
Sección: Artículos de investigación

Engorde de novillos en confinamiento: Evaluación del desempeño productivo mediante simulación de estrategias de alimentación

Artículo de Ocampos Olmedo DA, Paniagua Alcaraz P, Tobal C, Alonzo Griffith L

CIENCIA VETERINARIA, Vol. 22, Nº 2, julio-diciembre de 2020, ISSN 1515-1883 (impreso) E-ISSN 1853-8495 (en línea), pp. 135-156

DOI: <http://dx.doi.org/10.19137/cienvet202022204>

Engorde de novillos en confinamiento: Evaluación del desempeño productivo mediante simulación de estrategias de alimentación

Diego Avilio Ocampos Olmedo¹, Pedro Paniagua Alcaraz¹, Claudio Tobal², Luis Alonzo Griffith¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Asunción. Ruta Mcal. José F. Estigarribia, Km 11 Campus de la UNA. San Lorenzo - Paraguay

² Facultad de Ciencias Veterinarias Universidad Nacional de La Pampa. Calle 5 esq. 116. General Pico, La Pampa. Argentina

Correo electrónico: docampos@agr.una.py / docamposolmedo@gmail.com

RESUMEN

Se diseñó un modelo de simulación con el objetivo de servir como herramienta de gestión para estimar la tasa de cambio del peso vivo en novillos confinados. Los principales componentes del sistema de producción integrados en el modelo fueron el animal, medio ambiente y la dieta. Las interrelaciones biológicas cuantificadas se resumen en el consumo voluntario de materia seca y balances nutricionales de energía metabolizable y proteína digestible. El consumo potencial estimado por la madurez fisiológica dependiente del biotipo animal cebuino, taurino o híbrido, sexo y edad fue corregido por índices relacionados con el tamaño de la partícula alimenticia y digestibilidad real de la dieta. Ésta fue estimada mediante el desarrollo y validación de índices y funciones de corrección considerando el nivel de taninos, sílice, proteína cruda y carbohidratos no estructurales junto con el tamaño de partícula tomadas de tablas de datos del modelo Cornell. La confianza del modelo para predecir la tasa de incremento del peso vivo fue evaluada mediante la prueba *t* student con datos experimentales de 12 lotes de novillos de razas de madurez fisiológica precoz, durante 119 días. Las ganancias diarias de pesos promedios del modelo presentaron una tendencia similar a los datos observados ($P:0.65$). Además, el análisis de regresión entre



Esta obra se publica bajo licencia Creative Commons 4.0 Internacional. (Atribución-No Comercial-Compartir Igual) a menos que se indique lo contrario, <http://www.creativecommons.org.ar/licencias.html>

variables simuladas y observadas presentó similar tendencia tanto para estimación de consumo ($R^2=0,62$) como para la estimación de la ganancia diaria de peso ($R^2=0,58$). El modelo permite evaluar innovaciones de procesos para determinar funciones de producción relacionadas con el peso vivo en diferentes escenarios incorporando variables como biotipo bovino, calidad de dieta modificada en base a su digestibilidad, tamaño de partícula, y temperatura ambiental.

Palabras Claves: Peso Vivo, Evaluación de Escenarios, Función de crecimiento, Consumo.

Fattening steers in confinement: Evaluation of productive performance through simulation of feeding strategies

ABSTRACT

A simulation model was designed in order to serve as a management tool to estimate the rate of change in live weight in confined steers. The main components of the production system integrated in the model were the animal, the environment and the diet. The quantified biological interrelationships are summarized in the voluntary consumption of dry matter and nutritional balances of metabolizable energy and digestible protein. The potential consumption estimated by the physiological maturity dependent on the zebu, bullfighting or hybrid animal biotype, sex and age was corrected by indexes related to the size of the food particle and actual digestibility of the diet. This was estimated through the development and validation of indexes and correction functions considering the level of tannins, silica, crude protein and non-structural carbohydrates together with the particle size taken from data tables of the Cornell model. The confidence of the model to predict the increase rate in live weight was evaluated by means of the t student test with experimental data from 12 batches of steers of breeds of early physiological maturity, during 119 days. The daily gains of average weights of the model presented a similar trend to the observed data ($P: 0.65$). In addition, the regression analysis between simulated and observed variables presented a similar trend both for estimating consumption ($R^2 = 0.62$) and for estimating daily weight gain ($R^2 = 0.58$). The model allows evaluating process innovations to determine production functions related to live weight in different scenarios incorporating variables such as bovine biotype, modified diet quality based on its digestibility, particle size, and environmental temperature.

Key words: Live Weight, Scenario Assessment, Growth Function, Consumption

Engorda de novillos em confinamento: Avaliação do desempenho produtivo através da simulação de estratégias alimentares

RESUMO

Foi projetado um modelo de simulação com o objetivo de servir como uma ferramenta de gerenciamento para estimar a taxa de variação do peso vivo em novillos confinados. Os principais componentes do sistema de produção integrado ao modelo foram o animal, o meio ambiente e a dieta. As inter-relações biológicas quantificadas estão resumidas no consumo voluntário de matéria seca e nos balanços nutricionais de energia metabolizável e proteína digestível. O consumo potencial estimado pela maturidade fisiológica dependente do zebuino, taurino, ou híbrido, sexo e idade foi corrigido por índices relacionados ao tamanho da partícula alimentar e à digestibilidade real da dieta. Isso foi estimado através do desenvolvimento e validação de índices e funções de correção considerando o nível de taninos, sílica, proteína bruta e carboidratos não estruturais, juntamente com o tamanho de partícula retirado das tabelas de dados do modelo de Cornell. A confiança do modelo em prever a taxa de aumento do peso vivo foi avaliada por meio do teste t de Student com dados experimentais de 12 lotes de novillos de raça de maturidade fisiológica precoce, durante 119 dias. Os ganhos médios diários de peso do modelo apresentaram tendência semelhante aos dados observados (P: 0,65). Além disso, a análise de regressão entre as variáveis simuladas e observadas apresentou uma tendência semelhante tanto para estimar o consumo ($R^2 = 0,62$) quanto para estimar o ganho de peso diário ($R^2 = 0,58$). O modelo permite avaliar inovações de processo para determinar funções de produção relacionadas ao peso vivo em diferentes cenários, incorporando variáveis como biotipo bovino, qualidade da dieta modificada com base em sua digestibilidade, tamanho de partícula e temperatura ambiental.

Palavras-Chave: Peso Vivo, avaliação de cenários, função de crescimento, consumo

Fecha de recepción: 29-06-2020

Aceptado para publicar: 28-07-2020

Introducción

En la actualidad existe una fuerte presión ejercida por diversos estamentos de la sociedad y del sector industrial sobre los sectores de producción para implementar técnicas más eficientes de producción con el objetivo de disminuir el déficit de consumo y a mejorar la calidad del producto ofertado. El rebaño bovino del Paraguay está calculado en 10.395.997 cab. ⁽¹⁾

La carne bovina constituye una de las principales fuentes de proteína en la dieta normal de los paraguayos, con un consumo anual per cápita de 33 kg, que si bien es inferior al consumo estimado para países de habla hispana en el MERCOSUR (Argentina y Uruguay), es considerado alto en términos comparativos ⁽²⁾. Estos elevados consumos internos son un aliciente para el aumento de la producción, limitada más que nada por el poder adquisitivo. A nivel mundial, mercados emergentes como China continental han aumentado su demanda de carne roja favoreciendo escenarios positivos para la producción y exportación de carne bovina en un futuro mediato. Esto hace suponer que se deberán evaluar estrategias diferenciadas que permitan mantener e incrementar la competitividad del negocio ganadero en la próxima década.

La modelación, es una metodología para resolver problemas mediante la cual, un investigador construye un modelo que representa un objeto o sistema real. Siendo una metodología, al aplicarla se debe hacer una equiparación entre el marco teórico que aporta la misma y la estructura del problema a resolver. La utilidad de los modelos de simulación en producción animal se resume en: a) Se utilizan en todas las fases de una operación ganadera para evaluar opciones de producción; b) Es una técnica para mejorar la planificación, permitiendo a los productores y científicos evitar la implementación de técnicas y esquemas de manejo que puedan provocar una respuesta bioeconómica negativa; c) El uso de ordenadores computacionales permiten evaluar un mayor número de opciones de producción en períodos cortos, lo cual sería imposible realizar con la experimentación física en animales o seres vivos; d) En el caso del manejo del ganado, pueden ser el apoyo en la formulación de planes de manejo y desarrollo para una empresa ganadera, señalando tres funciones definidas: cuantificar requerimientos y limitaciones nutricionales, investigar los efectos *ex ante* de nuevas opciones tecnológicas y definir la pauta para la obtención futura de datos que no eran considerados, así como detectar los puntos débiles de un nuevo sistema de producción; e) Permite definir nuevas áreas de investigación, confirmar algunos resultados de otros

experimentos y usar algunos datos para orientar la transferencia tecnológica; f) Provee información aplicable y confiable del sistema pecuario, a modelos de toma de decisión.⁽³⁾

La necesidad creciente de evaluar escenarios productivos dinámicos ha demandado la definición, desarrollo e implementación de herramientas para apoyar la toma de decisiones. Estas constituyen un conjunto relacionado y articulado de instrumentos, agrupados con diferentes nombres relacionados con sistemas de apoyo a la toma de decisiones o sistemas de gestión.⁽⁴⁾ La aplicación del modelo de simulación como alternativa de evaluación de escenarios cambiantes surge porque permite una mejor comprensión del sistema, para estudiar la posibilidad de modificarlo y mejorarlo a partir de la identificación de los puntos más sensibles, siendo sus principales ventajas las de permitir el estudio de sistemas en situaciones en las que la experimentación real sería imposible o muy costosa en recursos humanos y materiales. Basado en los antecedentes expuestos se plantea como objetivo del presente trabajo, diseñar, elaborar y validar un modelo de simulación para evaluar el desempeño de bovinos confinados considerando balances de proteína y energía metabolizable de la dieta.

Materiales y métodos

Se consideraron como principales componentes la estimación del consumo voluntario de materia seca y los requerimientos de energía metabolizable y proteína digestible, que se representan mediante subrutinas propias.

En la Tabla N° 1 se proponen las variables de entrada para el modelo de simulación a ser desarrollado. En el transcurso del desarrollo e implementación del modelo las diferentes fórmulas serán desarrolladas y o adaptadas a partir de regresiones y correlaciones extraídas de trabajos de investigación desarrollados por científicos y técnicos que han publicado en revistas indexadas y de rigor científico. Las mismas serán introducidas en planillas de Excel 2010 con programación realizada en entorno Visual Basic y adaptación de Bases de datos (Access, Visual Fox).

Tabla 1. Variables de inicio de simulación

Variable	Unidad
Peso inicial del novillo	k
Velocidad promedio del viento	km/h
Temperatura ambiental promedio	oC
PC de la dieta	% de MS
FDN de la dieta	% de MS
FDA de la dieta	% de MS
Lignina	% de MS
Edad promedio de los animales	Meses
Peso promedio al nacimiento de la raza o biotipo	kg
Peso promedio a la madurez de la raza o biotipo empleado	kg

SUBROUTINA DE CONSUMO DE MATERIA SECA

El consumo voluntario de materia seca es una variable importante en el estudio de producción de carne bovina. La productividad de un rumiante está en función de la cantidad y calidad de la ración ingerida durante el ciclo productivo. La estimación del consumo de materia seca permite establecer un correcto balance de nutrientes de la dieta y estimar la tasa diaria de modificación del peso vivo, por lo tanto, constituye la variable más importante que afecta a la performance del animal. ⁽²⁾

CONSUMO POTENCIAL DE MATERIA SECA

Se define como la capacidad máxima por unidad de tiempo, el cual se ha determinado que está controlado por las características físicas del animal y se expresa cuando las características de la dieta no lo limitan. En condiciones de confinamiento, por lo general se estima el consumo potencial entre 2,6 a 3,2% del peso vivo (kg MS día⁻¹), función que no considera el efecto de la madurez fisiológica a una edad determinada del animal. Bajo esta premisa se procedió a estimar al consumo potencial, de acuerdo a la propuesta de CSIRO (2007)⁽⁵⁾, con lo cual se establece la siguiente relación:

$$N = A - (A - B) * e^{-(k * t)}$$

Donde:

N: Peso esperado a la edad t (kg PV)

A: Peso Standard a la Madurez Fisiológica (kg PV)

B: Peso promedio al nacimiento (kg PV)

t: Edad en meses

k: Constante de crecimiento = 0,47 / A^{0,27}

A partir de la obtención del peso a una edad dada, se procede a definir el valor Z, que es la relación entre el peso a una edad determinada y el peso a la madurez fisiológica. Con esto resuelto se procede a estimar el consumo potencial de materia seca del animal.

$$I = 0,024 * A * Z * (1,7 - Z)$$

Donde:

I: Consumo potencial (kg MS·día⁻¹)

Z: Índice relativo de peso (N/A)

CONSUMO VOLUNTARIO DE MATERIA SECA

El consumo de alimento por los rumiantes involucra relaciones complejas entre el animal, microbiota del rumen y atributos físicos y químicos del substrato alimenticio. La característica de la dieta más utilizada para predecir el consumo voluntario es la digestibilidad de la materia seca. Se han desarrollado para animales bajo condiciones de confinamiento (*feed lot*) funciones cuadráticas para estimar el consumo de materia seca por unidad de peso metabólico considerando la energía neta de la dieta.⁽⁶⁾ Por lo general la digestibilidad observada se obtiene mediante el método de digestibilidad *in vitro*.

$$CVO = I * FCONSUMO * FCONTPAR$$

donde:

CVO: Consumo voluntario o real de materia seca (kg MS día·animal⁻¹)

FCONSUMO: Factor de corrección del consumo potencial por efecto de la digestibilidad.

FCONTPAR: Factor de corrección del consumo potencial por efecto del tamaño de partícula.

El factor FCONSUMO fue descrito en el estudio de Ocampos et al. (2010)⁽²⁾ siendo la digestibilidad de la materia seca consumida determinada por correcciones de la digestibilidad potencial según las características de la dieta y tamaño de partícula.

$$FCONSUMO = (1,675 * DIGreal) - 0,34$$

Donde:

DIGreal: Digestibilidad real simulada (índice 0-1)

La digestibilidad real se estimó considerando la función de Giger-Reverdin et al. (1994)⁽⁷⁾ y ajustando a lo expuesto por Vieira et al., 2007⁽⁸⁾ para cuantificar la digestibilidad potencial (DIGPot) de una dieta.

$$\text{DIGPot} = 91,8 - 0,0333 * \text{FDn} + 0,0417 * \text{FDa} - 0,247 * \text{ADl} - 0,0396 * \text{EE}$$

donde:

FDn : Fibra Detergente Neutro (g· kg MS⁻¹)

FDa : Fibra detergente ácida (g· kg MS⁻¹)

ADl : Lignina ácida detergente (g· kg MS⁻¹)

EE: Extracto etéreo (g· kg MS⁻¹)

El algoritmo de cálculo considera la estimación de una digestibilidad real corregida por el contenido en la dieta de sílice, taninos, proteína cruda y carbohidratos solubles; además, se considera también el efecto del tamaño de partícula de la dieta. Determinados los efectos de los factores anteriormente descritos, se procede a determinar la DIGREAL utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{DIGreal} = (\text{DIGPot} - \text{FSil}) * \text{FTan} * \text{FPc} * \text{FCs} * \text{FTPar}$$

donde:

FSil : Factor de corrección por contenido de sílice en la dieta.

FTan: Factor de corrección por contenido de taninos en la dieta.

FPc: Factor de corrección por contenido de proteína cruda en la dieta.

FCs: Factor de corrección por contenido de carbohidratos solubles en la dieta.

FTPar = Factor de corrección por tamaño de partícula de la dieta.

FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD POR EFECTO DEL CONTENIDO DE SÍLICE EN LA DIETA (FSIL)

La digestibilidad de la pared celular y de la materia orgánica se deprime de 1 a 1,4 y de 0,5 a 1,5 unidades porcentuales por unidad porcentual de sílice presente en el alimento⁽⁹⁾

El mecanismo por el cual el sílice reduce la digestibilidad de la pared celular en algunos forrajes pero no en otros, es desconocido. La digestibilidad se vería afectada por el contenido de sílice, ya que este formaría compuestos complejos con los minerales esenciales lo que limita el crecimiento de las bacterias en el rumen y/o porque el sílice se incrusta en forma compleja en la pared celular de las plantas. El factor de ajuste para la digestibilidad por efecto del sílice se estima:

$$\text{FSil} = \text{ASil}$$

donde:

ASil: Aporte de sílice en la dieta

FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD POR EFECTO DEL CONTENIDO DE TANINOS EN LA DIETA (FTAN)

Los taninos son compuestos polifenólicos que se encuentran en forma natural, los cuales se combinan con proteínas y otros polímeros como la celulosa, hemicelulosa y pectina, con los cuales forma productos complejos estables (McSweeney et al., 2001). El factor que corrige la digestibilidad por efecto del contenido de taninos en la dieta, se determina a través de la siguiente ecuación:

$$FTan = 1,1755 * e^{-0,539 * ATan}$$

donde:

ATan = Contenido de taninos en la dieta

Si el contenido de taninos en la dieta es menor de 3%, el factor de corrección es igual a 1, y si es mayor o igual a 20%, el consumo voluntario será igual a cero.

FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD POR EFECTO DEL CONTENIDO DE PROTEÍNA CRUDA DE LA DIETA (FPC)

La deficiencia de nitrógeno a nivel ruminal puede ser un factor limitante para el crecimiento normal de los microorganismos ruminales cuando se utilizan dieta con altos contenidos de pared vegetal. El requerimiento total de nitrógeno disponible para crecimiento bacterial debe ser aproximadamente de 40 g kg⁻¹ de materia orgánica fermentable o 26 g kg⁻¹ de materia orgánica digestible, representando dichos valores las cantidades mínimas requeridas para optimizar la degradabilidad de las dietas fibrosas.⁽¹⁰⁾ La determinación del factor que corrige la digestibilidad de la dieta por el efecto de la proteína, se realiza a través de la siguiente relación:

$$FPC = 0,273 + (0,023 * P)$$

donde:

FPC: Factor de corrección de la digestibilidad por efecto del contenido de proteína cruda de la dieta.

P: Nitrógeno dietario ruminal (g N kg MOD⁻¹)

Este factor es igual a 1 cuando el aporte de proteína cruda es igual o superior al 12%, determinándose un aporte de 32 g N por kg de materia orgánica digestible en el rumen. Se utilizó un 65% de degradabilidad ruminal de la materia seca consumida.⁽¹¹⁾ Con valores inferiores al 4% de proteína cruda este factor es igual a cero.

FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD POR EFECTO DEL CONTENIDO DE CARBOHIDRATOS SOLUBLES DE LA DIETA (FCS)

Las implicancias nutricionales de los carbohidratos estructurales y no estructurales de la dieta son importantes, ya que son la principal fuente de energía para los microorganismos del rumen y además, porque su comportamiento fermentativo difiere grandemente entre las distintas fuentes utilizadas.⁽¹²⁾ Los carbohidratos no estructurales (CNE) están formados por los carbohidratos no recuperados en la fracción fibra detergente neutro (FDN), dentro de los que se incluyen los azúcares, almidones, fructosanos, galactanos, pectinas, etc. Poseen la característica de un potencial de fermentación rápida y total en el rumen⁽⁹⁾ Debido a ello, se les ha caracterizado como la fracción del alimento más rápidamente disponible como sustrato para los microorganismos ruminales. Los resultados por incorporación de carbohidratos rápidamente fermentables del orden de 5 -10% del sustrato en experimentos *in vitro* han demostrado un efecto estimulante en la celulosis. La digestibilidad aumenta significativamente cuando el nivel de carbohidratos no estructurales se incrementa de 25 a 37% de la materia seca de la dieta, pero al superar 54% deja de ser importante.⁽¹³⁾

El factor que corrige la digestibilidad por el efecto de la relación de fibra detergente neutra y carbohidratos solubles se genera a través de la siguiente ecuación:

$$FCs = 1,79 + (5,31 * CS) - (2,54 * CS^2) \quad r^2 = 0,78$$

Donde:

FCs: Factor de corrección de la digestibilidad por efecto de los carbohidratos

Solubles.

CS: Índice de FDN / Carbohidratos Solubles en la dieta (ambos en % de la dieta en base seca)

Si la relación es superior a 1,5 y menor a 0,6 el consumo voluntario se deprime y el factor es igual a cero

FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD POR EFECTO DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DE LA DIETA (FTPAR)

La modificación física por medio del picado o molido es un método frecuentemente utilizado para mejorar el valor alimenticio de los residuos fibrosos, aprovechando el efecto de la disminución del tamaño

de la partícula alimenticia que favorece la actividad de los microorganismos ruminales sobre la superficie de ella. La reducción del tamaño de la partícula no presenta un comportamiento lineal favorable sobre la digestibilidad debido a que marcadas reducciones incrementan la velocidad de pasaje de la partícula alimenticia provocando una disminución de la digestibilidad. Sin embargo, esta reducción se compensa con el aumento en el consumo voluntario de materia seca, debido a que, al ser las partículas de menor tamaño, se incrementa la capacidad de llenado del rumen.⁽⁹⁾ Considerando que la digestibilidad en parte es función del tamaño de partícula, en el programa se calculan diferentes factores de corrección de la digestibilidad al variar dicho tamaño, los que se estiman a través de las siguientes relaciones:

Si $TPar > 0,3$ cm y $< 1,0$ cm entonces

$$FTPar = 0,887 * e^{(0,119 * TPar)}$$

Si $TPar > 1,0$ cm y $< 2,0$ cm entonces

$$FTPar = 1$$

Si $TPar > 2,0$ cm y $< 3,0$ cm entonces

$$FTPar = 1,156 * e^{(-0,072 * TPar)}$$

Si $TPar > 4,0$ cm entonces

$$FTPar = 0,93$$

Donde:

FTPar: Factor de corrección de la digestibilidad por el efecto del tamaño de partícula de la dieta.

TPar: Tamaño de partícula de la dieta (cm)

El factor FCONTPar se estimó en función del largo de la partícula alimenticia.

$$FCONTPar = 0,980 + (0,178 * TPar) - (0,051 * TPar^2)$$

Si el largo de la partícula es mayor a 4 cm, el factor es igual 0,95.

El valor estimado de CVo se comparó con la capacidad máxima de consumo de materia seca por efecto del aporte de fibra detergente neutra de la dieta con las siguientes reglas de decisión.⁽¹⁴⁾

$$CFdn = (\text{Peso Vivo} * 0,0101) / (FDn/100)$$

Donde:

CFdn: Consumo Voluntario de Materia seca (kg MS · animal día⁻¹)

FDn: FDn de la dieta (% de la MS)

Si $CVo \leq CFdn$

$$CVor = CFdn$$

Sino

$$CVor = CVo$$

El consumo total de materia seca se estimó a partir del valor estimado de CVor que fue aleatorizado considerando una distribución normal con una variabilidad del 5% del promedio por causa inherente del animal

SUBROUTINA DE REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA METABOLIZABLE

El consumo total de energía metabolizable se estimó considerando la concentración calórica de la dieta y el consumo total de materia seca, con las siguientes relaciones:

$$\text{CCT} = 4,4 * (\text{DIGreal}/100) * 0,81$$

$$\text{CEM} = \text{CVor} * \text{CCT}$$

Donde:

CCT: Concentración calórica ($\text{EM} \cdot \text{kg MS}^{-1}$)

CEM: Consumo total de energía metabolizable ($\text{EM} \cdot \text{día}^{-1}$)

Para el cálculo del balance energético se establecieron prioridades en la utilización de la energía metabolizable consumida. En primera instancia, el modelo consideró los requerimientos necesarios para alcanzar un balance energético igual a cero, determinados por el metabolismo basal, costo por actividad y regulación de temperatura corporal. El rango de 70 - 85 kcal EN/kg^{0,75} ha sido reportado como tasa metabólica.^(6,15) Para la determinación del metabolismo basal se utilizó la siguiente relación:

$$\text{ENm} = 0,077 * (\text{Peso vivo})^{0,75}$$

$$\text{km} = (54,6 + 6,818 * \text{CCT}) / 100$$

$$\text{EMm} = \text{ENm} / \text{km}$$

En donde:

ENm: Metabolismo basal ($\text{Mcal} \cdot \text{kg}^{0,75}$)

km: Eficiencia de la energía metabolizable consumida para mantención (0-1)

EMm: Requerimiento de energía metabolizable de mantención ($\text{Mcal} \cdot \text{EM día}^{-1}$)

El costo de actividad o de cosecha bajo condiciones de estabulación es bajo y se consideró como un 5% del requerimiento total de energía metabolizable de mantención. El algoritmo de cálculo desarrollado consideró que en circunstancias en que el consumo de energía metabolizable no satisfacía las necesidades del metabolismo basal y costo de cosecha, se generaba una pérdida de peso corporal para cubrir las necesidades anteriormente señaladas. El valor energético de la pérdida de peso está en función del peso del animal y se consideró una

eficiencia de utilización de la energía movilizada a partir de los tejidos corporales de 82%.

$$\text{REM} = \text{EMm} * \text{factor de costo de cosecha}$$

$$\text{BE} = \text{CEM} - \text{REM}$$

$$\text{Si } \text{BE} < 0$$

$$\text{PVE} = \text{PVE}(i) - ((-1 * \text{BE}) / (\text{EMgp} * 0,82))$$

$$\text{Si } \text{drte} < 0$$

$$\text{PVE} = \text{PVE}(i) - ((\text{drte} * -1) / (\text{EMgp} * 0,82))$$

Se impuso un límite de la ganancia de peso dado por una función logística, en la cual se considera el peso maduro de los animales. Considerando el sexo y tipo de crecimiento de los animales se consideraron factores de corrección del valor calórico de la unidad de incremento de peso vivo.

SUBROUTINA DE REQUERIMIENTOS DE PROTEÍNA

La cantidad de proteína digestible duodenal se estima en función de la fracción de proteína digestible no degradable en el rumen aportada por la dieta y de la proteína y nitrógeno no proteico digestible provenientes del flujo de microorganismos ruminales. La secuencia de cálculo es la siguiente:

$$\text{CP} = \text{CVor} * (\text{PCD}/100)$$

$$\text{CPdr} = \text{CP} * (\text{DRF}/100)$$

$$\text{CPNdr} = \text{CP} * (\text{DNrf} / 100)$$

$$\text{RN} = 121,7 - (12,01 * \text{CP}) + (0,325 * \text{CP}^2)$$

$$\text{APr} = \text{CP} * (\text{RN}/100)$$

$$\text{PDr} = \text{CPdr} + \text{APr}$$

Donde:

CP: Consumo total de proteína cruda (kg· día⁻¹)

CPdr: Consumo total de proteína degradable en el rumen (kg· día⁻¹)

CPNdr: Consumo total de proteína no degradable en el rumen (kg· día⁻¹)

RN: Reciclaje de Nitrógeno (% de la Proteína cruda consumida)

APr: Aporte de proteína por reciclaje de nitrógeno (kg· día⁻¹)

PDr: Proteína total de proteína no degradable en el rumen (kg día⁻¹)

La síntesis de proteína microbiana fue estimada considerando las funciones propuestas por AFRC (1993)⁽¹⁵⁾ y NRC (2016)⁽⁶⁾ en donde:

$$\text{SPM1} = \text{PDr} * 0,9$$

$$\text{SPM2} = 0,046 * ((\text{CMst} * \text{CCT}) * 0,9)$$

$$\text{Si } \text{SPM1} > \text{SMP2}$$

$$\text{PM} = \text{SMP1} * 0,8$$

Sino

$$PM = SMP2 * 0,8$$

Si $SPM1 > SMP2$

$$PAn = SMP1 * 0,2$$

Sino

$$PAn = SMP2 * 0,2$$

$$PPd = (PM * 0,85) + (CPNdr * 0,8) + PAn$$

Donde:

SMP1: Síntesis de proteína microbiana por proteína disponible en el rumen, kg

SMP2: Síntesis de proteína microbiana por energía disponible en el rumen, kg

PM: Proteína microbiana, kg

PAn: Proteína aportada por ácidos nucleicos, kg

PPd: Proteína digestible duodenal, kg

Los requerimientos de proteína de mantención se estimaron a partir de la modificación de la metodología propuesta por García (1992)⁽¹⁶⁾ en donde los requerimientos se subdividen en:

a) Proteína Metabólica Fecal (NMF): Corresponde al N_2 absorbido previamente y que es vaciado al lumen del aparato digestivo, ya sea en las secreciones o como parte de las descamaciones del epitelio ruminal y de la mucosa intestinal.

$$CMsi = CVor * ((100 - DIGreal) / 100)$$

$$PMf = 0,01 * CMsi$$

donde:

CMsi: Consumo de materia seca indigestible (kg MS· día⁻¹)

PMf: Requerimiento de proteína metabólica fecal (kg PD· día⁻¹)

b) Proteína Endógena Urinaria: Existe un catabolismo mínimo de aminoácidos causado por el mantenimiento de los procesos vitales del organismo, producto del catabolismo de proteínas tisulares. Se ha señalado que la cantidad de nitrógeno excretado está en función del peso metabólico del animal, siendo 300-400 mg de N por cada unidad de peso metabólico.⁽¹⁷⁾ A partir de esta observación se utilizó la siguiente estimación:

$$PUe = (3,25 * \text{peso vivo}^{0,75}) / 1000$$

Donde:

PUe: Requerimiento de proteína endógena urinaria (kg PD· día⁻¹)

c) Síntesis de proteína superficial: Este requerimiento agrupa las necesidades proteicas por pérdida de pelos, pezuñas y descamación epitelial dérmica. El modelo considera la siguiente relación:

$$PS = (0,17 * \text{peso vivo}^{0,75}) / 1000$$

Donde:

PS: Requerimiento de proteína superficial (kg PD· día⁻¹)

El requerimiento total de proteína de mantención (RTM) está representado por:

$$RTM = PMf + PEu + PS$$

$$BP = PPD - RTM$$

Donde

BP = Balance de proteína digestible para incremento de peso vivo (kg PD· día⁻¹)

$$PCi = (168,07 - (0,16869 * \text{peso vivo}) + (0,0001633 * \text{peso vivo}^2)) * 2,52 / 1000$$

$$IPvp = BP / PCi$$

$$PVp = PVp(i) + IPvp$$

Donde:

PCi: Requerimiento de proteína para incremento de peso vivo (kg PD· día⁻¹)

IPVP: Tasa de incremento de peso vivo por proteína digestible (kg PV· día⁻¹)

PVP: Peso vivo por proteína digestible al día (i) simulado

Al igual que para el contenido energético de la ganancia de peso, el contenido de proteína neta del cambio de peso positivo presenta valores de corrección.

Resultados – Validación del modelo

En ésta etapa se verificó la validez funcional del modelo propuesto mediante la comparación estadística de las estimaciones del modelo desarrollado frente a datos observados. La validación fue desarrollada bajo un enfoque utilitarista ⁽¹⁸⁾ contrastando los datos de salida bajo condiciones normales del sistema de producción de novillos en confinamiento. La confianza en la estimación de la ganancia de peso diaria y el peso final se determinó a partir de datos experimentales de torretes de razas de madurez temprana a media (Híbridos *Bos taurus* * *Bos indicus*) pertenecientes a la Ganadera Alborada Estancia Felicidad ubicada en San Pedro, Distrito de Cocuera.

Los datos observados corresponden a los promedios por lotes de 15 grupos de engorda con promedios de engorde de 100 a 120 días bajo estabulación. A partir de la información primaria de la ración

utilizada con los animales Tabla N° 2 se procedió a estimar las características nutricionales de la dieta utilizada con los animales, con el fin de establecer las variables de inicialización del proceso de simulación.

Tabla 2. Ración en base verde utilizada para el Proceso de Engorda de Toretos. Ganadera Alborada

Kg MV de la Ración	300-350	350-400	400-450	>450
<i>Penisetum purpureum cv. Camerum</i> (kg)	20			
Silaje de Camerún o Sorgo (kg)		26	28	28
Sorgo Grano Maíz grano (kg)	0,5	5,8	6,3	7
Girasol o gluten de maíz (kg)	2,5	1,3	1,3	1,3
Calcáreo Calcítico (g)	120	120	120	120
Urea (g)	30	20	20	20
Sal común (g)	30	30	30	30
Minerales (g)	50	50	50	50
EM de la Ración (Mcal)	22	24	26	29

Fuente: Ganadera Alborada 2011

En la Tabla N° 3 se presentan las características nutricionales de la dieta utilizada en el proceso de simulación, se destaca que todos los valores son tabulares debido a la imposibilidad de realizar todos esos análisis de las raciones y que al momento de visitar el establecimiento y procesar los datos ahora simulados no se tenía certeza en cuanto al mismo origen de los insumos utilizados en ese entonces.

Fue testada la fórmula de consumo siendo utilizados datos promedios de la Ganadera por peso y lote evaluado. No se tuvieron en cuenta las pérdidas por desperdicio normal siendo ajustadas a un 10% del total ofrecido

Tabla 3. Composición nutritiva de la ración de toretes. Ganadera Alborada

	% En Base Fresca	EM	% PC	% Tan	% Sil	% FDN	% Lignin	% EE
<i>Pennisetum purpureum</i> cv. Camerum	86	0,25	2,5	0	0,1	10	1,19	1,1
Silaje de Camerún o Sorgo	86	0,33	5	0	0,1	8,5	1,0	1,33
Sorgo Grano Maíz grano	1,8	2,9	6	0	0	6	0,4	1,43
Girasol o gluten de maíz	11	2,75	23	0	0	7	0,25	1,23
Calcáreo Calcítico	0,1	0	0	0	0	0	0	0
Urea	0,1	0	265	0	0	0	0	0
Sal común	0,2	0	0	0	0	0	0	0
Minerales	0,3	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Ganadera Alborada 2011

Los datos de la Tabla N° 3 fueron tomados de la base de datos obrante en la Ganadera, en la cual se asientan los kg promedios ofrecidos por lote evaluado. Se destaca que cada lote que ingresa a los corrales con el peso promedio declarado presenta una variación de 20 kg.

Tabla 4. Consumo de Materia Seca (CMS) calculado en base a lo ofrecido por lote y por periodo

Ofrecido en Kg de MS/Animal/día	DIVMS (%)	Peso Vivo	CMS (% PV)	Época del año
12	54,8	380	2,5	Primavera
15	47,4	420	2,8	Primavera
13	45,6	400	3,0	Invierno
12	49,8	380	2,7	Invierno
18	50,5	370	2,5	Verano
12	48,1	320	2,5	Primavera
18	49,6	430	2,5	Otoño
12	48,2	420	2,1	Verano

Fuente: Ganadera Alborada 2011

Los datos de la Tabla N° 4 fueron tomados de la base de datos obrante en la Ganadera, en la cual se asientan los kgs promedios ofrecidos por lote evaluado. Se destaca que cada lote que ingresa a los corrales con el peso promedio declarado presenta una variación de 20 kg.

En la Tabla N° 5 con los datos utilizados para validar las fórmulas utilizadas para determinar la GdP en función al tipo de alimento y a los días simulados. Se destaca que los alimentos fueron ingresados con la totalidad de los datos establecidos en las Tabla 2 y 3 siendo modificado al momento del ingreso el valor de la digestibilidad de la MS % (DIVMS%), pues la ganadera realiza frecuentes controles para determinar la calidad de la mezcla ofrecida.

Tabla 5. Ganancia diaria de peso en función al alimento ofrecido, al período del año y los días simulados

DIVMS (%)	Período do Año/Suplementación	Peso vivo Inicial (kg)	GdP G día ⁻¹	N° animales	Días simulados
52,5	Invierno	197	900	200	120
49,0	Invierno	305	1100	300	120
49,0	Invierno	317	1100	400	120
52,5	Invierno	197	1200	200	90
49,0	Invierno	305	900	200	90
49,0	Invierno	353	950	300	90

Fuente: Ganadera Alborada 2011

VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

La etapa de validación considero pruebas estadísticas con los resultados observados en la Ganadera Alborada, presentados en las Tabla 4 y 5. En este punto se consideraron dos sub rutinas consideradas de mayor importancia, la subrutina de consumo y la de Ganancia diaria de peso vivo.

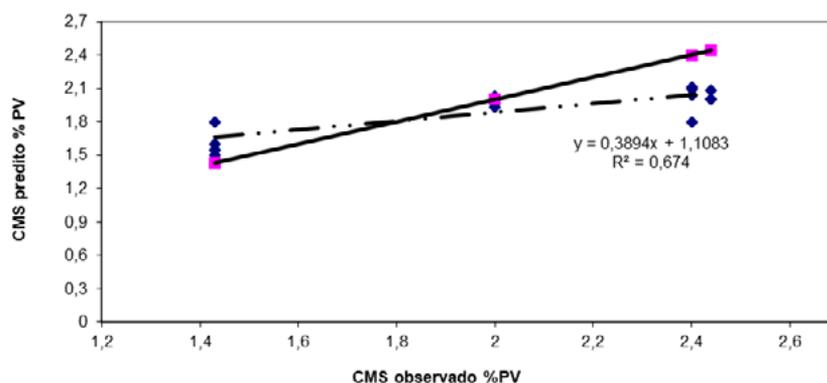


Figura 1. Análisis de regresión de los datos observados y simulados para consumo de MS

En función a los datos presentados, el modelo fue utilizado/ejecutado para cotejar el grado de ajuste del modelo, con lo cual se obtuvieron la siguiente ecuación y un r^2 de 0,67 para la ecuación del algoritmo de consumo estimado (Figura 1) y un r^2 de 0,68 para la ecuación del algoritmo de ganancia diaria de peso (GdP) (Figura 2). Se demostró para ambas ecuaciones que integran el modelo, un grado de ajuste considerado adecuado. En general, los resultados indican que el modelo es un buen estimador para los efectos de estudio de consumo y GdP. Dado que el error porcentual,⁽¹⁹⁾ es inferior al 5%, el modelo recibirá insumos de otros confinamientos de modo a validar el mismo entre situaciones en donde puede que existan otras deficiencias o variaciones en cuanto a temperatura ambiental.

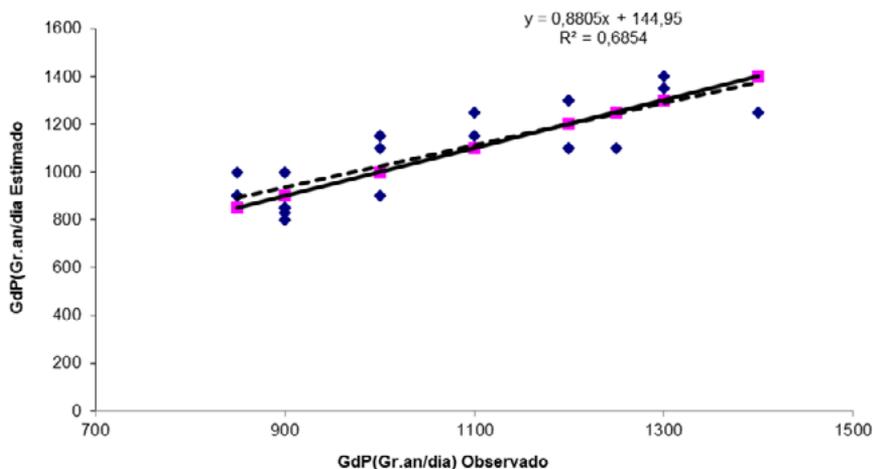


Figura 2. Análisis de regresión de los datos observados y simulados para GdP

Conclusiones

El desarrollo del modelo ha permitido lograr una mayor comprensión del sistema de engorde a corral y ha conseguido simular satisfactoriamente el consumo de materia seca, así como las ganancias de peso vivo en condiciones de confinamiento. La precisión y exactitud se ha visto perjudicada en algunos casos y no han sido los esperados manifestándose subestimaciones de consumo en niveles elevados de ingesta lo cual perjudica las ganancias de peso vivo. Esto demuestra la gran dependencia del modelo para predecir ganancias de peso basados en la calidad y especialmente en la digestibilidad del forraje utilizado. La capacidad predictiva del modelo como herramienta de gestión en el proceso de la toma de decisiones dependerá en gran medida de la posibilidad de conseguir datos confiables del plan alimenticio utilizado en la producción, información dependiente del productor.

Bibliografía

1. SENACSA 2017 Estadísticas pecuaria. Consultado en línea en http://www.senacsa.gov.py/v8/pdf/estadistica_pecuaria/2017/anuario-2017-1.pdf
2. Ocampos Olmedo DA, Lopes J, barcellos OJ, de Oliveira TE. Desenvolvimento de um modelo preditor do desempenho de novillos de corte suplementados em pastagens tropicais. Revista Brasileira de Zootecnia.2010; 39(2): 402-410.
3. Allende R, Aguilar C, García F. Modelo de simulación para estimar la ganancia de peso en novillos en praderas naturales de la IX región de Chile. Proceedings de la XVI Reunión Latinoamericana de Producción Animal. III Congreso Uruguayo de Producción Animal.2000.
4. Vera R, Morales JS. Decision support systems for pasture utilization: Developments, opportunities and constrains. In Simposio Internacional en producción Animal y Medio Ambiente. Proceedings XXVI Reunión anual de la Sociedad Chilena de Producción Animal.2001.
5. CSIRO. Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants. CSIRO Publishing, Collingwood.2007. pp 209-213.
6. NRC. Nutrients requirements of beef cattle. Eight revised edition. National Academy Press. Washington, D.C 2006.
7. Giger-Reverdin S, Aufrere J, Sauvant D, Demarquilly C, Vermorel M. Prediction of energy values of compound feeds for ruminants. Anim. Feed Sci. Technol. 1994;48: 73-98.
8. Vierira RAM, Tedeschi LO, Cannas A. A generalized model for describing fiber dynamics in the ruminant gastrointestinal tract. The heterogeneity of the pool of fiber particles in the ruminoreticulum. 2007 Beef Cattle Report in Texas. Texas A&M University, College Station, TX.2007. pp. 97-102 .
9. Van Soest PJ. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd Edition, Cornell University Press, Ithaca.1994. pp. 476.
10. ARC. The nutrient requirements of ruminant livestock. London, Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, Slough, Gresham Press.1984.
11. Australian meat research comite review. The requirements Nitrogen for ruminal microbial. 1996. [Internet] consultado: Mayo 2019. Disponible en: <http://www.austehc.unimelb.edu.au/asaw/biogs/A000409b.htm>
12. Nocek JE, Tamminga S. Sites of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effects on milk yield and composition. J. Dairy Sci.1991; 74: 3-598-3629.
13. Stokes SR, Hoover WH, Miller TK, Manski. Impact of Carbohydrate and protein levels on bacterial metabolism in continuous culture. J. Dairy Sci. 1991; 74: 860-870.
14. Mertens DR. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. J. Anim. Sci.1987; 64:1548-1558.
15. AFRC. Nutrients energy and protein requirements for ruminants. CAB International, United Kingdom. 1993.
16. Garcia F. Requerimientos de proteína en ganado lechero. En: Simulación de Sistemas Pecuarios. Ruiz, M.E. Editor RISPAL.1992. pp 189 - 283.

-
17. Orskov E. Nutrición proteica de los rumiantes. Editorial Acribia. Zaragoza. España. 1988. Pp. 177.
 18. Aguilar C, Cortés H, Allende R. Los modelos de simulación. Una herramienta de apoyo a la gestión pecuaria. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal.2002; 10 (3) 226-231.
 19. SAS. Statistical Analysis Systems User's Guide. Version 2002. SAS Institute, Cary, NC.