



MODELO DE CRECIMIENTO EN TERNEROS LECHEROS MESTIZOS EN PASTOREO CON SUPLEMENTACIÓN PROTEICA-ENERGÉTICA-MINERAL

GROWTH MODEL IN CROSSBRED DAIRY CALVES ON GRAZING WITH PROTEIN-ENERGY-MINERAL SUPPLEMENTATION

✉ MARÍA I. VIAMONTE GARCÉS^{1*}, ✉ D. ACOSTA IGLESIAS¹, ✉ F.A. CALVA MORENO², ✉ D.J. NAULA CAMPOVERDE¹

¹Universidad Estatal Amazónica (UEA), Facultad de Ciencias de la Tierra, Carrera Agropecuaria, km 2 ½, vía Puyo a Tena (Paso Lateral), Ecuador

²Empresa Utopía-Farms, Grupo Esmeralda, Ecuador

*Email: mviamonte@uea.edu.ec, miviamontegarces@gmail.com

La investigación se desarrolló de marzo a mayo del año 2020 para desarrollar funciones destinadas a la estimación del crecimiento e incremento de peso vivo y ganancia media diaria en bovinos lecheros en etapa de preceba, en pastoreo rotacional, con asociación de pastos y suplementación proteica-energética-mineral. Se tomó la información de la composición botánica en porcentaje, materia fresca y seca en una hectárea dividida en cuatro cuartos iguales, la composición química de la asociación de pastos y la capacidad de carga bovina del sistema, los pesos vivos y las ganancias de peso en los animales. A partir de esta información se desarrollaron funciones para la estimación del crecimiento e incremento de peso vivo y ganancia media diaria en terneros lecheros mestizos hasta su futuro desempeño productivo. El área de pastoreo estuvo constituida por la biomasa vegetal de 51.51 % de pasto ratana (*Ischaemum indicum*) y 20.74 % de maní forrajero (*Arachis pintoi*). La calidad de la asociación de pastos con los mayores aportes de proteína bruta fue en maní forrajero y ratana (20.75 y 23.44 %, respectivamente). Los aportes promedio de energía bruta fueron de 1023.9 kJ/kgMS, con los mejores valores para el maní forrajero (1107.24 kJ/kgMS). El rendimiento total del pasto fue de 3488.50 kg/ha. La predicción del comportamiento productivo futuro en la ceba estuvo influenciada por los incrementos de peso en los tres primeros meses de edad de los terneros, independientemente del peso al nacer. Estos comportamientos del cambio en la curva de crecimiento obedecen a la dieta con suplementación energética-proteica-mineral.

Palabras clave: capacidad de carga, curvas de crecimiento, ganancia de peso, pastoreo, simulación

The research was conducted from March to May 2020 to develop functions to estimate growth and increase in live weight and average daily gain in dairy cattle in pre-fattening stage, in rotational grazing, with grasses association and protein-energy-mineral supplementation. Information was taken from the botanical composition in percentage, fresh and dry matter in a hectare divided into four equal plots, the chemical composition of the grasses association and the cattle stocking rates capacity of the system, live weights and weight gains in the animals. From this information, functions were developed to estimate growth and increase in live weight and average daily gain in crossbred dairy calves until their future productive performance. The grazing area consisted of 51.51 % plant biomass of ratana grass (*Ischaemum indicum*) and 20.74 % forage peanut (*Arachis pintoi*). The quality of the grasses association with the highest contributions of crude protein was in forage peanut and ratana (20.75 and 23.44 %, respectively). The average gross energy contributions were 1023.9 kJ/kgDM, with the best values for forage peanut (1107.24 kJ/kgDM). The total grass yield was 3488.50 kg/ha. The prediction of future productive performance in fattening was influenced by weight increases in the first three months of age of the calves, regardless of birth weight. These changes in the growth curve are due to the diet with energy-protein-mineral supplementation.

Key words: grazing, growth curves, simulation, stocking rates capacity, weight gain

Recibido: 23 de marzo de 2024

Aceptado: 01 de septiembre de 2024

Conflicto de intereses: No existe conflicto de intereses entre los autores

Declaración de contribución de autoría CRediT: María I. Viamonte Garcés: **Conceptualización, Análisis formal, Investigación, Metodología, Supervisión, Redacción - borrador original.** D. Acosta Iglesias: **Curación de datos, Análisis formal, Metodología, Software, Redacción - borrador original.** F.A. Calva Moreno: **Adquisición de fondos, Investigación, Administración de proyectos, Recursos, Validación.** D. J. Naula Campoverde: **Adquisición de fondos, Investigación, Administración de proyectos, Recursos, Validación**



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Introducción

La producción de carne vacuna es una fuente importante de proteína en la dieta y representa 21.59 % del total de carne producida en el mundo (FAO 2023). En Ecuador, según datos de la INEC (2023), entre 2017 y 2023, la población ganadera vacuna decreció gradualmente cada año. Se registró disminución de 5.08 % en relación con el 2022. Sin embargo, la ganadería es la que más aporta al sector agropecuario, con 3.9 millones de animales. No obstante, 37.7 % y 23.8 % del total nacional son respectivamente razas mestiza y criolla, en las que 60 % corresponde a bovinos de doble propósito.

La región amazónica ecuatoriana en los últimos años ha tenido aumento en la ampliación de la frontera agrícola, con el propósito de cultivar pastos que permitan sostener el considerable aumento de la producción ganadera, aproximadamente 50.67 % del total de la superficie deforestada a nivel nacional, que corresponde a 5.58 millones de hectáreas (Corral et al. 2021).

Los sistemas de producción bovina en condiciones amazónicas se enfrentan al desafío de utilizar eficientemente los escasos recursos mediante la mejora continua de sus procesos productivos y, a su vez, ofrecer la carne de calidad que demanda el mercado, sin perjudicar la rentabilidad. Es por ello que Zhang et al. (2019) resaltan la importancia de determinar la capacidad de carga animal del área de pastos, ya que en esta zona el método de pastoreo que se utiliza es a sogueo, con cargas de 0.75 a 1.0/ha en pastos de bajo contenido nutricional, fundamentalmente gramalote (*Axonopus scoparius*). A ello se une que en las razas de leche, los machos constituyen un problema en las fincas (Benítez et al. 2018). Sin embargo, si se utilizan alternativas de alimentación y manejo adecuado de los animales en el pastoreo, podrían ser un ingreso para los productores, aprovechando los verdaderos rendimientos que puede ofrecer la tierra.

El conocimiento de las curvas de crecimiento es de gran importancia, no solo para trabajos científicos, sino para los ganaderos que se dedican a la ceba, ya que se pueden apreciar los periodos de mayor y menor incremento de peso en el transcurso de la vida de un animal, y saber cuándo se le debe prestar atención para que sea rentable durante el proceso de la ceba.

Con el antecedente de que los pastos en la Amazonía son el alimento básico en la dieta de los bovinos, y no satisfacen todas sus necesidades dietéticas por las limitadas concentraciones de energía, proteínas y minerales, el objetivo de este estudio fue desarrollar funciones para la estimación del crecimiento e incremento del peso vivo y la ganancia media diaria en terneros lecheros en etapa de preceba, alimentados con suplementación proteica-energética-mineral y con asociación de pastos en las condiciones de la amazonia ecuatoriana.

Materiales y Métodos

El trabajo se realizó durante doce semanas, entre marzo y mayo de 2020, en el programa de producción ganado bovino del Centro de Experimentación e Investigación de Producciones Amazónicas de la Universidad Estatal Amazónica, situado entre los cantones, Santa Clara, provincia de Pastaza y Carlos Julio Arosemena Tola, provincia de Napo. El Centro de Experimentación está ubicado en el kilómetro 44, vía Puyo-Tena, junto a la desembocadura de los ríos Piatúa y Anzu. Su ubicación geográfica es de 01° 14' 4.105" de latitud sur y 77° 53' 4.27" de longitud oeste, a una altura de 584 m s.n.m. y medias de temperatura entre 23-24 °C.

Mediciones en los pastos: Se recogieron de 10 a 15 submuestras en cada cuartón (cuatro cuarterones) de 1 ha. Las muestras recolectadas se tomaron a una altura de 5 a 10 cm sobre la superficie del suelo. Se mezclaron las submuestras en una sola y se tomó 1 kg del material fresco. Se aplicó el método y técnica de muestreo descrita por Redjadj et al. (2012), método mixto que utiliza técnicas de muestreo como de apreciación visual en la evaluación de la composición botánica, con la separación manual (registro de peso y volumen) y apreciación visual por parte de un especialista en pastos amazónicos.

Para determinar el rendimiento y disponibilidad del pasto, se utilizó el método de estimación visual descrito por Senra y Venereo (1986). Se realizó el primer muestreo antes de ingresar y luego de salir los animales del pastoreo.

La disponibilidad de pasto se calculó a partir de la biomasa disponible (BD) y la biomasa de rechazo (BR):

$$DP(\%) = [(BD - BR)/BD] \times 100$$

Composición química del pasto: Se usaron las muestras de disponibilidad de pasto, para lo que se preparó un pool con los cinco puntos de referencia en cada cuartón y se tomó una muestra de materia fresca (MF) del pasto, para determinar los porcentajes de materia seca (MS), proteína, grasa, ceniza y fracción de fibra por la metodología de la AOAC (2023). La energía se determinó por una ecuación para estimar su requerimiento, según (Rostagno et al. 2017). Los análisis químicos se realizaron en laboratorio de bromatología de la Universidad Estatal Amazónica.

Manejo y alimentación de los animales: En estas condiciones, se consideraron 10 terneros machos de tres razas lecheras Pardo Suizo (3), Girolando (4) y Sahiwal (3) con edad promedio de 45 d e intervalos de peso inicial entre 29 a 35 kg, que se sometieron a un manejo combinado con 7 horas de pastoreo con asociación de especies forrajeras proteicas. Para la rotación de los cuarterones se tuvo en cuenta la capacidad de carga para cumplir con las exigencias alimentarias y luego en la nave se le suministró suplementos nutricionales (proteica-energética-mineral) con siete días

de adaptación previo a la toma de datos, descritos en la [tabla 1](#). La suplementación se formuló de acuerdo con los requerimientos nutricionales para los bovinos en crecimiento ([Posada et al. 2016](#)). Los animales tuvieron agua *ad libitum* en el pastoreo como en el establo.

Tabla 1. Formulación y aporte de nutrientes del suplemento proteico-energético-mineral (% BS).

| Ingredientes, (materias primas) | Base seca, % |
|---------------------------------|--------------|
| Maíz amarillo | 48.47 |
| Harina de Soya | 6.99 |
| Concentrado proteico | 24.97 |
| Afrecho de trigo | 12.99 |
| Aceite de palma | 4.99 |
| Sal yodada | 0.48 |
| Sal mineral | 1.10 |
| Aporte de nutrientes | |
| PB, % | 19.83 |
| Lignina, % | 3.45 |
| EB, kJ/kg MS | 1073.44 |
| FDN, % | 55.38 |
| FDA, % | 6.32 |
| E.L.N, % | 61.54 |
| Grasa, % | 6.63 |
| Ceniza, % | 8.15 |

Modelo matemático de seguimiento en el engorde: Existen varios métodos para describir las curvas de crecimiento de los animales bovinos según la edad y peso ([tabla 2](#)). Entre ellos la ecuación de [Brody \(1945\)](#), según este autor el peso de un animal a una edad determinada está definido como el peso vivo alcanzado por un animal cuando ha completado su desarrollo óseo y la condición corporal es media. [Bourdon y Brinks \(1987\)](#) modificaron el modelo al asumir un crecimiento lineal hasta el año de edad (pubertad), tras lo cual se ajusta la curva post-inflexión de [Brody \(1945\)](#) desde pubertad a la madurez. En cuanto a otros trabajos, el uso de modelos no lineales para el ajuste de la curva de crecimiento ha demostrado ser de gran utilidad, como es el caso de los modelos de [Gompertz \(1825\)](#), [Von Bertalanffy \(1957\)](#) y [Nobre et al. \(1987\)](#), entre otros.

En los modelos referidos, el parámetro *A* representa el peso adulto del animal cuando el tiempo tiende al infinito. El parámetro *B* es el factor de integración que ajusta los valores de peso inicial y generalmente está asociado con el peso al nacimiento (grado de madurez del animal al nacimiento). Sin embargo, el parámetro *k*, tasa de madurez, es una función entre la máxima tasa de crecimiento y el peso adulto del animal (velocidad de crecimiento). El componente "*t*" de la función representa la edad del ternero en días.

La tasa de crecimiento se puede describir de diferentes maneras. En la tasa de crecimiento promedio durante un período influye el sistema de alimentación que se utilice en la crianza de los animales, que muchas veces se puede corregir como un acelerado crecimiento compensatorio ([Solórzano 2022](#)).

Tabla 2. Forma general de los modelos no lineales

| MODELOS NO LINEALES | |
|--|----------------------------|
| Gompertz (1825) | $y = Ae^{-B^{-kt}}$ |
| Brody (1945) | $y = A(1 - Be^{-kt})$ |
| Von Bertalanffy (1957) | $y = A(1 - Be^{-kt})^3$ |
| Logístico (Rosa et al. 1978) | $y = A(1 + Be^{-kt})^{-M}$ |

Fuente: [Olson \(2010\)](#)

En este trabajo para realizar el análisis perspectivo del crecimiento e incremento de peso vivo y ganancia media diaria esperada en bovinos lecheros en la etapa de ternero, se utilizaron los datos de los pesos al nacimiento, uno y tres meses de los bovinos lecheros mestizos, obtenidos de los experimentos físicos de pastoreo, realizados de marzo a mayo del 2020. Para ello se utilizó un modelo logístico de crecimiento poblacional, que simula procesos a nivel individual (pesos vivos, cambio de peso vivo y ganancias de pesos por etapas), procesado por el asistente matemático Matlab versión 9.9 (R2020b). Estos procesos se integran a nivel de rebaño, y generan una evolución del peso vivo según las categorías de forma mensual. Se pudo inferir así el peso que pueden alcanzar los animales cebados en la categoría de añejos y el resto del desempeño productivo durante la etapa de ceba.

El modelo logístico aplicado al comportamiento de la ceba de los terneros, se puede plantear como sigue:

$$\frac{dP(t)}{dt} = kP(t)\left(1 - \frac{P(t)}{P_m}\right) \quad (1)$$

La solución general de (1) resulta, donde *P(t)* es el peso del individuo en el tiempo, *P_m* es el peso máximo estimado al final del tiempo de ceba y *k* es una constante, que incluye en parte la tasa intrínseca de crecimiento.

La relación entre el peso al nacer y la ganancia de peso en la etapa inicial considerada, se aprecia en las expresiones para los parámetros "*k*" y "*C*", aunque esta última no está directamente relacionada con el tiempo en la función de peso y no se analiza. La tasa de ganancia de peso sí, como muestra la [fórmula \(2\)](#), la que está dada por:

$$P(t) = \frac{P_m C e^{kt}}{1 + C e^{kt}} \quad (2)$$

El modelo se utiliza como predictor del peso que debe alcanzar cada ejemplar en los períodos de tiempo. Se simuló un comportamiento ideal, al utilizar los pesos promedios al nacer y al final del período inicial, y a partir de este se puede conformar una franja de comportamientos aceptables para la categoría animal, al modificar los pesos promedios hacia abajo y arriba en una fracción de interés de las desviaciones estándar de la muestra, que facilitan la obtención de un intervalo de los pesos para cada período.

Además del modelo, se utilizó una hoja de cálculo Excel para analizar el comportamiento individual, según como ha ocurrido el proceso al inicio y obtener información que permita hacer correcciones y tomar decisiones acertadas durante la ceba, donde solo se requiere incluir el peso al nacer y un período inicial de tiempo y peso, para obtener el estimado de peso en períodos diario y mensuales.

Resultados y Discusión

En la [tabla 3](#) se muestra la composición botánica del área de pastoreo donde permanecían los bovinos en crecimiento en la vaquería del CEIPA. El mayor porcentaje de la biomasa vegetal estuvo constituida por 51.51 % de pasto ratana (*Ischaemum indicum*), 20.74 % por el maní forrajero (*Arachis pintoi*) y, en menor porcentaje, los pastos Pitillo (*Ixophorus unisetus*), y Comino (*Homolepsis aturensis*), de 15.51 y 12.24 %, respectivamente.

La mayor disponibilidad de materia verde fue de 1868.20 y 752.40 kg/ha corresponde a las especies de ratana (*Ischaemum indicum*) y maní forrajero (*Arachis pintoi*) respectivamente, debido a que fueron especies establecidas. Esta última ayuda a la protección del suelo por su hábito de crecimiento y estolones enraizados. Cuando se maneja correctamente en la amazonia, tiene alta persistencia, además de las bondades por la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico y ponerlo a disposición de la asociación con las gramíneas, resulta una excelente alternativa por las condiciones climáticas y suelos favorables para su establecimiento ([Song et al. 2023](#)).

En la [figura 1](#) se muestra el rendimiento de la producción de pasto en cada uno de los cuarteones donde pastoreaban los animales. Es bien conocido que, pese a la enorme dotación de recursos forrajeros, la ganadería de los trópicos latinoamericanos enfrenta una fuerte batalla con la estabilidad en la producción de biomasa vegetal y calidad de los pastos.

Asimismo, en el período de ejecución del experimento, las gramíneas tropicales poseen baja calidad energético-proteica y su estructura ofrece pobre densidad de hojas verdes, lo que afecta la eficiencia del consumo por parte del animal y ocasiona déficit de proteína y energía digestible. Este fenómeno ha obligado a optar por complementar la materia seca, la energía y la proteína deficitaria de sus sistemas de producción mediante suplementos energéticos-proteicos y minerales. [Honig et al. \(2022\)](#) en un estudio

Tabla 3. Descripción de la composición botánica de las áreas de pastoreo de los bovinos en crecimiento-desarrollo de la vaquería del CEIPA

| ESPECIES | Composición botánica, % y disponibilidad | | | | | |
|--------------------------------------|--|--------|--------|--------|------------|------------|
| | Cuarteones | | | | | |
| | I | | II | | III | |
| | MF (g) | MS (g) | MF (%) | MS (%) | MF (kg/ha) | MS (kg/ha) |
| Maní forrajero (<i>A. pintoi</i>) | 75.24 | 25.1 | 20.74 | 21.16 | 752.40 | 251.00 |
| Ratana (<i>I. indicum</i>) | 186.82 | 54.16 | 51.51 | 45.67 | 1868.20 | 541.60 |
| Pasto comino (<i>H. aturensis</i>) | 44.40 | 20.95 | 12.24 | 17.67 | 444.00 | 209.50 |
| Pasto pitillo (<i>I. unisetus</i>) | 56.25 | 18.38 | 15.51 | 15.50 | 562.50 | 183.75 |
| TOTAL | 362.71 | 118.59 | 100 | 100 | 3627.10 | 1185.85 |

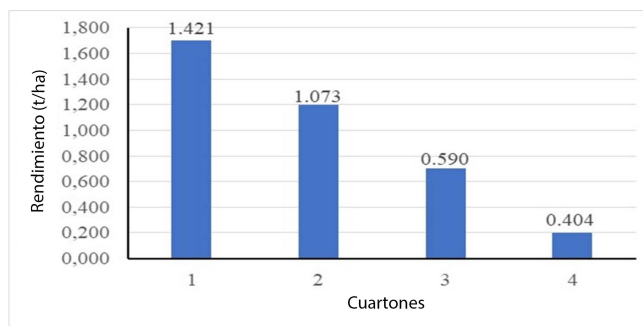


Figura 1. Rendimiento del pasto por cada cuartón destinado a la crianza de los machos procedentes de razas lecheras

sobre la composición química del cuerpo del ganado de doble propósito Fleckvieh (Simmental alemán) en crecimiento recomiendan acerca de las necesidades de energía y nutrientes. Estos autores mostraron que la composición corporal cambió durante el crecimiento, pero no se afectó por la concentración de energía en la dieta, atribuyendo los cambios de la composición corporal a la proporción cada vez mayor de tejido graso y extracto etéreo.

Picard y Gagaoua (2020) refieren que durante el crecimiento posnatal, las fibras musculares aumentan de tamaño y diámetro (hipertrofia) y se producen cambios en los tipos de fibras, por lo tanto, puede ser necesario un contenido constante de proteínas para permitir la función muscular y la reorganización frecuente de las fibras musculares durante el crecimiento del toro.

Es importante resaltar que una adecuada nutrición no solo satisface necesidades esenciales, sino que los compuestos que garantizan las necesidades básicas de los bovinos garantizan un perfecto desarrollo corporal y estructural. Los terneros de las razas implicadas en el experimento poseen estructura óseo-muscular adecuada para el manejo, con el propósito de producir carne. Razanova et al. (2023) resaltan la importancia en el ganado joven de engorde de combinar el pastoreo con alimentos que contengan proteínas, energía y minerales como cierre del sistema productivo.

Adicionalmente a las exigencias del proceso de producción pecuario, se elaboró un modelo de crecimiento sigmoideo, que al utilizar datos de pesos al nacer y a un mes de nacido, permite realizar un pronóstico de cómo se debe comportar la ganancia de peso durante todo proceso de ceba, para cada animal individualmente como para un comportamiento medio esperado. Se estiman rangos en los que se puede encontrar el peso esperado, determinado por el valor del incremento de peso en la etapa inicial considerada.

Para el estudio predictivo de la relación entre el tiempo y peso de un bovino para la toma de decisiones en cuanto al manejo del comportamiento animal, se puede utilizar la expresión (2) en la que se pueden identificar los parámetros implicados “C” y “K” a partir de los valores de peso inicial, al mes y peso vivo (UGM) para cada animal. A partir de estas funciones, se diseñó como aporte al proceso de manejo y de fácil uso, una hoja de cálculo en Excel para predecir el desempeño productivo para la ceba desde la categoría de ternero, tomando un peso inicial y el del mes siguiente como referencia (tabla 4). Las columnas 4 y 5 representan el peso esperado para cada mes y la ganancia de peso diaria promedio.

Las constantes *k* y *C* son determinadas a partir de la información inicial (peso inicial y al mes de nacido los animales) y permitirán encontrar la función de pesos que rige el comportamiento de esta variable en el tiempo y estimar de conjunto con los datos iniciales, la productividad media y extrema del rebaño, que permitirá estimar un rango de variación del peso, en el que se considera que es adecuado, y se ajusta en alguna medida al valor esperado o medio.

La figura 2 describe el comportamiento de los pesos e incrementos de pesos vivos medios y por cada animal. En la primera sección de la figura, se pueden apreciar los gráficos del comportamiento medio de peso e incrementos (–) para el caso en que se consideran los pesos medios al nacer y al mes de nacidos, incrementados en una desviación estándar para los dos conjuntos de mediciones respectivamente (+). Ante un caso similar, se disminuye en una desviación estándar a los pesos medios experimentales (o).

Las gráficas inferior y superior representan un rango alrededor del comportamiento medio del aumento de pesos, en el que se espera estén la mayoría de los animales

Tabla 4. Hoja de cálculo para predecir el desempeño productivo de ganancias de pesos en las diferentes etapas de desarrollo de un ternero mestizo lechero

| Cálculo del peso por etapas | | | | |
|--|------------|---------------|--------------|-------------------|
| Datos iniciales | | Tiempo en mes | Peso por mes | Peso promedio día |
| Peso inicial, kg | 32 | 0 | 32.000 | - |
| Peso posterior, kg | 45 | 1 | 45.000 | 0.433 |
| Peso UGM (Pm) | 500.000 | 2 | 62.575 | 0.586 |
| Tiempo inicial | 0 | 3 | 85.721 | 0.772 |
| Tiempo posterior | 1 | 4 | 115.174 | 0.982 |
| Constante inicial (C) | 0.06837607 | 5 | 151.058 | 1.196 |
| Constante de crecimiento (k) | 0.36909746 | 6 | 192.527 | 1.382 |
| Función de pesos | | 7 | 237.629 | 1.503 |
| $(Pm * C * \exp(k * t)) / (1 + C * \exp(k * t))$ | | 8 | 283.552 | 1.531 |
| | | 9 | 327.280 | 1.458 |

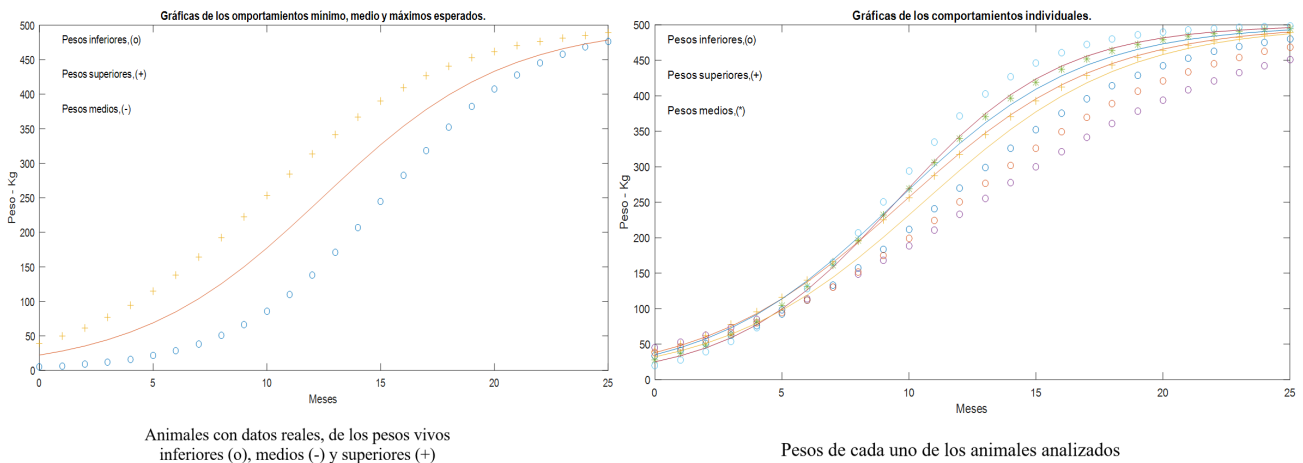


Figura 2. Comportamiento de los pesos vivos medio y por cada animal en estudio

respecto al desarrollo del peso. Las funciones que describen la relación tiempo-peso para estos casos permiten calcular el intervalo en el que se deben encontrar los pesos de los bovinos en cada período de tiempo (tabla 5). Estos valores se obtienen con los pesos promedio disminuidos o aumentados en 30 % de las desviaciones estándar respectivas.

En la segunda sección, se han considerado los datos individuales de los 10 animales en estudio, distinguiendo el comportamiento esperado para el bovino con mayor ganancia de peso en el primer mes (+), con menor ganancia de peso (o), con ganancias de pesos en un rango del 20 % de la desviación estándar del conjunto de medidas de las ganancias de peso del primer mes, alrededor del comportamiento medio (*), y por debajo y por encima de este rango centrado en el comportamiento medio (-). El modelo y las manipulaciones cuantitativas que facilita permiten establecer expectativas para el control del manejo, en términos de simular el desarrollo que pudiera tener un animal a partir de medir el peso en dos momentos iniciales del crecimiento. La figura 2 muestra una opción de control, pues pudiera indicar el comportamiento en el engorde que, por los pesos y ganancias de pesos iniciales, no alcanzarían el peso esperado en una gestión de 25 meses y cuáles lo lograrían en menos tiempo.

En la expresión (3) se puede realizar el siguiente análisis: si se valora la influencia de las variables P_0 y P_1 en la constante "k", sucede que si la primera disminuye (peso al nacer) y la segunda (peso al final del período inicial) aumenta, "k" aumenta.

$$k = \frac{\ln\left(\left(\frac{P_m - P_0}{P_m - P_1} \frac{P_1}{P_0}\right)^{\frac{t_1}{t_1 - t_0}}\right)}{t_1} \quad (3)$$

Esta característica se puede interpretar como que la capacidad de ganar peso es mayor en un animal que a partir de un menor peso al nacer. Aumenta lo mismo que otro de mayor peso en el nacimiento. Esto se relaciona con lo referido por Kertz (2022), quien refiere que después de los dos meses de edad, el crecimiento debería ser bastante lineal con ganancias diarias de 1.8 a 2.0 libras. Sin embargo, la altura no es lineal y tiene tres segmentos: 50 % ocurre en los primeros seis meses, 25 % en los siguientes seis meses y luego, solo 25 % en todo el segundo año, lo que se debe al crecimiento óseo que se puede medir indirectamente mediante la deposición de minerales en el cuerpo.

En términos de la interpretación anterior, la tabla 6 deja ver que el objeto muestral designado con el número 4 de la raza Girolando, a pesar de experimentar el mayor peso al nacer y la mejor ganancia de peso en el primer mes, transita por un desarrollo del peso más lento, dado que la tasa de ganancia de peso es del orden de 0.1814, indicativa de un menor aprovechamiento del peso al nacer para generar nueva biomasa muscular, si se compara con el elemento muestral designa. No obstante, la tasa de ganancia de peso es del orden de 0.3533, que refleja mejores condiciones para generar biomasa, en condiciones de un peso al nacer inferior en algo más del 50 %, pero mejor desempeño en la adquisición de peso, superando al resto de los animales

Tabla 5. Intervalos de predicción del peso de los bovinos en las condiciones del peso inicial y el peso al nacer en el transcurso de cinco meses

| Meses | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | | | | | |
|-----------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Intervalo | 54.851 | 82.907 | 150.326 | 202.288 | 299.993 | 349.519 | 419.783 | 444.070 | 474.036 | 482.232 |

Tabla 6. Comparación de las ganancias de peso relacionadas con el peso inicial y la ganancia de peso en el primer mes

| Número de animales | Al nacer | Caso real | | | | Ganancia Inicial | Tasa | Raza |
|--------------------|----------|-----------|--------|--------|--------|------------------|--|-------------|
| | | 1 | 5 | 10 | 15 | | | |
| 4 | 45.00 | 53.00 | 98.37 | 188.78 | 300.17 | 8.00 | Menor tasa relativa de ganancia de peso 0.18 | Girolando |
| 1 | 33.00 | 41.00 | 92.86 | 211.99 | 351.89 | 8.00 | En el mes siete, se va delante 0.23 | Girolando |
| 8 | 35.00 | 45.00 | 113.84 | 267.95 | 409.47 | 10.00 | Menor tasa relativa de ganancia de peso 0.27 | Brown Swiss |
| 5 | 28.00 | 37.00 | 104.17 | 269.32 | 419.09 | 9.00 | En el mes diez, se va delante 0.30 | Sahiwal |
| 6 | 20.00 | 28.00 | 97.99 | 293.88 | 446.47 | 8.00 | Menor peso al nacer 0.35 | Sahiwal |

en los meses posteriores. Las unidades experimentales marcadas con los números 1, 8 y 5 sostienen un proceso de incremento de peso intermedio con respecto a los dos casos detallados, en correspondencia con las tasas de ganancia de peso respectivas.

Estas observaciones se pueden relacionar con lo indicado por Quinteros *et al.* (2023), quienes refieren que existen poblaciones de animales con fenotipos extremos que pueden ser la base de un proceso de selección. Las grandes diferencias también se pueden atribuir a mayor habilidad materna en aquellas vacas lactantes, lo que le proporciona mayor cantidad de leche a sus crías, además de otros factores ambientales y de manejo que pueden modificar la respuesta individual de los animales.

Wegner *et al.* (2020) confirman que el número de fibras musculares está determinado en el desarrollo embrionario. En el transcurso del estudio, los toros de doble musculatura Azul Belga tenían casi el doble de fibras que las otras razas, lo que enfatiza una hiperplasia más extensa de las fibras musculares durante el desarrollo embrionario en comparación con las otras tres razas.

La asociación del modelo de seguimiento del engorde facilita hacer conjeturas acerca de cuál puede ser el comportamiento de esta característica, detallar el proceso de forma individual y colectiva, puntualmente o por rangos de peso esperado. A los productores del programa de leche con similares condiciones climáticas y de manejo puede resultar útil un referente de este tipo, con el uso de la hoja de cálculo en Excel diseñada en este trabajo, de modo que les facilite la predicción del futuro comportamiento productivo para la ceba de los terneros con propósitos lecheros, y tomar acertadamente estrategias en el manejo y alimentación de los animales para lograr una ceba en menor tiempo, con buenos pesos finales.

Conclusiones

El sistema de pastoreo rotacional compuesto por la asociación de las especies ratana (*Ischaemum indicum*), maní forrajero (*Arachis pintoi*) y suplemento alimenticio permitió una capacidad de carga de 2.2 UGM/ha y consumo de 18.34 MV kg/UGM*d con adecuado crecimiento y

desarrollo. El modelo ratifica que el desempeño productivo de los terneros mestizos con propósitos lecheros está relacionado con la ganancia en la etapa inicial y el peso nacer, y manifiesta crecimiento más lento en el desarrollo de terneros con similar ganancia de peso y mayor peso al nacer. Las predicciones obtenidas pueden ser útiles para evaluar el comportamiento de futuros animales con propósito lechero destinados a la ceba y para realizar ajustes en el manejo de cada etapa productiva.

Referencias

- AOAC. 2023. Official Methods of Analysis. [En línea]. 978-0-935584-87-5. In food e agriculture, we set the standard. 22^aed. Vol. 2. ISBN 978-0-19-764909-1.
- Benítez Jiménez, D.G., Torres Cárdenas, V., Vargas Burgos, J.C., Soria R., S., Navarrete, H. & Ríos Núñez, S. 2018. Organization of livestock farms in the Ecuadorian Amazon. Case study "Luis Ceballos". *Cuban Journal of Agricultural Science*, 52(1): 7-18, ISSN: 2079-3480. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2079-34802018000100007.
- Bourdon, R. & Brinks, J. 1987. Simulated efficiency of range beef production. I. Growth and milk production. *Journal of Animal Science*, 65(4): 943-955, ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/JAS1987.654943X>.
- Brody, S. 1945. Bioenergetics and growth. Capítulo 15. Hafner. New York.
- Corral Zambrano, C.A., Zambrano Solórzano, L.J., Pincay Vargas, D.M. & Calo Gómez, S.G. 2021. Impactos ambientales generados por la ganadería en la provincia de Santo Domingo de Tsáchilas: impactos ambientales generados por la ganadería. UNESUM - Ciencias. *Revista Científica Multidisciplinaria*, 5(2): 69-78, ISSN: 2600-6030. <https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v4.n3.2020.255>.
- FAO. 2023. Evolución Global en la Producción de Carne y Cultivo. Available at: <https://porcinews.com/fao-evolucion-global-en-la-produccion-de-carne-y-cultivo/>.
- Gompertz, B. 1825. On the nature of the function expressive of thr law of human mortality and on a new mode of determining of the value of life contingencies.

- Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 115: 513-585, ISSN: 0264-3820. <https://doi.org/10.1098/rstl.1825.0026>.
- Honig, A.C., Inhuber, V., Spiekers, H., Windisch, W., Götz, K.U., Schuster, M. & Etle, T. 2022. Body composition and composition of gain of growing beef bulls fed rations with varying energy concentrations. *Meat Science*, 184: 108685, ISSN: 1873-4138. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108685>.
- INEC. 2023. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Available at: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2022/Bolet%C3%ADn_tecnico_ES-PAC_2022.pdf.
- Kertz, A. 2022. Principles of growth and body composition of cattle. *Feedstuffs*. Available at: <https://www.feedstuffs.com/livestock-and-poultry-market-news/principles-of-growth-and-body-composition-of-cattle>.
- Nobre, P.R.C., Rosa, A.D.N., da Silva, L.O.C. & Evangelista, S.R.M. 1987. Curvas de crecimiento de gado Nelore ajustadas para diferentes frecuencias de pesagens. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 22(9/10): 1027-1037, ISSN: 1678-3921.
- Olson, K. 2010. Búsqueda de alternativas para mejorar la producción bovina de carne de Magallanes. Informe Técnico. Centro Regional de Investigación Kampenaike. INIA. Punta Arenas. Chile. Available at: <https://bibliotecadigital.fia.cl/bitstreams/5a43e554-3da3-4081-bf96-946dd6488444/download>.
- Picard, B. & Gagaoua, M. 2020. Muscle Fiber Properties in Cattle and Their Relationships with Meat Qualities: An Overview. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(22): 6021-6039, ISSN: 1520-5118. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c02086>.
- Posada, S. L., Santiago, C. & Rosero, R. 2016. Mezclas minerales múltiples para la alimentación de bovinos Aplicación y formulación. Fondo Editorial Biogénesis, p. 46, ISBN: 978-958-8947-25-9. Available at: <http://editorialbiogenesis.udea.edu.co/>.
- Quintero Bastidas, D.E., Bejarano Garavito, D.H., Ospina Hernández, S.D., Vargas Vivas, L.F. & Ramírez Toro, E.J. 2023. Parámetros y tendencias genéticas para peso al nacimiento y peso al destete en ganado Hartón del Valle en Colombia. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 39(2): 177-187, ISSN: 0719-3890. <https://dx.doi.org/10.29393/chjaa39-15ptde50015>.
- Razanova, O.P., Farionik, T.V. & Skoromna, O.I. 2023. The Influence of the Type of Feeding on Meat Productivity of Young Cattle and Meat Quality. *Publishing House "Baltija Publishing"*. https://scholar.google.es/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=5yv7j4UAAAAAJ&cstart=20&pagesize=80&citation_for_view=5yv7j4UAAAAAJ:_Ybze24A_UAC.
- Redjadj, C., Duparc, A., Lavorel, S., Grigulis, K., Bonenfant, C., Maillard, D., Saïd, S. & Loison, A. 2012. Estimating herbaceous plant biomass in mountain grasslands: a comparative study using three different methods. *Alpine Botany*, 122: 57-63, ISSN: 1664-221X. <https://doi.org/10.1007/s00035-012-0100-5>.
- Rostagno, H.S., Teixeira, L.F., Donzele, L.J., Gomes, P.C., Oliverira, Rita., Lopes, D.C., Ferreira, A.S., Toledo, S.L. & Euclides, R.F. 2017. Tablas Brasileñas para aves y cerdos. Composición de Alimentos y Requerimientos Nutricionales. 3era Edición. Universidad Federal de Viçosa - Departamento de Zootecnia, Brasil, 167 pp. Available at: <https://eliasnutri.files.wordpress.com/2018/09/tablas-brasilec3blas-aves-y-cerdos-cuarta-edicion-2017-11.pdf>.
- Senra, A. & Venereo, A. 1986. Métodos de muestreo. En: Los pastos en Cuba. Producción. Ed. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. Tomo1: 649p.
- Solórzano, J., Barboza, D., Vásquez, P. & Paniagua, J. 2022. Optimización del costo de alimentación para ganado de engorde en Guanacaste, Costa Rica. *Revista e-Agronegocios*, 8(1): 25-44, ISSN: 2215-3462. <https://doi.org/10.18845/ea.v8i1.5654>.
- Song, H., Huang, Y., Ding, L., Duan, Z. & Zhang, J. 2023. Arachis species: High-quality forage crops-nutritional properties and breeding strategies to expand their utilization and feeding value. *Grassland Research*, 2(3): 212-219, ISSN: 2770-1743. <https://doi.org/10.1002/ghr2.12059>.
- Von Bertalanffy, L. 1957. Leyes cuantitativas en el metabolismo y el crecimiento. Revisión trimestral de biología. 3. 218.
- Wegner, J., Albrecht, E., Fiedler, I., Teuscher, F., Papstein, H. J. & Ender, K. 2000. Growth- and breed-related changes of muscle fiber characteristics in cattle. *Journal of Animal Science*, 78(6): 1485-1496, ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/2000.7861485x>.
- Zhang J., Zhang L., Liu X. & Qiao Q. 2019. Research on sustainable development in an alpine pastoral area based on equilibrium analysis between the grassland yield, livestock carrying capacity, and animal husbandry population. *Sustainability*, 11: 4659, ISSN: 2071-1050. <https://doi.org/10.3390/su11174659>.