at the same time, lower energy expenditure at grazing (Brosh *et al.*, 2006) enhancing energy balance. Cow BCS, is an index of body fat and hence of energy stored in the body (Houghton *et al.*, 1990), thus changes in evolution and BCS could be indicative of energy balance (Meikle *et al.*, 2004). Our results highlight the relevance of BCS as a monitor of energy balance, because from summer 2009 to summer 2010 the difference between Hi and Lo was 0.5 points or greater (scale from 1 to 8), but estimations of energy intake per LW<sup>0.75</sup> did not differ (Figure 4).

Estimated energy intake per LW<sup>0.75</sup> was greater on average for Hi than Lo forage allowance. Cows in Hi were heavier and produced more milk than cows in Lo, because retained energy (milk, LW, BCS) had a higher increment (0.62) than energy expenditure (maintenance energy, 0.38) as energy intake per LW<sup>0.75</sup> increase (Brosh *et al.*, 2004; NRC, 2000). Jenkins and Ferrell (1994) reported that a difference in cow intake of 290 Mcal of ME per year (like the estimate in our work) for Angus, Hereford or Red Poll, resulted in calves that were 10 kg heavier, similar to our results (15 kg between Hi and Lo).

Grazing behaviour could explain partially why cows in Hi had better energy intake or energy balance under different forage mass and/or forage

allowance. Reduction in forage mass, seems to be overcome by longer grazing time or greater number of bites per day (Gibb *et al.*, 1999; Wales *et al.*, 1999; Garcia *et al.*, 2003; Scarlato *et al.*, 2011). However an increase in grazing activities affects cow energy expenditure at grazing (Brosh *et al.*, 2006), and may be the reason why BCS in Hi was lower in winter 2009 than in winter 2008 at the same forage allowance, but lower forage mass. The opposite situation was when cows in Hi compared to cows in Lo appeared to reduce grazing time in spring (Scarlato *et al.*, 2011) under greater forage mass, diminishing the energy cost of grazing activities and enhancing energy balance (Brosh *et al.*, 2006).

Other partial explanation could be the lower energy requirements for maintenance when cows are submitted to a nutritional restriction, like during the winter in our work (Houghton *et al.*, 1990; NRC 2000). Houghton *et al.*, (1990) estimated that the coefficient of energy for maintenance for a high plane of nutrition was  $0.077 LW^{0.75}$  (the same coefficient used by NRC 2000) but the coefficient goes down to  $0.048 LW^{0.75}$  when the estimation was for energetically restricted cows. Moreover this effect of previous plane of nutrition could persist after the restriction disappeared, like during the spring and summer in our work (NRC, 2000).

Pure and crossbred cows were from breeds that have low potential for mature size (Hereford and Angus) and lactation yield and thus are appropriate to environments lower than 10125 Mcal of ME intake per year (Jenkins and Ferrell, 1994). However very low energy intake per year also affects conversion of forage to calf weight because cows respond quadratically to the increment in weight of calf weaned as energy intake increase from 5625 Mcal of ME intake per year (Jenkins and Ferrell, 1994). Calf LW at weaning and ADG were associated with cow milk production (Gutierrez *et al.*, 2013), which in turn is related to energy intake or energy balance of the cow and determined by forage mass and forage allowance

(Baker *et al.*, 1981, Wright and Russel, 1987). Results agree with Baker *et al.*, (1981) who report that higher forage allowance resulted in higher forage mass, forage intake, milk production, calf and cow LW.

Calf ADG (0.7 vs 0.8 kg d<sup>-1</sup> for Lo and Hi and Cr and Pu) results were like those reported for Pu and Cr cows in medium quality pastures in the subtropics of Australia (Barlow *et al.*, 1994). Crossbred cows produced more milk than purebred (Gutierrez *et al.*, 2013), and consequently calf LW at weaning was greater (119 vs 105 ± 2 kg respectively), similar to previous reports (Cundiff *et al.*, 1974, Morris *et al.*, 1987, Barlow *et al.*, 1994).

Biological efficiency of energy intake has been related to energy cost of maintenance (Ferrell and Jenkins, 1985). For cows in Hi, the cost of maintenance is relatively lower than in Lo, because efficiency in terms of calf weight at weaning tended to be greater in Hi than in Lo. Crossbred cows increased efficiency in terms of calf weight at weaning, and results from our research group have shown that Cr cows had a greater plasticity in order to adapt their visceral mass, cellularity and expression of genes encoding for mitochondrial respiratory chain proteins to sparse environments suggesting a greater efficiency in energy utilization (Casal *et al.*, submitted)

This work highlights that control and management of forage allowance can be implemented in such a way as to enhance forage mass, forage accumulation, cows BCS and calf LW at weaning, while maintaining average stocking rate across the year. Additionally, the use of crossbred cows resulted in higher calf LW at weaning and greater biological efficiency of energy intake into calf production than use of purebred cows.



## 2.6 ACKNOWLEDGEMENTS

We acknowledge Dorrel Bentancor, Victoria Cal, Oscar Cáceres and Mauricio Cáceres for his assistance to field work. The research was funded in part by Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria 242, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). At the time of the study the first author was in receipt of a postgraduate scholarship from Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII).

## 2.7 REFERENCES

- Allen V. G., Batello, C., Berretta, E. J., Hodgson, J., Kothmann, M., Li, X., McIvor, J., Milne, J., Morris, C., Peeters, A. and Sanderson M. (2011) An international terminology for grazing lands and grazing animals. *Grass and Forage Science*, **66**, 2-28
- Altesor, A., Di Landro, E., May H. and Ezcurra, E. (1998) Long-term species change in a Uruguayan grassland. *Journal of Vegetation Science* **9**, 173-180.
- Baker, R. D., Alvarez, F. and Le Du Y. L. P. (1981) The effect of herbage allowance upon the herbage intake and performance of suckler cows and calves. *Grass and Forage Science*, **36**, 189-199.
- Barlow, R., Hearnshaw, H., Arthur, P. F. and Darnell, R. E. (1994) Evaluation of Hereford and first cross cows on three pasture systems. I. Calf growth and reproductive performance of young cows. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* **122**, 121-129.
- Berretta, E. J., Risso, D. F., Montossi, F. and Pigurina, G. (2000) Problems of animal production related to pastures in South America: Uruguay. In: Lemaire, G., Hodgson, J., de Moraes, A., Nabinger, C., Carvalho, P. (eds)

*Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology*. Cambridge, UK. University Press. pp. 377-394.

Bransby, D. I., Conrad, B. E., Dicks H. M. and Drane J. W. (1988) Justification for grazing intensity experiments: Analysing and interpreting grazing data. *Journal of Range Management*, **41**, 274-279.

Briske, D. D. and R. K. Heitschmidt (1991) An ecological perspective. In: Heitschmidt, R. K., Stuth, J. W. (eds) *Grazing management an ecological perspective*. Portland, OR, USA. Timber Press.

Brosh, A., Aharoni, Y., Shargal, E., Sharir, B., Gutman, M. and Choshniak, I. (2004) Energy balance of grazing beef cattle in Mediterranean pasture, the effects of stocking rate and season. 2 Energy expenditure as estimated from heart rate and oxygen consumption, and energy balance. *Livestock Production Science*, **90**, 101-115.

Brosh, A., Henkin, Z., Ungar, E. D., Dolev, A., Orlov, A., Yehuda, Y. and Aharoni, Y. (2006) Energy cost of cows' grazing activity: Use of the heart rate method and the global positioning system for direct field estimation. *Journal of Animal Science*, **84**, 1951-1967.

Casal, A., Veyga, M., Astessiano, A. L., Espasandin, A., Trujillo, A.I. Soca, P. Carriquiry, M. 2013. Visceral organ mass, cellularity and expression of genes encoding for mitochondrial respiratory chain proteins in pure and crossbred beef cows grazing different forage allowances of native pastures.

Cundiff, L. V., Gregory, K. E., Koch, R. M. (1974) Effects of heterosis on reproduction in Hereford, Angus and Shorthorn cattle. *Journal of Animal Science*, **38**, 711-727.

Dirección Nacional de Meteorología 2011. Available at:  
<http://www.meteorologia.gub.uy/index.php/estadisticas-climaticas>.  
Accessed 23 May 2012.

Espasandín, A. C., Franco, J., Oliveira, G., Bentancur, O., Gimeno, D., Pereira, F., Rogberg, M. (2006) Impacto productivo y económico del uso del cruzamiento entre las razas Hereford y Angus en el Uruguay. In: 34 Jornadas Uruguayas de Buiatría. Centro Médico Veterinario, Paysandú, Uruguay.

Ferrell, C. L. and Jenkins T. G. (1985) Cow type and nutritional environment: nutritional aspects. *Journal of Animal Science*, **61**, 725-741.

Freetly, H. C., Ferrell C. L. and Jenkins T. G. (2000) Timing of realimentation of mature cows that were feed-restricted during pregnancy influences calf birth weights and growth rates. *Journal of Animal Science*, **78**, 2790-2796.

Fynn, R. W. S. and O`Connor, T. G. (2000) Effect of stocking rate and rainfall on rangeland dynamics and cattle performance in a semi-arid savanna, South Africa. *Journal of Applied Ecology*, **37**, 491-507.

Garcia, F., Carrere, P., Soussana, J. F. and Baumont, R. (2003) The ability of sheep at different stocking rate to maintain the quality and quantity of their diet during the grazing season. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* **140**, 113-124.

Gibb M.J., Huckle, C. A., Nutall, R. and Rook, A. J. (1999) The effect of physiological state (lactating or dry) and sward surface height on grazing behaviour and intake by dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science*, **63**, 269-287.

Gillen, R. L. and Sims, P. L. (2004) Stocking rate, precipitation, and herbage production on sand sagebrush-grassland. *Journal of Range Management*, **57**, 148-152.

Gutierrez, V., Espasandin, A. C., Astessiano, A. L., Casal, A., Lopez-Mazz C. and Carriquiry M. (2013). Calf foetal and early life nutrition on grazing conditions: metabolic and endocrine profiles and body composition during the growing phase. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, **97**, 720-731

Guerrero, J. N., Conrad, B. E., Holt, E. C. and Hu, H. (1984) Prediction of animal performance on bermudagrass pasture from available forage. *Agronomy Journal*, **76**, 577-580

Haydock, K. P. and Shaw N. H. (1975) The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, **15**, 663-670.

Hill, G. M., Gates, R. N. and Burton G. W. (1993) Forage quality and grazing steer performance from Tifton 85 and Tifton 78 bermudagrass pastures. *Journal of Animal Science*, **71**, 3219-3225.

Hirata, M. (2000) Quantifying spatial heterogeneity in herbage mass and consumption in pastures. *Journal of Range Management*, **53**, 315-321.

Hodgson, J. (1990) *Grazing Management: Science into Practice*. Harlow, Essex, UK. Longman Handbooks in Agriculture.

Houghton, P.L., Lemenager, R. P., Hendrix, K. S., Moss, G. E. and Stewart, T. S. (1990) Effects of body composition, pre- and postpartum energy intake

and stage of production of energy utilization by beef cows. *Journal of Animal Science*, **68**, 1447-1456

Jenkins, T. G. and Ferrel C. L. (1994) Productivity through weaning of nine breeds of cattle under varying feed availability: I. Initial evaluation. *Journal of Animal Science*, **72**, 2787-2797.

Lattanzi, F. A., Mazzanti A. and Wade M. H. (2007) Seasonal animal production of temperate and mediterranean tall fescue cultivars under continuous variable stocking with close control of sward state. *Australian Journal of Agricultural Research*, **58**, 203-213.

Mannetje `t L. (1978) Measuring quantity of grassland vegetation. In: Mannetje `t L. (ed) *Measurement of grassland vegetation and animal production*. Bulletin 52, Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops, Hurley, Berkshire, England.

Maraschin, G. E., Moojen, E. L., Escoteguy, C. M. D., Correa, L., Apezteguia E. S. and Boldrini I. I. (1997) Native pasture, forage on offer and animal response. In: J. G. Buchanan-Smith, L. D. Bailey and P. McCaughey. (eds) *Proceeding of the XVIII International Grassland Congress, Winnipeg and Saskatoon, Canada* pp. 27-29.

Meikle, A., Kulcsar M., Chilliard Y., Febel, H., Delavaud C, Cavestany, D. and Chilibroste, P. (2004) Effects of parity and body condition at parturition on endocrine and reproductive parameters of the cow. *Reproduction*, **127**, 727-737.

Moojen, E. L. and Maraschin G. E. (2002) Potential production of a southern Brazil rangeland submitted to forage in offer levels. *Ciência Rural*, **32**, 127-132.

Morris, C. A., Baker, R. L., Johnson, D. L., Carter, A. H. and Hunter, J. C. (1987) Reciprocal crossbreeding of Angus and Hereford cattle 3. Cow weight, reproduction, maternal performance, and life time production. *New Zealand Journal of Agricultural Science*, **30**, 453-457.

Mott, G. O. and Lucas, H. L. (1952) The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: *Proceedings of the sixth international grassland congress*. Pennsylvania State College, PA, USA.

Mott, G. O. (1960) Grazing pressure and the measurement of pasture production. In: *Proceedings of the eighth international grassland congress*. University of Reading, Berkshire, England. pp. 606-611.

Nabinger, C., de Moraes, A. and Maraschin G. E. (2000) Campos in southern Brazil. In: G. Lemaire, J. Hodgson, A. de Moraes, C. Nabinger and P. C. F. Carvalho. (eds) *Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology*. Cambridge, UK: University Press.

NRC 2000. Nutrient requirements of beef cattle: Seventh revised edition: Update 2000. Washington D.C., USA: National Academy Press.

Panario, D. and Bidegain M. (1997) Climate change effects on grasslands in Uruguay. *Climate Research*, **9**, 37-40.

Parsons, A. J., Leafe, E. L., Collett, B., Penning P. D. and Lewis J. (1983) The physiology of grass production under grazing. II. Photosynthesis, crop growth and animal intake of continuously grazed swards. *Journal of Applied Ecology*, **20**, 127-139.

Paruelo, J. M., Piñeiro, G., Baldi, G., Baeza, S., Lezama, F., Altesor, A. and Oosterheld M. (2010) Carbon Stocks and Fluxes in Rangelands of the Rio de la Plata Basin. *Rangeland Ecology and Management* **63**, 94–108

Piaggio, L. 1994. Pasture and animal traits associated with intake and selectivity of grazing steers on rangeland. [thesis]. Porto Alegre, RS, Brazil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 438 p.

SAS Institute. 2002. Version 9. Cary, NC, USA: SAS Institute, Inc.

Scarlato, S., Faber, A., Do Carmo, M. and Soca, P. (2011) Foraging behavior of beef cows grazing native pasture: I Effect of breed and herbage allowance on daily grazing and ruminating time. In: Feldman, S. R., Oliva, G. E., Sacido, M. B. (eds) *Proceedings of the 9th International Rangeland Congress, Rosario, Argentina, 2011*, pp. 657.

Short, R.E., Bellows, R. A., Staigmiller, R. B., Berardinelli, J. G. and Custer E. E. (1990) Physiological mechanisms controlling anestrous and infertility in postpartum beef cattle. *Journal of Animal Science*, **68**, 799-816.

Soares, A. B., Carvalho, P. C. F., Nabinger, C., Frizzo, A., Pinto, C. E., Junior, J. A. F., Semmelmann C. and da Trindade J. (2003) Effect of changing herbage allowance on primary and secondary production of natural pasture. In: Allsopp, N., Palmer, A. R., Milton, S. J., Kerley, G. I. H., Kirkman, K. P., Hurt, R., Brown, C. J. (eds) *Proceedings of the 7th International Rangeland Congress, Durban, South Africa, 2003*, pp. 966-968.

Soca, P., Do Carmo M. and Claramunt M. (2007) Beef cows breed system on native sward without agricultural financial assistance: Research to sustainable calf production with low cost and easy instrumentation. *Avances en Producción Animal* **32**, 3-26.

Sollenberger, L.E., Agouridis, C.T., Vanzant, E.S., Franzluebbbers, A.J. and Owens L.B. (2012) Prescribed grazing on pasturelands. In: C.J. Nelson (ed) *Conservation outcomes from pastureland and hayland practices: Assessment, recommendations, and knowledge gaps*. Allen Press, Lawrence, KS. pp. 111-204.

Sollenberger, L.E. and Vanzant E. S. (2011) Interrelationship among forage nutritive value and quantity and individual animal performance. *Crop Science*, **51**, 420-432.

Sollenberger, L. E., Moore, J. E., Allen, V. G. and Pedreira, C. G. S. (2005) Reporting forage allowance in grazing experiments. *Crop Science*, **45**, 896-900.

Stakelum, G., Maher, J. and Rath, M. (2007) Effect of daily herbage allowance and stage of lactation on herbage intake and performance of dairy cows in early summer. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, **46**, 47-61.

Stuedemann, J. A. and Franzluebbbers A. J. (2007) Cattle performance and production when grazing Bermudagrass at two forage mass levels in the southern Piedmont. *Journal of Animal Science* **85**, 1340-1350.

Van Soest, P. J., Robertson, J. B. and Lewis, B. A. (1991) Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, **74**, 3583-3597.

Vizcarra, J. A., Ibañez, W. and Orcasberro R. (1986) Repetibilidad y reproducibilidad de dos escalas para estimar la condición corporal de vacas Hereford. *Investigaciones Agronómicas* **7**, 45-47.



Wales, W. J., Doyle, P. T., Stockdale, C. R. and Dellow, D. W. (1999) Effects of variations in herbage mass, allowance, and level of supplement on nutrient intake and milk production of dairy cows in spring and summer. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, **39**, 119-130.

Wheeler, J. L., Burns, J. C., Mochrie, R. D. and Gross, H. D. (1973) The choice of fixed or variable stocking rates in grazing experiments. *Experimental Agriculture*, **9**, 289-302.

Wright I. A. and Russel A. J. F. (1987) The effect of sward height on beef cow performance and on the relationship between calf milk and herbage intakes. *Animal Production* **44**, 363-370.

### 3 DISCUSIÓN GENERAL

#### 3.1 LA OFERTA DE FORRAJE Y EL GENOTIPO DE LAS VACAS COMO DETERMINANTES DE LA PRODUCCIÓN, UTILIZACIÓN Y EFICIENCIA DE USO DE CAMPOS

La hipótesis planteada, sobre que el aumento de la oferta de forraje de 2.5 a 4 kg de MS·kg PV promedio anual, y su variación estacional permitiría incrementar la masa y acumulación de forraje de Campos, fue confirmada. Esto coincidió con experimentos regionales que controlaron la oferta de forraje bajo pastoreo de Campos (Piaggio, 1994; Nabinger, 2000). No obstante, el importante control climático de la producción de forraje, las mejoras en la OF permitió modular e incrementar una de las principales variables de estado del Campos: la masa de forraje. Los cambios en la masa de forraje, de escasa magnitud numérica pero de gran significado biológico, serían el resultado de la interacción entre la producción, consumo de forraje y el control climático de la producción de forraje (Figura 1). Un incremento en la masa de forraje promedio ( $H_i = 1800$  vs  $L_o = 1100$  kg MS  $ha^{-1}$ ) se asoció con una mayor capacidad fotosintética de la pastura y de acumulación de forraje ( $14,7$  vs  $12,1 \pm 1,7$  kg MS  $ha^{-1} d^{-1}$   $H_i$  y  $L_o$  respectivamente). La producción de forraje bajo pastoreo ha sido modelada en base a altura y/o IAF donde el balance entre la fotosíntesis bruta y senescencia controla la fotosíntesis y productividad primaria neta (Parsons et al., 1983). Dicho modelo, no ha sido cuantificado bajo las condiciones de Campos, no obstante, los resultados regionales (Moojen y Maraschin, 2002) permiten inferir que bajo este rango de masa de forraje donde operó el experimento, la mejora en acumulación de forraje resultaría lineal. Esto constituye un resultado relevante del presente trabajo, no obstante, el déficit hídrico que ocurrió durante la segunda primavera-verano (S08-Su09), un escaso incremento en la altura de forraje provocó una mejora en la acumulación estacional (16%) y total del forraje (22%) lo cual confirma que no obstante el

control climático de la precipitación sobre la producción de forraje el control de la OF permitió mejorar a corto plazo una de las principales variables de estado del ecosistema campos bajo pastoreo. Este mecanismo de “estabilidad” del ecosistema Campos explicaría que bajo oferta de forraje Hi se promovería un ecosistema pastoril con menor vulnerabilidad a los cambios climáticos dado por superior masa y acumulación de forraje. No obstante, su aplicación a nivel comercial requeriría: a) Un modelo conceptual de gestión del forraje basado en la altura o masa de forraje. Esto podría obtenerse si dispusiéramos herramientas de gestión del forraje predial donde la altura de pasto constituya un objetivo de manejo b) Funciones de respuesta entre masa y/o altura y la acumulación de forraje en diversos tipos de suelos.

Dichas mejoras en la masa y acumulación de forraje en Hi, constituyen una de las principales razones por las cuales no se encontraron diferencias en la carga animal. Esto permitió rechazar la hipótesis de que el aumento en la masa de forraje se asociaría con una reducción en la carga animal. La hipótesis derivó de experimentos, como los reportados en la Figura 2 de la tesis, donde se reportó una relación inversa entre masa de forraje y carga animal. Las diferencias entre el presente experimento y los antecedentes podrían explicarse por a) cambios en el dispositivo experimental donde la oferta de forraje se modificó entre estaciones del año. Esto podría explicar qué superior OF durante los períodos favorables y su reducción durante el invierno contribuya a modificar la relación masa, acumulación, consumo de forraje de manera de sostener niveles de carga animal similares entre OF. La disminución de la oferta de forraje durante invierno permitió que se consumiera todo el forraje acumulado anteriormente lo cual fue superior en Hi. En dicho periodo la carga animal resultó mayor en Hi respecto de Lo durante ambos inviernos mientras que la masa de forraje durante invierno se redujo respecto del otoño en Hi, lo que confirmaría el aumento del consumo de forraje por unidad de área durante invierno (Do Carmo et al., 2013 sin

publicar). El incremento de la masa de forraje en Hi, permitió, a escala anual, cambiar la acumulación de forraje.

La ausencia de diferencias en carga animal entre ofertas de forraje contradice la hipótesis planteada, no ha sido reportada en la bibliografía internacional y constituye uno de los aportes más novedosos de este experimento.

La variación temporal de la carga animal presentó relación positiva con la producción de forraje lo cual coincide con experimentos previos, donde el dispositivo experimental se orientó en base al control de la masa de forraje (Lattanzi et al., 2007; Stuedemann y Franzluebbers, 2007). Por tanto, cambios en la oferta de forraje resultaría en una herramienta útil para el manejo de la carga animal dado que esta es una variable de respuesta a la OF y producción de forraje (Figura 1 de la tesis).

El incremento en masa de forraje también podría explicarse por los cambios en el consumo de forraje obtenidos por cambios en la OF. Parte del forraje ofrecido no fue consumido e incrementó la masa de forraje lo cual coincide con Piaggio (1994) que reportó que por cada kg de forraje extra que se ofrece el consumo se incrementa 0,11 a 0,27 kg de MO (Piaggio, 1994). Basado en los requerimientos de Energía Neta (EN) promedio como indicador del consumo de energía (Anexo 1) fue posible estimar que el consumo se modificó en 0,15 a 0,84 kg de consumo de forraje por kg de incremento en la oferta de forraje. Esto confirmaría, que el aumento en la oferta de forraje, resultó superior al consumido y contribuye también a explicar el incremento en la masa de forraje.

La utilización de forraje integra el consumo de forraje por animal y la carga animal. El consumo de energía estimado por los requerimientos de energía neta (EN) promedio, resultaron diferentes ( $P < 0,01$ ) entre Hi y Lo ( $10,5$  y  $9,5 \pm 0,17$  Mcal EN  $d^{-1}$ ) y entre Cr y Pu ( $10,4$  y  $9,7 \pm 0,17$  Mcal EN  $d^{-1}$ ). La

interacción oferta de forraje x genotipo de la vaca no resultó significativa ( $P > 0,1$ ) y los valores de cada grupo resultaron 10,83, 10,34, 10,01 y 9,08 Mcal EN  $d^{-1}$  para Hi-Cr, Hi-Pu, Lo-Cr y Lo-Pu respectivamente. Esto, parecería confirmar que las mejoras en masa y altura de forraje se habrían traducido en incrementos en el consumo individual de energía. Dichos resultados podrían explicarse en base a las funciones de respuesta (Gonzalvez, Figura 3) que relacionan altura del forraje con tasa de consumo de forraje por animal, principal determinante del consumo diario de forraje en campos (Piaggio, 1994). Los registros de conducta en pastoreo demuestran que la altura del forraje redujo el tiempo de pastoreo y aumentó el dedicado a la rumia (Scarlatto, 2011). Esto confirmaría una posible reducción en los costos energéticos del pastoreo cuando se mejoró la altura y OF de forraje. Frente al incremento del déficit hídrico y la reducción en la altura la respuesta de todas las vacas fue el incremento del tiempo diario de pastoreo. No obstante, este incremento resultó inferior en Hi lo cual explicaría que la CC reflejo del balance de energía fue similar entre estaciones con diversos niveles de altura de pastura. Es posible postular la hipótesis de que el aumento del tiempo de pastoreo en un escenario de mejor altura como Hi habría permitido mantener mejores niveles de ingestión y no invertir elevadas cantidades de energía en el pastoreo. El consumo de forraje por superficie, que al mismo tiempo considera el consumo de forraje por kg de PV y la carga animal soportada, resultó mínimo en Hi-Cr (16 Mcal de EM- $ha^{-1} d^{-1}$ ) y máximo en Lo-Pu (18,5 Mcal de EM  $ha^{-1} d^{-1}$ ). Estos registros, sin análisis estadístico, podrían indicar que el incremento en el consumo o utilización por unidad de superficie se asoció con inferior producción de forraje, consumo individual, menor peso de los terneros al destete y menor eficiencia de uso del forraje (Do Carmo et al., 2013, Anexo 2).

El consumo de energía estimado de vacas Cr sería superior al de Pu lo cual explica las mejoras en CC, producción de leche y kilos de ternero de las vacas cruzas (Do Carmo et al., 2013 y Figure 1 de la tesis; Gutiérrez et al.,

2012). Un cambio en la oferta de forraje que modificó los atributos de la pastura mejoraría el consumo de energía y el balance energético de la cría vacuna. Esto coincide con los escasos antecedentes reportados para la región (Piaggio, 1994; Gonçalvez, 2007) y constituye un significativo aporte para la mejora de la productividad de la cría vacuna en Campos. El empleo de vacas Cr implicaría un aumento del consumo de forraje no obstante esto se compensaría por el incremento en la producción de kg de ternero destetado por año.

La eficiencia biológica de la producción de carne (gramos de ternero destetado por Mcal de EN utilizada por vaca entorada) (Jenkins y Ferrell 1994, Anexo 1 y 2) se estimó en base a el consumo anual de EN (Do Carmo et al., 2013 en esta tesis). El numerador fue los gramos de ternero destetado por vaca entorada (Anexo 1 y 2). Esto resultó en 15,07, 12,38, 12,57 y 10,52 Mcal de EM por vaca entorada en Hi-Cr, Hi-Pu, Lo-Cr y Lo-Pu respectivamente lo cual confirmaría el efecto positivo de los cambios en la oferta de forraje y genotipo de la vaca sobre las mejoras en la eficiencia de biológica de producción de carne de la cría vacuna. El valor alcanzado por Hi-Cr resultó comparable con el reportado por Jenkins y Ferrell (1994) en vacas Angus (15,5 gramos de ternero por Mcal de EM) e inferiores al registrado para las vacas más eficientes en ambientes con ingestión de 3000 kg MS anual en vacas Red Poll (Jenkins y Ferrell, 1994).

Se debe recordar que la eficiencia biológica tomó en cuenta valores de tasa de destete estimados durante este trabajo (Espasandín et al. 2013), y esos resultados son producto de las ofertas de forraje empleadas pero también de los tratamientos posparto de destete precoz o temporario y suplementación a las vacas con el objetivo de que resultaran preñadas nuevamente. Estos tratamientos tienen efectos muy importantes y “borran” parcialmente el efecto de la oferta de forraje. Si bien los tratamientos beneficiaron a “todos” los tratamientos, las vacas de baja oferta de forraje fueron “las más

beneficiadas”. Como ejemplo del beneficio otorgado a las vacas en baja oferta Laporta (2011) reporta la duración del anestro posparto en cada tratamiento durante 2009-2010 cuando no se aplicaron tratamiento, que resultó 82, 125, 150 y 175  $\pm$  13 días para los tratamientos alta-cruza, alta-pura, baja-cruza y baja-pura respectivamente.

El peso de los terneros al destete se incrementó en Hi respecto de Lo y en Cr respecto de Pu lo cual estaría reflejando en primer término el mejor balance de energía de las vacas y las mejoras de estructura de la pastura, lo cual, habría mejorado la producción de leche y el consumo de forraje del par vaca-ternero respectivamente. Dentro de Hi, entre Cr y Pu, el consumo estimado se incrementó 4,7% pero los kg de ternero se incrementaron 10,5%. Esto coincide con la diferencia registrada en la producción de leche entre Hi-Cr y Hi-Pu (Gutiérrez et al., 2012). En Lo el consumo de forraje se incrementó 10% en Cr respecto de Pu pero la producción de leche aumentó 22% y el peso de los terneros al destete se incrementó 16% en Cr respecto de Pu. Bajo el mismo ambiente, las vacas cruza fueron más eficientes en el uso de la energía que las vacas puras. No obstante, en Lo la diferencia productiva entre vacas cruza y puras fue superior lo cual refleja mejor capacidad de las vacas cruza en superar los obstáculos asociados a producir en Lo.

La mayor eficiencia de uso de la energía en oferta de forraje Hi y en vacas Cr se explicaría también por las diferencias en la expresión de genes del hígado que regulan el metabolismo energético de la vaca y su capacidad de adaptarse a cambios en el ambiente (Laporta et al., 2010). Por otra parte, la mayor eficiencia en vacas cruza podría encontrarse en el peso de los órganos del tracto digestivo y el hígado que afectan el gasto de energía en mantenimiento (Ferrell, 1988). Vacas “ineficientes” presentaron mayor tamaño del hígado, lo que indicaría mayor tasa metabólica y gasto de mantenimiento (DiCostanzo et al., 1991). El peso de las vísceras e hígado

resultó mayor en las vacas cruza respecto de las vacas puras (Casal et al., 2012), no obstante se tendió a invertir el ranking al relacionar el peso de las vísceras con el peso corporal vacío (Carrquiry et al., 2012). El mayor peso del hígado en vacas Cr cambió con la oferta de forraje, mientras en Hi se constató mayor hiperplasia (mayor número de células) en Lo se incrementó el tamaño celular (mayor hipertrofia), probablemente de esta forma ahorraron energía en la mitosis celular (Lo-Cr) y esto permitió destinar energía al proceso de producción de terneros (Casal et al., 2012 sin publicar).

La productividad animal por unidad de área se estimó a partir de los datos de consumo de EM, eficiencia de transformación en kg de ternero, la carga animal y el peso vivo de las vacas (Anexo 2) y resultó 88, 78, 80 y 71 kg de ternero destetado por año en Hi-Cr, Hi-Pu, Lo-Cr y Lo-Pu respectivamente. En el incremento de 24% en la producción por hectárea se sintetizan las mejoras en el consumo de energía, producción de leche y la no reducción en la carga animal con las mejoras OF. Las mejoras de estructura del forraje habrían permitido mejorar la ingestión, reducir el tiempo de pastoreo (Scarlatto, 2011) y el desplazamiento de los animales en pasturas de Campos cuyo óptimo se reportó entre 1400 y 2200 kg de MS·ha<sup>-1</sup> para novillos en crecimiento (Da Trindade et al., 2012). Por otra parte los cambios en el metabolismo y el peso de las vísceras resultan útiles para explicar las mejoras en la eficiencia de uso de la energía por parte de animales Cr vs Pu y resulta en sinergia con las mejoras en la OF.

### 3.2 APORTES AL MODELO CONCEPTUAL Y AL DISEÑO DE SISTEMAS PASTORILES

**1)** La mejora en la oferta de forraje se asoció con mayor producción de forraje, por unidad animal y de superficie sin reducciones en la carga animal promedio.



- 2)** El patrón temporal de CC en Hi resultó similar a lo propuesto por Soca y Orcasberro (1992), alcanzó CC = 5 o más en otoño y CC = 4 o más al parto e inicio de entore en ambos años. Esto demuestra que en años contrastantes en precipitaciones durante la primavera-verano, fue posible mantener la evolución de CC. Esto equivale a atenuar el efecto del clima sobre la performance animal y del sistema de cría vacuna. En Lo, la CC presentó un modelo de cambio similar a la acumulación de forraje (Do Carmo et al., 2013). Este modelo no se registró en Hi, lo cual podría indicar que cuando la masa de forraje fue cercana a  $1000 \text{ kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$  y la oferta de forraje a  $3 \text{ kg MS}\cdot\text{kg PV}^{-1}$ , los cambios en la CC y PV resultarían dependientes del crecimiento del forraje.
- 3)** La OF, la intervención postparto en base a flushing y la modificación de los grupos genéticos afectaron la memoria metabólica de las vacas como lo demuestra la relación entre CC y altura de la pastura. Con inferior cantidad de forraje que la reportada en la literatura (Trujillo et al., 1996) se obtuvieron similares niveles de CC.
- 4)** Las mejoras de la OF permitió alcanzar mayor peso de los terneros al destete y CC de las vacas y mantener la carga animal sin diferencias entre tratamientos de oferta de forraje lo cual se traduciría al ingreso neto de la cría en pastoreo de campos. .
- 5)** Este trabajo muestra la oportunidad de mejora de la producción animal en el ecosistema Campos a partir de cambios en la oferta de forraje y el empleo de vacas cruza. Su generalización permitiría mejorar los niveles de producción física, económica, la mitigación frente a la vulnerabilidad climática y se postula que es posible diseñar un sistema con superior captación y utilización de Carbomo. Su aplicación a escala de establecimiento necesita contar con herramientas que estimen en tiempo real la masa de forraje y protocolos que modifiquen la carga animal predial con la masa de forraje. Se requieren experimentos que estudien en forma conjunta la producción y consumo de forraje frente a cambios en la masa de forraje.

#### 4. CONCLUSIONES

Los resultados experimentales permiten concluir que la mayor oferta de forraje resultó en mayor producción de forraje, mayor consumo estimado de forraje y mayor eficiencia de transformación de la energía consumida en producto animal. Utilizar vacas “cruza” incrementó el consumo de forraje y generó mayor eficiencia de transformación de la energía consumida en producto animal.

Escasos antecedentes nacionales y regionales reportan el efecto de las relaciones masa-acumulación de forraje, existe mayor número de trabajos centrados en la utilización de forraje y ninguno en eficiencia de uso del forraje consumido.

El modelo conceptual propuesto permitió ubicar al aporte de los experimentos de pastoreo realizados a nivel nacional y regional. Al mismo

tiempo permitió identificar el aporte de información del experimento reportado en esta tesis. Al mismo tiempo constituye un valioso aporte para orientar las necesidades futuras de investigación.

El enfoque experimental resultó novedoso por el diseño experimental y de tratamientos, las variables medidas y las estimaciones realizadas permiten afirmar que se mejoró simultáneamente la producción, utilización y eficiencia de conversión del forraje en producto animal en oferta de forraje alta y se incrementó la utilización y la eficiencia de conversión del forraje en producto animal cuando el genotipo de la vaca resultó “cruza”.

Se reportó igualdad de carga animal entre ofertas de forraje contrastantes, asociación positiva entre masa de forraje y carga animal y estimaciones de eficiencia de conversión de energía consumida en producto animal en sistemas pastoriles de cría vacuna controlados por oferta de forraje.

En base a los resultados se evidencian los beneficios de controlar los ecosistemas pastoriles a través de la oferta de forraje, para lo que se necesitarían mejores herramientas de estimación de masa de forraje.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agnusdei, M. Lemaire, G. 2000. Leaf tissue turn over and efficiency of herbage utilization En: G. Lemaire, J. Hodgson, A. de Moraes, C. Nabinger and P. C. F. Carvalho ed. Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology. Cambridge, United Kingdom: University Press. p285
- Allen VG, Batello C, Berretta EJ, Hodgson J, Kothmann M, Li X, Mclvor J, Milne J, Morris C, Peeters A, Sanderson M. 2011. An international terminology for grazing lands and grazing animals. Grass and Forage Science 66:2-28
- Altesor A, Di Landro E, May H, Ezcurra E. 1998. Long-term species change in a Uruguayan grassland. Journal of Vegetation Science 9:173-180.

- Altesor A, Oesterheld M, Leoni E, Lezama F, Rodriguez C. 2005. Effect of grazing on community structure and productivity of a Uruguayan grassland. *Plant Ecology* 179:83-91.
- Ayala W, Bermudez R. 2005. Estrategias de manejo de campos naturales sobre suelos de lomadas del este. In: Seminario de actualización técnica en manejo de campo natural. INIA, Treinta y Tres, Uruguay. Serie Técnica Nº 151. p 41-49
- Baker RD, Alvarez F, Le Du YLP. 1981. The effect of herbage allowance upon the herbage intake and performance of suckler cows and calves. *Grass and Forage Science* 36:189-199.
- Barbiel A, Guidali A, Ximeno A. 1992. Efecto de la asignación de forraje durante el entore y del destete temporario al inicio del entore sobre la performance de vacas Hereford. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 62p.
- Barlow R, Ellis KJ, Williamson KJ, Costigan P, Stephenson PD, Rose G, Mears PT. 1988. Dry-matter intake of Hereford and first-cross cows measured by controlled release of chromic oxide on three pasture systems. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 110:217-231.
- Barlow R, Hearnshaw H, Arthur PF, Darnell RE. 1994. Evaluation of Hereford and first cross cows on three pasture systems. I. Calf growth and reproductive performance of young cows. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 122:121-129.
- Bermudez, R.; Ayala, W. 2005. Producción de forraje de un campo natural de la zona de lomadas del este. In: Seminario de actualización técnica en manejo de campo natural. INIA, Treinta y Tres, Uruguay. Serie Técnica Nº 151.p 41-49
- Berretta EJ, Risso DF, Montossi F, Pigurina G. 2000. Problems of animal production related to pastures in South America: Uruguay. En: Lemaire G, Hodgson J, de Moraes A, Nabinger C, Carvalho PCF ed. *Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology*. Cambridge, United Kingdom: University Press. p. 377-394.

- Bircham JS, Hodgson J. 1983. The influence of sward condition on rates of herbage growth and senescence in mixed swards under continuous stocking management. *Grass and Forage Science* 39:323-331.
- Blanc F, Bocquier F, Agabriel J, D'Hour P, Chilliard Y. 2006. Adaptive abilities of the females and sustainability of ruminants livestock systems. A review. *Animal Research* 55: 489-510.
- Bouissou MF. Influence of body weight and presence of horns on social rank in domestic cattle. *Animal Behavior* 20:474-477.
- Bransby DI, Conrad BE, Dicks HM, Drane JW. 1988. Justification for grazing intensity experiments: Analysing and interpreting grazing data. *Journal of Range Management* 41:274-279.
- Bransby DI, Maclaurin AR. 2000. Designing animal production studies. En: 't Mannelje L, Jones RM ed. *Field and laboratory methods for grassland and animal production research*. Cambridge: CABI Publishing. 447 p.
- Briske DD, Heitschmidt RK. 1991. An ecological perspective. En: Heitschmidt RK, Stuth JW ed. *Grazing management and ecological perspective*. Accessed 29-11-13 at <http://cnrit.tamu.edu/rlem/textbook/textbook-fr.html>
- Brosh A, Aharoni Y, Shargal E, Sharir B, Gutman M, Choshniak I. 2004. Energy balance of grazing beef cattle in Mediterranean pasture, the effects of stocking rate and season. 2 energy expenditure as estimated from heart rate and oxygen consumption, and energy balance. *Livestock Production Science* 90:101-115.
- Brosh A, Henkin Z, Ungar ED, Dolev A, Orlov A, Yehuda Y, Aharoni Y. 2006. Energy cost of cows' grazing activity: Use of the heart rate method and the global positioning system for direct field estimation. *Journal of Animal Science* 84:1951-1967.
- Butterworth MH. 1964. The digestible energy content of some tropical forages. *Journal of Agricultural Science* 64: 319-321.
- Casal A, Astessiano AL, Kaitazoff A, Trujillo AI, Gomez X, Carriquiry, M. 2012. Tamaño del intestino e hígado en vacas de carne pastoreando

- diferentes ofertas de forraje de campo natural: proliferación vs. crecimiento celular. *Veterinaria* 48 (Suplemento 1) p139.
- Casal, A., Veyga, M., Astessiano, A. L., Espasandin, A., Trujillo, A.I. Soca, P. Carrquiry, M. 2013. Visceral organ mass, cellularity and expression of genes encoding for mitochondrial respiratory chain proteins in pure and crossbred beef cows grazing different forage allowances of native pastures. Submitted to *Livestock Science* p xx
- Cundiff LV, Gregory KE, Koch RM. 1974. Effects of heterosis on reproduction in Hereford, Angus and Shorthorn cattle. *Journal of Animal Science* 38:711-727.
- DiCostanzo A, Meiske JC, Plegge SD. 1991. Characterization of energetically efficient and inefficient beef cows. *Journal of Animal Science* 69:1339-1348.
- Dirección Nacional de Meteorología 2011. Estadísticas climáticas. Montevideo, Uruguay. Dirección Nacional de Meteorología. Accessed 23 May 2012. Available at:  
<http://www.meteorologia.gub.uy/index.php/estadisticas-climaticas>
- Espasandín AC, Franco J, Oliveira G, Bentancur O, Gimeno D, Pereira F, Rogberg M. 2006. Impacto productivo y económico del uso del cruzamiento entre las razas Hereford y Angus en el Uruguay. In: Gil J, Giannechini E. (eds) 34 Jornadas Uruguayas de Buiatría. Centro Médico Veterinario, Paysandú, Uruguay. p
- Formoso D. 2005. La investigación en utilización de pasturas naturales sobre cristalino desarrollada por el secretariado uruguayo de la lana. En: Seminario de actualización técnica en manejo de campo natural. INIA, Treinta y Tres, Uruguay. Serie Técnica N° 151. p. 51-60.
- Forrester JW. Counterintuitive behavior of social systems. [En línea] 26 marzo de 2013. Disponible en <http://constitution.org/ps/cbss.pdf>
- Ferrell CL, Jenkins TG. 1985. Cow type and nutritional environment: nutritional aspects. *Journal of Animal Science* 61:725-741.

- Ferrell CL. 1988. Contribution of visceral organs to animal energy expenditure. *Journal of Animal Science* 66: 23-34.
- Freetly HC, Ferrell CL, Jenkins TG. 2000. Timing of realimentation of mature cows that were feed-restricted during pregnancy influences calf birth weights and growth rates. *Journal of Animal Science* 78:2790-2796.
- Fynn RWS, O'Connor TG. 2000. Effect of Stocking Rate and Rainfall on Rangeland Dynamics and Cattle Performance in a Semi-Arid Savanna, South Africa. *Journal of Applied Ecology* 37:491-507.
- Garcia, F, Carrere P, Soussana JF, Baumont R. 2003. The ability of sheep at different stocking rate to maintain the quality and quantity of their diet during the grazing season. *Journal of Agricultural Science* 140:113-124.
- Gibb MJ, Huckle CA, Nutall R, Rook AJ. 1999. The effect of physiological state (lactating or dry) and sward surface height on grazing behaviour and intake by dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science* 63:269-287.
- Gillen RL, Sims PL. 2004. Stocking rate, precipitation, and herbage production on sand sagebrush-grassland. *Journal of Range Management* 57:148-152.
- Gimeno D, Aguilar I, Franco J, Feed O. 2002. Rasgos productivos y reproductivos de hembras cruza. In: Seminario de actualización técnica: cruzamientos bovinos para carnes. INIA, Tacuarembó, Uruguay. Actividades de difusión N° 295.
- Gonçalves E. 2007. Comportamento ingestivo de bovinos e ovinos em pastagem natural da depressão central do Rio Grande do Sul. Tesis PhD. Porto Alegre, RS, Brazil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 128 p.
- Guerrero JN, Conrad BE, Holt EC, Wu H. 1984. Prediction of animal performance on bermudagrass pasture from available forage. *Agronomy Journal* 76:577-580.

- Gutierrez V, Espasandin AC, Astessiano AL, Casal A, Lopez-Mazz C, Carriquiry M. (2013). Calf foetal and early life nutrition on grazing conditions: metabolic and endocrine profiles and body composition during the growing phase. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 97:720-731
- Haydock KP, Shaw NH. 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 15: 663-670.
- Hill GM, Gates RN, Burton GW. 1993. Forage quality and grazing steer performance from Tifton 85 and Tifton 78 bermudagrass pastures. *Journal of Animal Science* 71: 3219-3225.
- Hirata M. 2000. Quantifying spatial heterogeneity in herbage mass and consumption in pastures. *Journal of Range Management* 53:315-321.
- Hodgson J. 1990. *Grazing Management: Science into Practice*. Harlow, Essex, UK. Longman Handbooks in Agriculture. 203 p.
- Holechek J. 1988. An approach for setting the stocking rate. *Rangelands* 10:10-14.
- Holechek JL. 2011. The future of range livestock production, energy, and grazing management. In: *Proceedings of the IX International Rangelands Congress, Diverse Rangelands for a Sustainable Society*, April 2–8, 2011. Rosario, Argentina. Pp. 189–195.
- Houghton PL, Lemenager RP, Horstman LA, Hendrix KS, Moss GE. 1990. Effects of body composition, pre- and postpartum energy level and early weaning on reproductive performance of beef cows and preweaning calf gain. *Journal of Animal Science* 68: 1438-1446.
- Jenkins TG, Ferrell CL. 1994. Productivity through weaning of nine breeds of cattle under varying feed availability: I. Initial evaluation. *Journal of Animal Science* 72:2787-2797.
- Laporta J, Gutierrez V, Machado P, Pereyra F, Lopez-Mazz C, Espasandin A, Carriquiry M. 2010. Effect of genetic group and forage allowances of native pastures on metabolite parameters during the peripartum and



reproductive performance in beef cattle. En: XXVI Congreso Mundial de Buiatría, Santiago de Chile, Chile.

Lattanzi FA, Mazzanti A, Wade MH. 2007. Seasonal animal production of temperate and mediterranean tall fescue cultivars under continuous variable stocking with close control of sward state. *Australian Journal of Agricultural Research* 58:203-213.

Leal F. 1993. Yield and quality of the natural pasture of Rio Grande do Sul grazed with steers under four levels of forage on offer. Tesis PhD. Porto Alegre, RS, Brazil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 184 p.

Lemaire G, Chapman D. 1996. Tissue flow in grazed plant communities. En: Hodgson J, Illius AW ed. *The ecology and management of grazing systems*. Wallingford: CAB International. 466 p.

Mannetje `t L. 1978. Measuring quantity of grassland vegetation. In: Mannetje `t L [ED.]. *Measurement of grassland vegetation and animal production*. Bulletin 52, Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops, Hurley, Berkshire, England. p 63-95

Maraschin GE, Moojen EL, Escoteguy CMD, Correa L, Apezteguia ES, Boldrini II. 1997. Native pasture, forage on offer and animal response. En: Buchanan-Smith JG, Bailey LD, McCaughey P. ed. *Proceeding of the XVIII International Grassland Congress, 8 - 19 June 1997; Winnipeg and Saskatoon, Canada*. Calgary, Canada. p. 27-29.

Margan DE, Graham, NMcC, Minson DJ, Searle TW. 1988. Energy and protein value of four forages, including a comparison between tropical and temperate species. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 28: 729-736.

McLean JA and Tobin C. 1987. *Animal and human calorimetry*. Cambridge University Press. New York. 352p.

Meikle A, Kulcsar M, Chilliard Y, Febel H, Delavaud C, Cavestany D, Chilibroste P. 2004 Effects of parity and body condition at parturition

on endocrine and reproductive parameters of the cow. *Reproduction* 127:727-737.

- Moojen EL, Maraschin GE. 2002 Potential production of a southern Brazil rangeland submitted to forage in offer levels. *Ciência Rural* 32:127-132.
- Moojen EL. 1991. Dynamics and potential production of a Rio Grande do Sul rangeland submitted to grazing pressures, deferment periods and soil fertility levels. Tesis PhD. Porto Alegre, RS, Brazil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 184 p.
- Morley FHW. 1978. Animal production studies on grasslands. In: Mannetje t L. (ed) Measurement of grassland vegetation and animal production. Bulletin 52, Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops. Hurley, Berkshire, England. p103-162
- Morris CA, Baker RL, Johnson DL, Carter AH, Hunter JC. 1987. Reciprocal crossbreeding of Angus and Hereford cattle 3. Cow weight, reproduction, maternal performance and lifetime production. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 30: 453-467.
- Mott GO. 1960. Grazing pressure and the measurement of pasture production. In: Proceedings of the eighth international grassland congress. 11-21 July, University of Reading, Berkshire, England. p 606-611
- Mott GO, Lucas HL. 1952. The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: *Proceedings of the sixth international grassland congress*. Pennsylvania State College, PA, USA. p 1380-1385
- Nabinger C, de Moraes A, Maraschin GE. 2000. Campos in southern Brazil. En: G. Lemaire, J. Hodgson, A. de Moraes, C. Nabinger and P. C. F. Carvalho ed. *Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology*. Cambridge, United Kingdom: University Press. p 355-376.
- Nabinger C, de Faccio Carvalho PC, Pinto CE, Mezzalira JC, Martins Brambilla D, Boggiano P. 2011. Servicios ecosistémicos de las

praderas naturales: ¿es posible mejorarlos con más productividad?  
Archivos Latinoamericanos de Producción Animal 19(3-4):27-34.

Nicol GB. 1979. Influence of pre and post-calving pasture allowance on hill country beef cow and calf performance. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 22: 417-424.

NRC 2000. Nutrient requirements of beef cattle: Seventh revised edition (1996): upgrade 2000. Ithaca, New York, USA. National Academic Press 249p.

Olmos F. 1990. Caracterización de comunidades naturales en la región noreste. In: *II Seminario de Campo Natural*. Melo, Cerro Largo, Uruguay. p 3-9

Olmos F. 1992. Aportes para el manejo de campo natural. Efecto de la carga animal y el período de descanso en la producción y evolución de un campo natural de Caraguatá (Tacuarembó). INIA, Tacuarembó, Uruguay. Serie técnica N° 20. 39p

Orcasberro R, Soca P, Pereyra F, López C, Burgueño J. 1990a. Efecto de la asignación de forraje durante otoño y del destete temporario a inicio de entore sobre la performance de vacas Hereford en campo natural. Pp 311-316. En: *II Seminario nacional de campo natural*. Hemisferio Sur. 15-16 de noviembre de 1990, Tacuarembó, Uruguay. 449p.

Orcasberro R, Chagas I, Bentancor D, de Souza D. 1990b. Efecto de la asignación de forraje sobre la performance de borregos corriedale en campo natural. Pp 333-339. En: *II Seminario nacional de campo natural*. Hemisferio Sur. 15-16 de noviembre de 1990, Tacuarembó, Uruguay. 449p.

Orcasberro R, Soca P, Beretta V, Trujillo AI, Franco J, Apezteguía E, Bentancour O. 1992. Características de la pastura y estado corporal del rodeo de cría en pastoreo de campo natural. En: *Evaluación Física y Económica de Alternativas Tecnológicas en Predios Ganaderos*. Estación Experimental M.A. Cassinoni. Facultad de Agronomía. Universidad de la República. 56p.

- Panario D, Bidegain M. 1997. Climate change effects on grasslands in Uruguay. *Climate Research* 9:37-40.
- Parsons AJ, Leafe EL, Collett B, Penning, PD, Lewis J. 1983. The physiology of grass production under grazing. II. Photosynthesis, crop growth and animal intake of continuously grazed swards. *Journal of Applied Ecology* 20:127-139.
- Parsons AJ, Johnson IR, Harvey A. 1988. Use of a model to optimize the interaction between frequency and severity of intermittent defoliation and to provide a fundamental comparison of the continuous and intermittent defoliation of grass. *Grass and Forage Science* 43: 49-59.
- Paruelo, J. M., G. Piñeiro, G. Baldi, S. Baeza, F. Lezama, A. Altesor and M. Oesterheld 2010. Carbon Stocks and Fluxes in Rangelands of the Rio de la Plata Basin. *Rangeland Ecology and Management* 63:94–108
- Piaggio, L. 1994. Pasture and animal traits associated with intake and selectivity of grazing steers on rangeland Tesis PhD. Porto Alegre, RS, Brazil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 438 p.
- Ratray, P.V.; Jagusch, K.T.; Duganzich, D.M.; Maclean, K.S. Lynch, R.J. 1982. Influence of pasture allowance and mass during late pregnancy on ewe and lamb performance. *Proceeding of the New Zealand Grassland Association* 43:223-229.
- Rodriguez Palma R, Rodriguez T, Vergnes P, Andi6n J. 2006. Fertilizaci6n nitrogenada de campo natural: forraje acumulado y productividad secundaria. En: XXI Reuni6n do grupo t6cnico em forrageiras do cone sul - Grupo Campos. Pelotas, Brasil.
- Sala, O. E. 2001. Productivity of temperate grasslands. In: J. Roy, B. Saugier, and H. A. Mooney, [EDS.]. *Terrestrial Global Productivity*. Academic Press, San Diego, CA, EUA. p. 285-300.
- SAS Institute. 2002. Version 9. Cary, NC, USA: SAS Institute, Inc.
- Scarlato S. 2011. Conducta de vacas de cría en pastoreo de campo nativo: efecto de la oferta de forraje sobre la expresi6n del patr6n temporal y

espacial de pastoreo. Tesis MSc. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. 64 p.

- Scarlato S, Faber A, Do Carmo M, Soca P. 2011 Foraging behavior of beef cows grazing native pasture: I Effect of breed and herbage allowance on daily grazing and ruminating time. En: Feldman SR, Oliva GE, Sacido MB ed. Proceedings of the 9th International Rangeland Congress; 2<sup>nd</sup> to 8<sup>th</sup> April 2011; Rosario, Argentina. p 657.
- Scarlato, S., Carriquiry, M., Do Carmo, M., Faber, A., Genro, C., Laca, E., Soca, P. 2013. Foraging behavior of beef cows grazing native grassland: Effect of herbage allowance on temporal and spatial grazing patterns. Submitted to Animal Production Science 18p
- Setelich E. 1994. Potencial productivo de uma pastagem natural do rio grande do sul submetida a distintas oferta de forragem. Tesis PhD. Porto Alegre, RS, Brazil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 184 p.
- Short, R.E., R. A. Bellows, R. B. Staigmiller, J. G. Berardinelli and E. E. Custer. 1990. Physiological mechanisms controlling anestrus and infertility in postpartum beef cattle. Journal of Animal Science 68:799-816.
- Soares, A. B., P. C. F. Carvalho, C. Nabinger, A. Frizzo, C. E. Pinto, J. A. F. Junior, C. Semmelmann and J. da Trindade. 2003. Effect of changing herbage allowance on primary and secondary production of natural pasture. In: Allsopp, N., Palmer, A. R., Milton, S. J., Kerley, G. I. H., Kirkman, K. P., Hurt, R., Brown, C. J. [EDS.]. Proceedings of the 7th International Rangeland Congress; 26th July -1st August 2003; Durban, South Africa. Durban, South Africa. p. 966-968
- Soca P. y R. Orcasberro. 1992. Propuesta de Manejo del Rodeo de Cría en base a Estado Corporal, Altura del Pasto y Aplicación del Destete Temporario. pp 54-56. En: Evaluación Física y Económica de Alternativas Tecnológicas en Predios Ganaderos. Estación Experimental M. A. Cassinoni. Facultad de Agronomía. Universidad de la República. 56 p.

- Soca P, Do Carmo M, Claramunt M. 2007. Beef cows breed system on native sward without agricultural financial assistance: Research to sustainable calf production with low cost and easy instrumentation. *Avances en Producción Animal* 32: 3-26
- Sollenberger LE, Moore JE, Allen VG, Pedreira CGS. 2005. Reporting forage allowance in grazing experiments. *Crop Science* 45:896-900.
- Sollenberger LE, Vanzant ES. 2011. Interrelationship among forage nutritive value and quantity and individual animal performance. *Crop Science* 51:420-432.
- Sollenberger LE, Agouridis CT, Vanzant ES, Franzluebbbers AJ, Owens LB. 2012. Prescribed grazing in pastureland. In Nelson CJ (ed) *Conservation effects assessment program for pasturelands*. Allen Press, Lawrence, KS. (in press)
- Stakelum G, Dillon P. 2004. The effect of herbage mass and allowance on herbage intake, diet composition and ingestive behaviour of dairy cows. *Irish Journal of Agricultural and Food Research* 43:17-30
- Stuedemann JA, Franzluebbbers AJ. 2007. Cattle performance and production when grazing Bermudagrass at two forage mass levels in the southern Piedmont. *Journal of Animal Science* 85:1340-1350.
- Tolkamp BJ. 2010. Efficiency of energy utilization and voluntary feed intake in ruminants. *Animal* 4:1084-1092.
- Trujillo AI, Orcasberro R, Beretta V, Franco J, Burgueño J. 1996. Performance of Hereford cows under conditions of varied forage availability during late gestation. Development of feed supplementation strategies for improving ruminant productivity on small-holder farms in Latin America through the use of immunoassay techniques. Proceedings of the final Research Co-ordination Meeting of a Co-ordinate Research Programme organized by the Joint FAO/AIEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture. IAEA-TECDOC-877. s.p.

- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74:3583-3597.
- Vizcarra JA, Ibañez W, Orcasberro R. 1986. Repetibilidad y reproducibilidad de dos escalas para estimar la condición corporal de vacas Hereford. *Investigaciones Agronómicas* 7:45-47.
- Wagner JJ, Lusby KS, Oltjen JW, Rakestraw J, Wettemann RP, Walters LE. 1988. Carcass composition in mature Hereford cows: estimation and effect on daily metabolizable energy requirements during winter. *Journal of Animal Science* 66: 603-612.
- Wales WJ, Doyle PT, Stockdale CR, Dellow DW. 1999. Effects of variations in herbage mass, allowance, and level of supplement on nutrient intake and milk production of dairy cows in spring and summer. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 39:119-130.
- Wheeler JL, Burns JC, Mochrie RD, Gross HD. 1973. The choice of fixed or variable stocking rates in grazing experiments. *Experimental Agriculture* 9: 289-302.
- Wright IA, Russel AJF. 1987. The effect of sward height on beef cow performance and on the relationship between calf milk and herbage intakes. *Animal Production* 44: 363-370.
- Wright I A, White TK. 1989. Effects of sward surface height on the performance of continuously stocked spring-calving beef cows and their calves. *Grass and Forage Science* 44:259-266.

## 6. ANEXOS

### 6.1 ESTIMACIÓN DE LOS KILOGRAMOS DE FORRAJE NECESARIOS PARA ALCANZAR LA PERFORMANCE LOGRADA

A partir de los datos de consumo diario de energía neta (EN) y en base a algunos supuestos (descritos a continuación) se estimó los kg de forraje por año que debería consumir una vaca para mantenerse y destetar los kg de ternero registrados en este trabajo.



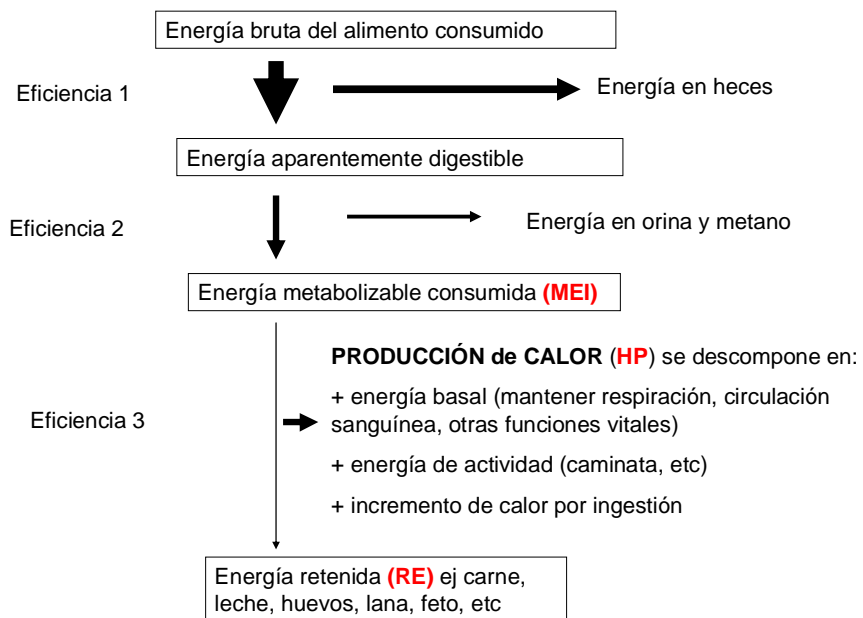


Figura 5. Esquema de uso y partición de la energía consumida por el animal. Elaborado en base a McLean y Tobin 1987.

En la Figura 5, se detallan tres pérdidas de energía, entre la energía consumida (EB) y la energía retenida (RE) en productos animales. La eficiencia 1 se estima a través de la digestibilidad del alimento consumido, la eficiencia 2 se estima a través de un coeficiente que considera las pérdidas de energía en la orina y gas metano y la eficiencia 3 considera las pérdidas por calor.

Es posible partir de la energía bruta (EB) y estimar la energía neta (EN) si multiplicamos la EB por cada una de las eficiencias.

$$EB * \text{eficiencia 1} = ED$$

$$ED * \text{eficiencia 2} = EM$$

$$EM * \text{eficiencia 3} = EN$$

La **eficiencia 1** (digestibilidad del alimento consumido) se estimó a partir de la ecuación reportada por Piaggio (1994)  $y = 32,11 + 0,49x$  ( $r^2 = 0,62$ ), donde  $y$  representa la digestibilidad de la materia orgánica (MO) del forraje

seleccionado y  $x$  representa la digestibilidad de MO de la pastura. La digestibilidad promedio de la MO del forraje resultó 40,08 % (Genro com pers). En función de ese valor la digestibilidad del forraje seleccionado resultaría de 51,71 (0,5171). Cabe aclarar que la energía bruta (EB) del forraje se asumió igual a 4,4 Mcal/kg (Butterworth 1964).

La **eficiencia 2** (EM/ED) comúnmente utilizada es 0,82, lo que significa que se pierde 18% de la ED en orina y metano. No obstante este valor es referido a forrajes C3 y en nuestro trabajo las plantas son de metabolismo C4, que resultaron con mayor producción de metano comparado con plantas C3 y por tanto se utilizó un coeficiente de 0,79 (Margan et al. 1988).

La **eficiencia 3** (EN/EM) estimada bajo condiciones de pastoreo, resultó 0,625 (Brosh et al. 2004) y a pesar de varios sistemas de cálculo para su estimación, recientemente se reportó cercana a 0,6 (Tolkamp 2010). A los efectos de esta estimación utilizaremos el valor de 0,625 estimado por Brosh et al. (2004).

Los valores de EN utilizados (10,83, 10,34, 10,01 y 9,08 en Hi-Cr, Hi-Pu, Lo-Cr y Lo-Pu respectivamente) fueron estimados en base a NRC (2000) presentados en Do Carmo et al. 2013 en esta tesis. Basados en los coeficientes antes mencionados, el consumo de forraje resultó 3519, 3360, 3252 y 2950 kg de MO de forraje por vaca por año en Hi-Cr, Hi-Pu, Lo-Cr y Lo-Pu respectivamente.

La diferencia entre Hi-Cr y Lo-Pu fue de 569 kg de forraje al año, (1,55 kg por día) mientras la diferencia entre Hi-Pu y Lo-Cr fue de 108 kg de forraje al año (0,30 kg por día). La diferencia promedio en la oferta de forraje resultó  $4,69 - 2,80 = 1,89$  por tanto por kg de aumento en la oferta de forraje el consumo de forraje aumentó entre 0,82 y 0,16 kg de MO por kg de oferta de forraje.

## 6.2 ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA DE USO DE LA ENERGÍA CONSUMIDA EN CADA TRATAMIENTO DE OFERTA DE FORRAJE Y GENOTIPO VACUNO

La eficiencia de uso de la energía por tratamiento requiere la estimación de la eficiencia reproductiva, los kg de ternero destetado y el consumo de energía por vaca. Se utilizó la eficiencia reproductiva (porcentaje de destete) de forma de considerar las vacas que consumen forraje y no destetan terneros y lo mismo con el peso de los terneros al destete, para ponderar la cantidad de producto no generado. Los índices reproductivos se tomaron de Espasandin et al. (2013, sin publicar), que resultó 87%, 81%, 81% y 76% en Hi-Cr, Hi-Pu, Lo-Cr y Lo-Pu respectivamente. Se tomó el consumo individual de EN estimado en base a NRC (2000) que resultó 10,83, 10,34, 10,01 y 9,08 Mcal de EN d<sup>-1</sup>

Cuadro 3. Estimación de la eficiencia de transformación de la energía consumida por tratamiento en producto animal.

Trat	EN Mcal d <sup>-1</sup> vaca <sup>-1</sup>	Dest	EN Mcal d <sup>-1</sup> vaca <sup>-1</sup> entorada	EN año	EM año
Hi-Cr	10,83	0,87	10,83 / 0,87 = 12,44	4543	4543 / 0,625 = 7269
Hi-Pu	10,34	0,81	10,34 / 0,81 = 12,76	4659	4659 / 0,625 = 7454
Lo-Cr	10,01	0,81	10,01 / 0,81 = 12,34	4511	4511 / 0,625 = 7218
Lo-Pu	9,08	0,76	9,08 / 0,76 = 11,94	4361	4361 / 0,625 = 6978

Trat	kg ternero /vaca	kg ternero por vaca entorada	grs ternero/ Mcal EN año	grs ternero/ Mcal de EM año
Hi-Cr	126	126 * 0,87 = 109,62	109620 / 4543 = 24,12	109620 / 7269 = 15,07

Hi-Pu	114	$114 * 0,81 = 92,34$	$92340 / 4659 = 19,81$	$92340 / 7454 = 12,38$
Lo-Cr	112	$112 * 0,81 = 90,72$	$90720 / 4511 = 20,11$	$90720 / 7218 = 12,57$
Lo-Pu	96,6	$96,6 * 0,76 = 73,41$	$73410 / 4361 = 16,83$	$73410 / 6978 = 10,52$

El coeficiente estimado en gramos de ternero por Mcal de EM permite la comparación con trabajos que evaluaron la eficiencia de uso de la energía por vacas de cría realizados por Jenkins y Ferrell (1994).

#### 6.2.1 Estimación de la eficiencia de producción animal por unidad de superficie

La eficiencia de producción animal por unidad de superficie es el resultado del consumo de energía por unidad de peso vivo, el peso vivo de los animales, la carga animal, la eficiencia de uso de la energía consumida en producto animal y la eficiencia reproductiva alcanzada en cada tratamiento.

Cuadro 4. Estimación de la eficiencia de transformación de la energía consumida por unidad de superficie.

Trat	EN Mcal d <sup>-1</sup> vaca <sup>-1</sup>	Dest	EN Mcal d <sup>-1</sup> vaca <sup>-1</sup> entorada	Consumo de EN kg PV <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	Carga animal
Hi-Cr	10,83	0,87	$10,83 / 0,87 = 12,44$	$12,44 / 476 = 0,026$	382
Hi-Pu	10,34	0,81	$10,34 / 0,81 = 12,76$	$12,76 / 447 = 0,028$	382
Lo-Cr	10,01	0,81	$10,01 / 0,81 = 12,34$	$12,34 / 448 = 0,0275$	398
Lo-Pu	9,08	0,76	$9,08 / 0,76 = 11,94$	$11,94 / 412 = 0,029$	398

Trat	Consumo EN ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	Consumo EM ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	Consumo EM ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	grs ternero/ Mcal de EM año	Grs de ternero año <sup>-1</sup>
Hi-Cr	$0,026 * 382$	$9,932 / 0,625 =$	5800	15,07	$5800 * 15,07 =$

	= 9,932	15,89			87406
Hi-Pu	0,028 * 382 = 10,696	10,696 / 0,625 = 17,11	6246	12,38	6246 * 12,38 = 77325
Lo-Cr	0,0275 * 398 = 10,945	10,945 / 0,625 = 17,51	6392	12,57	6392 * 12,57 = 80347
Lo-Pu	0,029 * 398 = 11,542	11,542 / 0,625 = 18,46	6740	10,52	6740 * 10,52 = 70904

Los kg de ternero destetado por vaca por año por ha resultaron 87,4, 77,3, 80,3 y 70,9 en los tratamientos Hi-Cr, Hi-Pu, Lo-Cr y Lo-Pu respectivamente, por tanto la diferencia entre Hi-Cr y Lo-Pu resultó de 23%.