ZAMORANO
CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Determinación del consumo de materia seca de vaquillas Holstein de reemplazo

Trabajo de graduación presentado como requisito parcial para
optar al título de Ingeniero Agrónomo en el
Grado Académico de Licenciatura.

Presentado por:

Ricardo Paulo Arias Barahona

Honduras
Diciembre, 2003

El autor concede a Zamorano permiso
para reproducir y distribuir copias de este
trabajo para fines educativos. Para otras personas
físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.

_____

Ricardo Paulo Arias Barahona

Honduras
Diciembre, 2003

Determinación del consumo de materia seca de vaquillas Holstein de reemplazo

Presentado por:

Ricardo Paulo Arias Barahona

Aprobada por:

_____	_____
Isidro Matamoros, Ph. D. Asesor Principal	Jorge Iván Restrepo, M.B.A. Coordinador de Carrera Ciencia y Producción Agropecuaria
_____	_____
Miguel Vélez, Ph. D. Asesor	Antonio Flores, Ph. D. Decano Académico
_____	_____
James E. Umphrey, M. Sc. Asesor	Kenneth L. Hoadley, D.B.A. Rector

_____
Miguel Vélez, Ph. D.
Coordinador de Área Temática

DEDICATORIA

A Dios.

A mis padres Ricardo y Doris.

AGRADECIMIENTOS

A mi Dios bello por estar siempre a mi lado, y darme fuerzas cada día para seguir adelante aún cuando yo le falle muchas veces.

A mis papás Ricardo y Doris por su apoyo, todos los sacrificios, sus frases y consejos tan oportunos y todo el cariño que siempre me han dado. Soy lo que soy por y para ustedes, los amo.

A mi hermana Daniela por su cariño y por preocuparse siempre por mí.

A Kathy por estar conmigo en las buenas y en las malas, tanto lejos como cerca.

A mis abuelitos, tíos y primos por estar siempre pendientes de mí y mi familia.

A mis compañeros y amigos dentro de Zamorano por su amistad sincera y todos los momentos agradables que compartimos; especialmente a Arnulfo Pineda, Francisco Cueva, Juan Luis Raudales, Jorge Girón, Celia Trejo, Loretta Morante, Damián Benavente, Ana Claudia Alí, Heidy Cáceres, Gabriela Castillo, Karla Tinoco, Carlos Enamorado, Juan Ledezma, Ivanna Vejarano, Javier López, Carlos Soto, Krystian Madrid, Rosa Raudales, Juan Aguilar, José Francisco Kühl, Edie Alemán, Kamil Rosales y María Bolaños.

A mis amigos fuera de Zamorano por su apoyo y consejos; especialmente a Manuel Valladares y Nelson Ramírez.

Al Dr. Isidro Matamoros por su apoyo, su amistad, la oportunidad de hacer algo diferente y permitirme culminar con éxito este proyecto.

Al Dr. Miguel Vélez por su interés, colaboración, regaños y bromas.

A todas las personas en Gainesville que colaboraron con este estudio y además me brindaron su amistad y apoyo, especialmente a Sergio Madrid, Jason Serrano, James Umphrey, Kelly Jiménez, Sherry Hay, James Lindsey, Grady Byers y David Armstrong.

A los profesores, instructores y todas las personas que trabajan en Zamorano por compartir sus experiencias, sabiduría y amistad conmigo durante estos cuatro años.

Gracias.

AGRADECIMIENTOS A PATROCINADORES

A la Secretaria de Agricultura y Ganadería (SAG), por su aporte financiero durante mis cuatro años de estudios en Zamorano.

A “Food for Progress” por su apoyo financiero durante los 4 años.

A mis padres, por todos los sacrificios que hacen por darme un mejor futuro.

RESUMEN

Arias Barahona, Ricardo. 2003. Determinación del consumo de materia seca de vaquillas Holstein de reemplazo. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo, Zamorano, Honduras. 22 p.

Cada año se descarta entre 25 y 30% de las vacas en un hato lechero. Las vaquillas de reemplazo representan entre el 15 y 20% de los costos totales de la finca, los costos de alimentación son el 55% de los costos totales de crianza. Conocer el consumo de materia seca de los animales es elemental para la formulación de raciones efectivas y económicas. El objetivo de este estudio fue determinar el consumo de materia seca de vaquillas Holstein de reemplazo de diferentes edades. El estudio se realizó en la Unidad de Investigación Lechera de la Universidad de Florida, de enero a abril de 2003. Se utilizaron 359 animales entre 2 y 21 meses de edad, alimentados con Raciones Totalmente Mezcladas (RTM) a base de ensilaje de maíz y agrupados por edad y peso en 17 lotes. El consumo de materia seca (CMS) se determinó mediante el monitoreo diario de la cantidad de alimento ofrecido y rechazado. Se midió el peso y la estatura de las vaquillas a intervalos de 7 a 30 días y se estimó la ganancia diaria de peso (GDP). El estudio se dividió en tres períodos de 21, 22 y 29 días, además se evaluó el efecto del clima sobre el CMS y la GDP. Se concluyó que el CMS está dentro de los rangos recomendados por el National Research Council (NRC) para los pesos y estaturas de vaquillas de razas grandes. No hubo influencia significativa del clima ($P<0.05$) sobre el CMS ni la GDP. El CMS promedio fue de 2.61 g/kg de peso vivo y la GDP de 1.015 kg. El desarrollo de las vaquillas fue similar al valor máximo sugerido por el NRC. Se recomienda realizar el estudio durante la época de verano para determinar la influencia del estrés calórico en el consumo y desempeño de las vaquillas y realizar un estudio retrospectivo del desempeño reproductivo de las vaquillas criadas en diferentes épocas del año.

Palabras clave: Consumo de materia seca, ganancia diaria de peso, ración totalmente mezclada, vaquillas de reemplazo.

_____

Abelino Pitty, Ph. D.

CONTENIDO

Portadilla..... i
Autoría..... ii
Página de firmas..... iii
Dedicatoria..... iv
Agradecimientos..... v
Agradecimientos a patrocinadores..... vi
Resumen..... vii
Contenido..... viii
Índice de cuadros..... ix
Índice de gráficas..... xi
Índice de anexos..... xii

INTRODUCCIÓN..... 1

MATERIALES Y MÉTODOS..... 2
UBICACIÓN..... 2
ANIMALES..... 2
ALIMENTACIÓN..... 4
MANEJO DEL ESTUDIO..... 5
ANÁLISIS ESTADÍSTICO..... 7

RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... 8
COMPORTAMIENTO GENERAL..... 8
CORRELACIONES DE CONSUMO..... 11
CORRELACIONES DE GANANCIA DIARIA DE PESO..... 12
ANÁLISIS DE REGRESIÓN..... 13

CONCLUSIONES..... 18

RECOMENDACIONES..... 19

BIBLIOGRAFÍA..... 20

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		
1.	Peso y edad meta de los animales por lote.....	3
2.	Área, animales y carga animal promedio de cada lote.....	3
3.	Composición básica de las dos raciones ofrecidas.….....	4
4.	Composición de la pre mezcla para vaquillas en desarrollo.....	4
5.	Composición química de las dietas ofrecidas a vaquillas de reemplazo.....	5
6.	Sub dieta ofrecida a cada lote con la cantidad de iniciador y harina de soya extra correspondientes…….....	5
7.	Distribución y duración de cada período.....	6
8.	Condiciones climáticas promedio en cada período.....	8
9.	Edad, peso y altura promedio de cada lote.....	8
10.	Consumo de materia seca diario, consumo de materia seca con base en peso vivo y ganancia diaria de peso de cada lote.....	10
11.	Comparación entre los resultados obtenidos y los recomendados por la NRC (2001) para consumo de materia seca y ganancia diaria de peso.....	10
12.	Correlación entre el CMS/d y la edad, la altura y la ganancia diaria de peso……..	11
13	Correlación entre el CMS/d y la temperatura, la precipitación, la humedad relativa, la radiación solar, la velocidad del viento y el índice de estrés calórico….....	12
14.	Correlación entre el CMS y la edad, el peso, la altura y la ganancia diaria de peso…….....	12

15.	Correlación entre el CMS y la temperatura, la precipitación, la humedad relativa, la radiación solar, la velocidad del viento y el índice de estrés calórico.....	12
17.	Correlación entre la ganancia diaria de peso y la temperatura, la precipitación, la humedad relativa, la radiación solar, la velocidad del viento y el índice de estrés calórico.....	13
18.	Análisis de varianza del modelo de regresión para el CMS/d…….	13
19.	Constantes estimadas para cada variable independiente involucrada en la predicción del CMS/d.....	14
20.	Multicolinearidad encontrada en las variables que determinan el CMS/d.	14
21.	Análisis de varianza del modelo de regresión para el CMS……	16
22.	Constantes estimadas para cada variable independiente involucrada en la predicción del CMS…….	16
23.	Multicolinearidad encontrada en las variables que determinan el CMS….	16

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica

1. Relación entre edad y peso de las vaquillas a lo largo del estudio..... 9

2. Relación entre edad y altura de las vaquillas a lo largo del estudio..... 9

3. Relación entre el consumo de concentrado y forraje, y el consumo diario para cada lote durante el período de estudio..... 11

4. Valores reales y predichos de consumo diario de materia seca de vaquillas Holstein de reemplazo a diferentes edades (n = 1,116)..... 15

5. Valores reales y predichos de consumo diario de materia seca en vaquillas Holstein de reemplazo según su peso (n = 1,116)..... 15

6. Valores reales y predichos de consumo de materia seca con base en peso vivo de vaquillas Holstein de reemplazo a diferentes edades (n = 990)..... 17

7. Valores reales y predichos de consumo de materia seca con base en el peso vivo en vaquillas Holstein de reemplazo según su peso (n = 990)..... 17

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo

1. Ubicación geográfica del lugar de estudio..... 22

2. Mapa de los lotes de la unidad de vaquillas de la Unidad de Investigación Lechera de la Universidad de Florida, 2003..... 23

3. Composición nutricional del Iniciador Purina® para terneras (U.F. Calf Starter DQ 0.0023% Brand Med)..... 24

4. Composición de los los pelets Aureomycin® 4G (Medicados)…….. 24

5. Protocolo utilizado en el estudio para determinar contenido de materia seca de la RTM..... 25

INTRODUCCIÓN

Las vaquillas de reemplazo representan la futura producción de un hato lechero. Según Vélez et al. (2002), cada año debe descartarse entre un 25 y 30% del total de vacas de un hato por fallas reproductivas, enfermedades, baja producción o accidentes. La meta de un programa de crianza de vaquillas de reemplazo es llevar una ternera genéticamente superior hasta que se convierta en una vaca sana que exprese su máximo potencial lechero a un bajo costo (James, 1998). De acuerdo con Heinrichs et al. (1994), las vaquillas de reemplazo representan el segundo mayor costo operativo de una explotación lechera (15 a 20%) después de la alimentación de las vacas en producción. Los costos promedio de alimentación de vaquillas representan un 54.8% de los costos totales de la crianza (Webb, 1999).

El consumo de materia seca (CMS) es fundamental en nutrición porque determina la cantidad de nutrientes que el animal ingiere para satisfacer sus requerimientos de mantenimiento y producción. Es importante tener un dato lo más real posible para la formulación de dietas con el objetivo de prevenir la sub o sobre alimentación y promover un uso eficiente de los nutrientes (NRC, 2001).

Los requerimientos nutricionales y la capacidad de consumo varían según el estado fisiológico del animal, a medida la ternera crece se desarrolla su capacidad ruminal y disminuyen sus requerimientos de proteína y energía (Wattiaux, 1998). El consumo depende del apetito, tipo y nivel de producción, el clima, la digestibilidad y el tipo de alimento (Church y Pond, 1987).

En este estudio se determinó la capacidad de consumo de materia seca de un grupo de vaquillas Holstein de reemplazo de diferentes edades. Se evaluó el CMS de acuerdo a la edad, la ganancia diaria de peso, la altura y la influencia del clima en el mismo.

MATERIALES Y MÉTODOS

UBICACIÓN

Este estudio se realizó en la sección de terneros de la Unidad de Investigación Lechera de la Universidad de Florida, ubicada en el norte de Florida, en el condado de Alachua, 18 km al noroeste de la ciudad de Gainesville (Anexo 1), en los EEUU. La zona se encuentra a una altura de 23 msnm, tiene una precipitación promedio anual de 1,250 mm y una temperatura promedio de 21° C.

Se comenzó a tomar datos el 28 de enero y se terminó el 7 de abril de 2003 (70 días), que corresponde al final del invierno y comienzos de la primavera en la zona.

ANIMALES

La unidad de terneros recibe las crías de la raza Holstein del hato lechero de la Unidad y las mantienen hasta que salen con 5 meses de preñez (21 meses de edad promedio). Para el estudio se tomaron en cuenta las terneras de 2 hasta 21 meses de edad (353 animales).

Las vaquillas se manejan en 17 grupos, el número de animales por grupo varía de acuerdo a la parición. Durante el experimento se manejaron grupos desde 6 (jóvenes) hasta 51 (preñadas) animales.

Las terneras rotan por los lotes a medida que alcanzan la edad y/o el peso meta establecido (Cuadro 1), con la intención de facilitar la detección de problemas; además las terneras tienden a ser más competitivas en los comederos, lo cual estimula su crecimiento (Harris y Shearer, 1993).

El programa de inseminación artificial se comienza cuando las vaquillas alcanzan los 360 kg y/o 14 meses de edad. En los lotes 13, 14 y 15 se mantienen animales listos para ser servidos y en el 16 y 17 hembras preñadas.

Los corrales están separados por cercas metálicas entre sí y los lotes mayores (11-17) de los menores (1-10) por una calle (Anexo 2).

Cada corral cuenta con un área bajo techo (3.65 m de alto) con piso de concreto (46.5 m² en los lotes del 7 al 17 y 21.35 m² en los lotes del 1 al 6) bajo el cual están ubicados los comederos. El comedero está a nivel del suelo y a la orilla de la calle para facilitar la alimentación. Cada comedero mide 1.2 m de ancho. El resto de los potreros está al aire libre y se maneja como un lote seco ("Dry lot") que provee más de 45 m²/animal de

espacio vital. Los lotes del 1 al 6 están cubiertos por una capa gruesa de arena; en los lotes restantes, el suelo estaba descubierto en un 25% del área y el resto cubierto por vegetación, ésta incluye gramíneas, que aportan poco al consumo total de materia seca, ya que se mantienen chapeadas a menos de 10 cm del suelo. Los pastos predominantes son: Paspalum notatum ("Bahia grass") y Digitaria ischaemum ("Crab grass"). La carga animal que se maneja va desde 7 hasta 23 UA/ha (Cuadro 2).

Cuadro 1. Peso y edad meta de los animales por lote.

Lote	Peso (kg)	Edad (meses)
1 y 2*	66	2
3	120	4
4	147	5
5	175	6
6	202	7
7	229	8
8	256	9
9	283	10
10	311	11
11	338	12
12	365	13
13	392	14
14	420	15
15	447	16
16	-	-
17	-	-

* El corral 1 y 2 se intercomunicaba, por lo que se toma como un solo lote.

Cuadro 2. Área, animales y carga animal promedio de cada lote.

Lote	Área (ha)	Animales promedio/lote	Unidades animales/ha*
1 y 2	0.18	17	14
3	0.11	6	10
4	0.11	10	20
5	0.11	10	23
6	0.09	10	31
7	0.63	19	9
8	0.66	20	10
9	0.71	20	10
10	0.55	20	16
11	1.20	28	12
12	1.16	20	12
13	2.19	17	7
14	1.84	22	11
15	1.63	23	13
16	1.65	22	13
17	2.42	51	23

* Carga animal ajustada a unidades animales de 450 kg de peso.

ALIMENTACIÓN

Se utilizaron dos raciones totalmente mezcladas (RTM) a base de ensilaje de maíz, heno de pasto bermuda y una premezcla de granos y minerales para vaquillas; la diferencia entre las dos dietas estuvo en la proporción de ensilaje y heno (Cuadros 3 y 4). Del lote 1 hasta el 12 se ofreció la dieta 1 (baja en fibra) y del lote 13 al 17 la dieta 2 (alta en fibra).

La alimentación se realizó de 9:00 a 10:00am con vagones automáticos, equipados con mezcladora y báscula digital incorporadas. El alimento se ofreció a cada lote con base en lo recomendado por un nutricionista e incrementado o reduciendo según la cantidad rechazada el día anterior.

Cuadro 3. Composición básica de las dos raciones ofrecidas.

	Dieta 1 (2-13 meses)	Dieta 2 (<13 meses)
Ingredientes	% de materia seca	
Ensilaje de maíz	47.25	41.00
Heno de pasto bermuda*	3.75	10.00
Pre mezcla para no preñadas	49.00	49.00
Total	100.00	100.00

* Cynodon dactylon

Cuadro 4. Composición de la pre mezcla para vaquillas en desarrollo.

Ingredientes	%
Harina de maíz	31.75
Harina de soya	16.00
Pre mezcla mineral para vaquillas	3.25
Cáscara de semilla de algodón	24.50
Pulpa de cítricos	24.50
Total	100.00

En la dieta 1 se diferencian cuatro sub dietas (Cuadro 5). Según Wattiaux (1996) conforme las vaquillas crecen la concentración de proteína en la dieta puede ser reducida y la de fibra incrementada. Esto se logra adicionando un iniciador (Anexo 3) para diluir la fibra de la dieta 1 en los lotes 1 al 10 y diferentes cantidades de harina de soya (Cuadro 6) en los lotes 1 al 13. Además, del lote 1 al 10 se añadió antibióticos en forma de harina de granos peletizada Aureomycin 4G® (Anexo 4) a razón de 1 ó 2 kg por lote, dependiendo de la incidencia de diarreas. La harina de soya y los antibióticos fueron añadidos manualmente a la RTM una vez uniformizada y distribuida; el iniciador se dio antes de distribuida la RTM.

La dieta 2 destinada para las vaquillas sexualmente activas y/o preñadas no recibió ningún tipo de aditivo, excepto eventualmente rollos de heno que se tomaron en cuenta para el cálculo del consumo de materia seca.

Cuadro 5. Composición química de las dietas ofrecidas a vaquillas de reemplazo*

	Sub dietas (Dieta 1)				Dieta 2
Edad (meses)	2 a 3	4 a 5	6 a 9	10 a 13	14 a 17
Peso (kg)	<95	95 a 150	150 a 250	250 a 365	365 a 500
Nutriente	% de materia seca en la dieta				
Proteína cruda (%)	22.80	19.60	16.30	13.00	11.30
NDT** (%)	78.00	69.70	68.50	67.50	66.90
Energía neta, (Mcal/kg)	1.31	1.07	1.04	1.01	0.99
Fibra neutro detergente (%)	20.60	36.70	39.00	41.80	43.10
Fibra ácido detergente (%)	14.60	24.30	26.00	27.20	28.00
Extracto etéreo (%)	2.90	2.90	3.00	3.00	3.10
Ca (g)	0.60	0.55	0.57	0.59	0.61
P (g)	0.55	0.48	0.46	0.44	0.43
K (g)	1.18	1.36	1.28	1.20	1.16
Mg (g)	0.18	0.20	0.19	0.19	0.19
Na (g)	0.09	0.08	0.08	0.09	0.09
S (g)	0.22	0.20	0.24	0.27	0.25
Cl (g)	0.11	0.33	0.35	0.37	0.39
Mn (ppm)	33	50	52	53	54
Fe (ppm)	102	277	286	294	300
Cu (ppm)	10	21	21	21	22
Zn (ppm)	38	67	69	70	71
I (g)	0.11	0.62	0.67	0.71	0.74
Se (g)	0.19	0.50	0.54	0.57	0.60

* Todas las dietas proveían 211mg de lasalocid sódica (BOVATEC®).
** NDT = Nutrientes digeribles totales.

Cuadro 6. Sub dieta ofrecida a cada lote con la cantidad de iniciador y harina de soya extra correspondientes.

Sub dietas	Lotes	Iniciador (kg/animal)	H. de soya (kg/animal)
1	1 y 2	1.17	0.15
2	3 y 4	1.13	0.27
3	5,6,7 y 8	0.78	0.41
4	9,10,11 y 12	-	0.27

MANEJO DEL ESTUDIO

Las variables medidas fueron:

- Variables biológicas:
  - Peso (kg).
  - Altura a la cruz (cm).
  - Edad (días).
  - Consumo de Materia Seca por Día (CMS/día; kg MS/animal/día).
  - Consumo de Materia Seca con base en Peso Vivo (CMS; kg MS/100 kg PV).
  - Ganancia Diaria de Peso (GDP; kg/día).

- Variables climáticas:
  - Temperatura (°C).
  - Precipitación (mm).
  - Humedad relativa del aire (%).
  - Radiación solar (W/m²).
  - Velocidad del viento (km/hora).
  - Índice de Estrés Calórico (IEC).

La toma de datos se dividió en tres períodos para tratar de reducir el factor ambiental en cada período y diferenciar la influencia del mismo en el consumo de materia seca durante el estudio (Cuadro 7).

Cuadro 7. Distribución y duración de cada período.

Período	Fecha	Duración (días)
1	28/enero - 17/febrero	21
2	17/febrero - 10/marzo	22
3	10/marzo - 7/abril	29
Total	28/enero - 7/abril	70*

* Los períodos tienen un día en común.

Los animales se pesaron con una báscula digital de jaula y la estatura se midió con una regla graduada. En principio se dispuso pesar cada dos semanas, sin embargo el peso se tomó a intervalos de 7 a 30 días de acuerdo al tamaño del grupo, la necesidad de reagrupar animales y el período de monta en los grupos con la edad y peso adecuados para la misma. Los períodos experimentales se definieron según la disponibilidad de los pesajes para asegurar al menos, un peso inicial y un peso final en cada período.

El consumo de materia seca (CMS) promedio se determinó con base en el lote y se consideró el número de animales en cada lote y el peso de los mismos para estimar el CMS total por animal y por kg de peso vivo. Se llevaron registros diarios de oferta y rechazo para cada lote, además se tomaron muestras de lo ofrecido y lo rechazado 3 veces por semana para determinar el contenido de materia seca. Las muestras se recolectaron en bolsas herméticas y se guardaron congeladas hasta que fueron secadas al final de cada semana en un microondas (Staples, 1988; Anexo 5).

Las variables ambientales se obtuvieron de una estación meteorológica computarizada ubicada a 0.5 kilómetros de la finca. El índice de estrés calórico se calculó con la siguiente fórmula:

$$IEC^* = 0.81\ t + HR\ (t - 14.4) + 46.2$$

Donde:

t = temperatura (°C).
HR = Humedad Relativa (%).
* Resultados arriba de 72 son considerados como estrés calórico (Hahn, 1999).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó un análisis de regresión y correlación para definir las variables que más influyeron en el consumo de materia seca y se utilizó un nivel de significancia de 0.05. El análisis se realizó con el programa de análisis estadístico (SAS®, 2002).

Para buscar el mejor modelo se utilizó el Método de Selección del R^2 (Freund y Littell, 1991), el cual utiliza dos parámetros:

- R^2 = Proporción de la varianza en la variable dependiente que puede ser predicha por las variables independientes (UCLA, 2003).
- C(p) = Coeficiente de Mallows; el cual es una medida del error cuadrado total para un modelo conteniendo p variables independientes.

El modelo más apropiado será aquel que presente el R^2 más alto y a su vez un C(p) que sea lo más cercano a el número de variables independientes (p) más uno (C(p) " (p + 1).

Después de haber seleccionado el mejor modelo se procedió a realizar una regresión utilizando únicamente las variables implicadas en el mismo para conocer los parámetros o valores estimados que serían las constantes de cada variable dentro de la ecuación de predicción de cada tipo de consumo.

Finalmente se efectuó un análisis de multicolinearidad; la cual es definida por Freund y Littell (1991), como el grado de correlación existente entre diversas variables independientes. Esto sucede cuando se han introducido muchas variables en un modelo y algunas miden un fenómeno similar.

De acuerdo con Freund y Littell (1991), esta multicolinearidad puede afectar el valor de la ecuación para predecir la variable dependiente de interés de dos maneras:

1. Aumentando la varianza en los valores predichos.
2. Aumentando la varianza de los parámetros estimados.

Sin embargo no existe un criterio formal para determinar la magnitud que este aumento o inflación en la varianza puede tener en los coeficientes estimados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

COMPORTAMIENTO GENERAL

El clima durante el estudio (Cuadro 8) no afectó el comportamiento de los animales ya que el IEC siempre fue inferior a 72, que es el valor que indica la presencia de estrés calórico (Hahn, 1999).

Cuadro 8. Condiciones climáticas promedio en cada período.

Período	Temperatura (°C)	Precipitación (cm)	Humedad relativa (%)	Radiación solar (W/m²)	Velocidad del viento (kmph)	IEC*
1	11.70	0.59	75.48	107.00	7.48	54
2	16.88	0.80	83.41	68.36	9.27	62
3	18.63	0.23	76.79	154.07	6.93	65

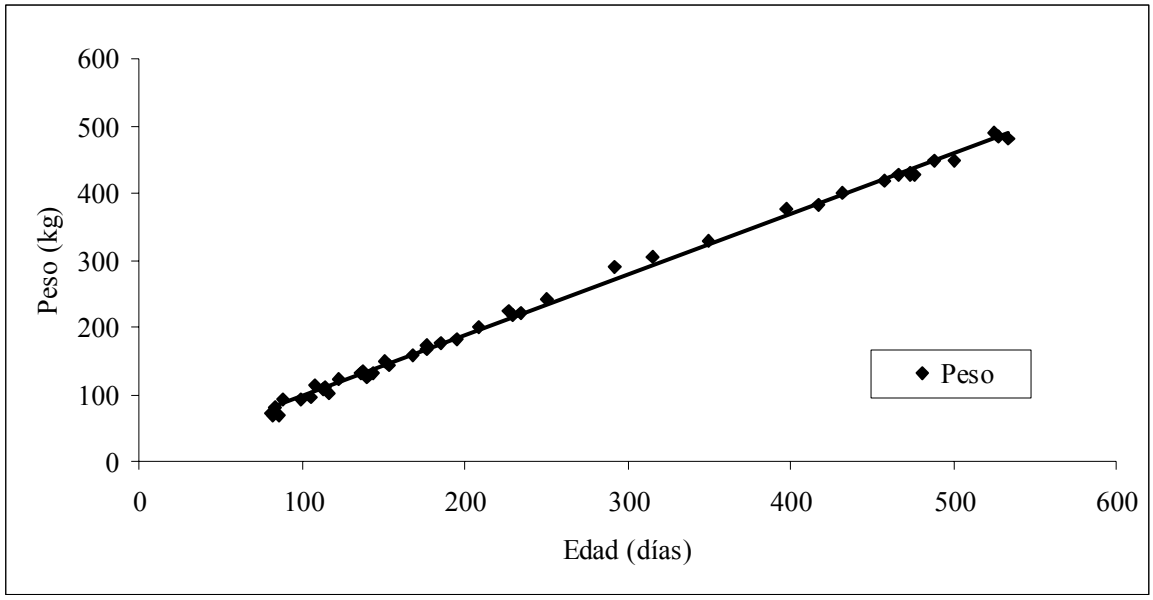
* Índice de estrés calórico.

El crecimiento obtenido (Cuadro 9 y Gráficas 2 y 3) fue ligeramente mayor al reportado por Abeny et al. (2000) pero con una tendencia muy similar, tanto para altura como para peso.

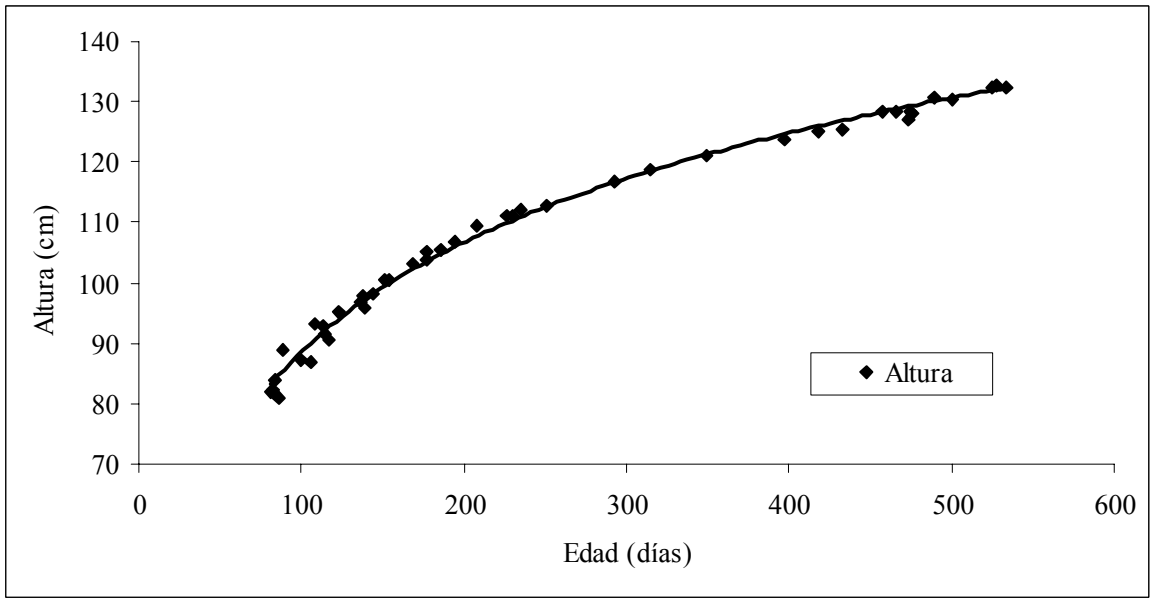
Cuadro 9. Edad, peso y altura promedio de cada lote.

Lote	No. de observaciones*	Edad (días)	Peso (kg)	Altura (cm)
1 y 2	1,190	83 ± 13	70 ± 12	81.7 ± 4.5
3	420	91 ± 14	81 ± 8	84.2 ± 2.0
4	700	98 ± 14	92 ± 11	87.6 ± 3.1
5	700	111 ± 15	110 ± 17	92.6 ± 3.8
6	700	131 ± 14	120 ± 11	94.5 ± 3.6
7	1,330	140 ± 15	133 ± 13	97.9 ± 3.2
8	1,400	155 ± 12	152 ± 16	101.2 ± 3.1
9	1,400	177 ± 17	167 ± 19	104.1 ± 2.9
10	1,400	210 ± 8	201 ± 18	109.2 ± 2.7
11	1,960	238 ± 24	227 ± 25	112.2 ± 2.7
12	1,400	319 ± 40	306 ± 36	118.9 ± 3.5
13	1,190	411 ± 21	380 ± 23	124.7 ± 2.5
14	1,540	458 ± 30	417 ± 28	127.2 ± 2.4
15	1,610	468 ± 29	425 ± 35	128.0 ± 2.9
16	1,540	490 ± 49	447 ± 45	130.4 ± 2.6
17	3,570	529 ± 49	484 ± 54	132.6 ± 3.4

* Número de animales promedio multiplicado por el número de días que duró el estudio.



Gráfica 1. Relación entre edad y peso de las vaquillas a lo largo del estudio



Gráfica 2. Relación entre edad y altura de las vaquillas a lo largo del estudio.

Los promedios de consumo (Cuadro 10) se obtuvieron del consumo diario por lote y el número de animales en ese día, resultando en un consumo de materia seca diario de 1.7 hasta 10.6 kg/día a medida aumenta la edad de loa animales y un consumo promedio con base en peso vivo de 2.6 kg/100 kg PV. La ganancia diaria de peso fue de 1.01 en promedio.

La ganancia diaria de peso y el consumo diario de materia seca obtenidos en el estudio son similares a los valores máximos recomendados por el NRC (2001) para vaquillas de razas grandes (Cuadro 11).

Cuadro 10. Consumo de materia seca diario, consumo de materia seca con base en peso vivo y ganancia diaria de peso de cada lote.

Lote	No. de observaciones*	CMS/d (kg/día)	CMS (kg/100kg PV)	GDP (kg/día)
1 y 2	1,190	1.71 ± 0.27	2.44 ± 0.50	0.96 ± 0.23
3	420	2.43 ± 0.40	2.96 ± 0.57	1.03 ± 0.23
4	700	2.58 ± 0.38	2.78 ± 0.42	0.94 ± 0.23
5	700	3.56 ± 0.40	3.23 ± 0.39	0.94 ± 0.04
6	700	3.76 ± 0.34	3.17 ± 0.32	0.94 ± 0.04
7	1,330	3.80 ± 0.22	2.86 ± 0.18	0.94 ± 0.04
8	1,400	3.81 ± 0.33	2.51 ± 0.25	0.95 ± 0.24
9	1,400	4.89 ± 0.24	2.91 ± 0.13	0.95 ± 0.24
10	1,400	5.73 ± 0.25	2.84 ± 0.12	1.11 ± 0.21
11	1,960	6.26 ± 0.40	2.75 ± 0.17	1.11 ± 0.21
12	1,400	7.34 ± 0.83	2.40 ± 0.29	1.10 ± 0.21
13	1,190	9.31 ± 0.74	2.45 ± 0.19	1.10 ± 0.08
14	1,540	8.43 ± 0.72	2.02 ± 0.16	1.09 ± 0.08
15	1,610	8.95 ± 0.43	2.10 ± 0.09	1.09 ± 0.04
16	1,540	9.76 ± 2.20	2.18 ± 0.49	1.09 ± 0.08
17	3,570	10.64 ± 2.04	2.20 ± 0.43	0.91 ± 0.05

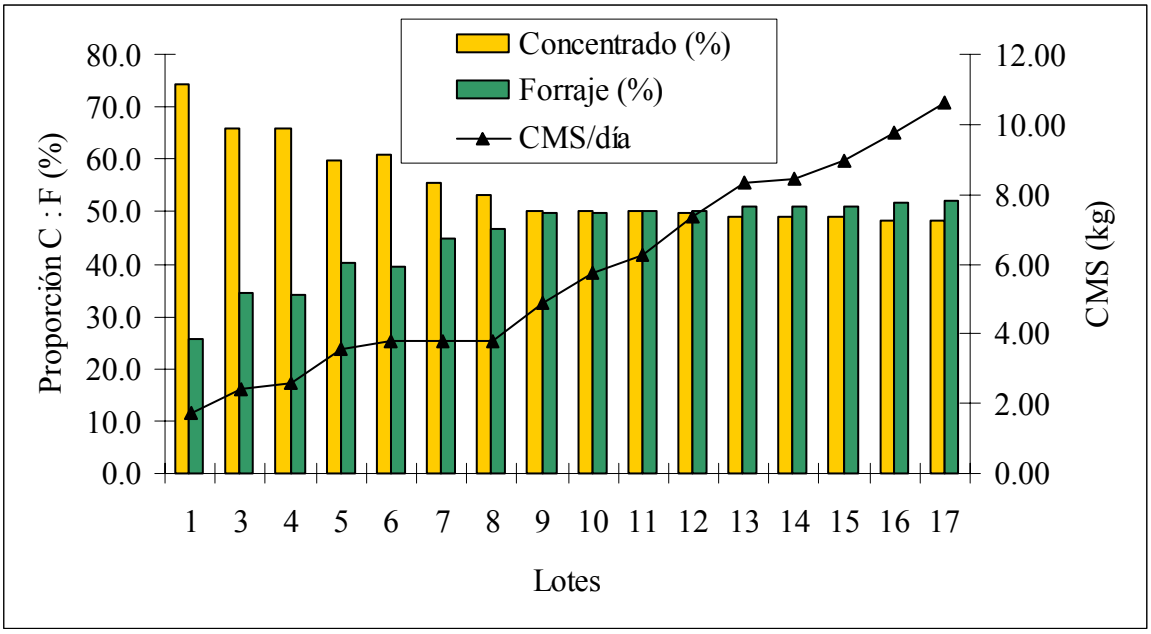
* Resultado de multiplicar el número de animales promedio por corral por el número de días que duró el estudio.

Cuadro 11. Comparación entre los resultados obtenidos y los recomendados por la NRC (2001) para consumo de materia seca y ganancia diaria de peso.

	Resultados obtenidos		NRC*		Diferencias	
Peso (kg)	GDP**	CMS/d***	GDP	CMS/d	GDP	CMS/d
100	1.0	3.0	-	-	-	-
150	0.9	4.1	0.9	4.2	0.0	-0.1
200	1.1	5.7	1.1	5.2	0.0	0.5
250	1.0	6.4	1.0	6.2	0.0	0.2
300	1.1	7.2	1.1	7.1	0.0	0.1
350	1.1	8.5	1.1	8.0	0.0	0.5
400	1.1	8.9	1.1	8.8	0.0	0.1
450	1.1	9.6	1.1	10.3	0.0	-0.7
500	1.0	10.0	1.0	11.1	0.0	-1.1
550	0.9	11.1	0.9	12.1	0.0	-1.0

* Cifras publicadas por el National Research Council (2001).
** GDP = Ganancia diaria de peso (kg/día)
*** CMS/d = Consumo diario de materia seca (kg MS/día)

El consumo de forraje en relación al consumo de concentrado (F:C) aumentó junto con la capacidad de consumo de materia seca, desde 25:75 en el lote más joven hasta una relación 52:48 en los lotes de las vaquillas preñadas (Gráfica 3).



Gráfica 3. Relación entre el consumo de concentrado y forraje, y el consumo diario para cada lote durante el período de estudio.

CORRELACIÓNES DE CONSUMO

Consumo de materia seca diario (kg/día)

Se encontró una alta correlación positiva (P<0.0001) entre el consumo diario y la altura, el peso, la edad y la ganancia diaria de peso con valores mayores al 95% en los tres primeros y de 32% en la ganancia diaria de peso (Cuadro 12).

Cuadro 12. Correlación entre el CMS/d y la edad, el peso, la altura y la ganancia diaria de peso.

Variables	Edad	Peso	Altura	GDP*
n	1,016	1,016	1,016	1,016
CCP**	0.963	0.972	0.979	0.323
Probabilidad	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

* GDP = Ganancia diaria de peso (kg/día).
** CCP = Coeficiente de Correlación de Pearson.

En cuanto a la relación entre el CMS/d y las variables climáticas, únicamente hubo dos correlaciones significativas: Temperatura (P = 0.065) e IEC (P = 0.065), ambos con una significancia de 0.038. Esto significa que las demás condiciones ambientales no tuvieron una influencia significativa en el consumo diario durante el período de estudio (Cuadro 13).

Cuadro 13. Correlación entre el CMS/d y la temperatura, la precipitación, la humedad relativa, la radiación solar, la velocidad del viento y el índice de estrés calórico.

Variables	Tempe-ratura	Precipita-ción	Humedad Relativa	Radiación Solar	Velocidad del viento	IEC*
n	1,016	1,016	1,016	1,016	1,016	1,016
CCP**	0.065	0.0043	-0.0083	0.026	0.0015	0.065
Probabilidad	0.0378	0.8913	0.7922	0.4081	0.9627	0.0376

* IEC = Índice de estrés calórico.
** CCP = Coeficiente de Correlación de Pearson.

Consumo de Materia Seca con base en el peso vivo (kg MS/100 kg PV)

Se encontró una correlación negativa alta entre el consumo de materia seca por cada 100 kg de peso y la edad, el peso y la altura; con un nivel de significancia menor a 0.001. Con la ganancia diaria de peso se puede observar una correlación negativa baja pero también altamente significativa (Cuadro 14).

Cuadro 14. Correlación entre el CMS y la edad, el peso, la altura y la ganancia diaria de peso.

Variables	Edad	Peso	Altura	GDP*
n	990	990	990	990
CCP**	-0.793	-0.785	-0.718	-0.108
Probabilidad	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0006

* GDP = Ganancia diaria de peso (kg/día).
** CCP = Coeficiente de Correlación de Pearson.

Entre el CMS y las variables climáticas se observa una correlación no significativa (P>0.05) en todos los casos (Cuadro 15).

Cuadro 15. Correlación entre el CMS y la temperatura, la precipitación, la humedad relativa, la radiación solar, la velocidad del viento y el índice de estrés calórico.

Variables	Tempe-ratura	Precipita-ción	Humedad Relativa	Radiación Solar	Velocidad del viento	IEC*
n	990	990	990	990	990	990
CCP**	0.058	-0.038	0.018	0.042	-0.012	0.059
Probabilidad	0.067	0.23	0.56	0.18	0.70	0.062

* IEC = Índice de estrés calórico.
** CCP = Coeficiente de Correlación de Pearson.

CORRELACIÓNES DE GANANCIA DIARIA DE PESO (kg/día)

La ganancia diaria de peso presenta una correlación positiva baja con la altura, el peso y la edad; altamente significativa en los tres casos (Cuadro 16).

Cuadro 16. Correlación entre la ganancia diaria de peso y la edad, el peso y la altura.

Variables	Edad	Peso	Altura
n	1,016	1,016	1,016
CCP*	0.22849	0.24109	0.27684
Probabilidad	<0.0001	<0.0001	<0.0001

* Coeficiente de Correlación de Pearson.

A diferencia del consumo de materia seca, la ganancia diaria de peso presenta una correlación, aunque muy baja, altamente significativa para todas las variables climáticas, con excepción de la precipitación (P = 0.168); de las restantes todas son positivas excepto la radiación solar que presenta una correlación negativa baja con la GDP (Cuadro 17).

Cuadro 17. Correlación entre la ganancia diaria de peso y la temperatura, la precipitación, la humedad relativa, la radiación solar, la velocidad del viento y el índice de estrés calórico.

Variables	Tempe-ratura	Precipita-ción	Humedad Relativa	Radiación Solar	Velocidad del viento	IEC*
n	1,016	1,016	1,016	1,016	1,016	1,016
CCP**	0.08095	0.04383	0.10131	-0.09623	0.08611	0.0798
Probabilidad	0.01	0.17	0.001	0.002	0.007	0.012

* IEC = Índice de estrés calórico.
** CCP = Coeficiente de Correlación de Pearson.

ANÁLISIS DE REGRESIÓN

Consumo de Materia Seca diario (kg/día)

El método de selección del R^2 muestra que el mejor modelo de predicción de la variable dependiente CMS/d es el que incluye: edad, peso, altura y ganancia diaria de peso, con un R^2 de 99.38% y un C(p) de 4.000. El análisis de varianza (Cuadro 18) muestra un ajuste alto del modelo (97.08%) al ser analizado individualmente, una variabilidad muy baja (8.09) y una significancia menor a 0.0001.

Cuadro 18. Análisis de varianza del modelo de regresión para el CMS/d.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Modelo	4	7312.45	1828.11	8405.94	<0.0001
Error	1011	219.87	0.22		
Total corregido	1015	7532.33			

Raíz CME	0.47	R^2	0.97
Media dependiente	5.77	R^2 ajustado	0.97
Coeficiente de variabilidad	8.09		

Del cuadro 19 se obtuvieron las constantes (parámetros estimados) necesarias para crear una ecuación multidimensional capaz de predecir el consumo diario de materia seca con un 97 % de acierto:

$$CMS/d = -4.832 - 0.027(EDAD) + 0.039(PESO) + 0.071(ALT) + 0.278(GDP)$$

Donde:

EDAD = edad en días.
PESO = peso en kilogramos.
ALT = altura en centímetros.
GDP = ganancia diaria de peso en kg/día.

Cuadro 19. Constantes estimadas para cada variable independiente involucrada en la predicción del CMS/d.

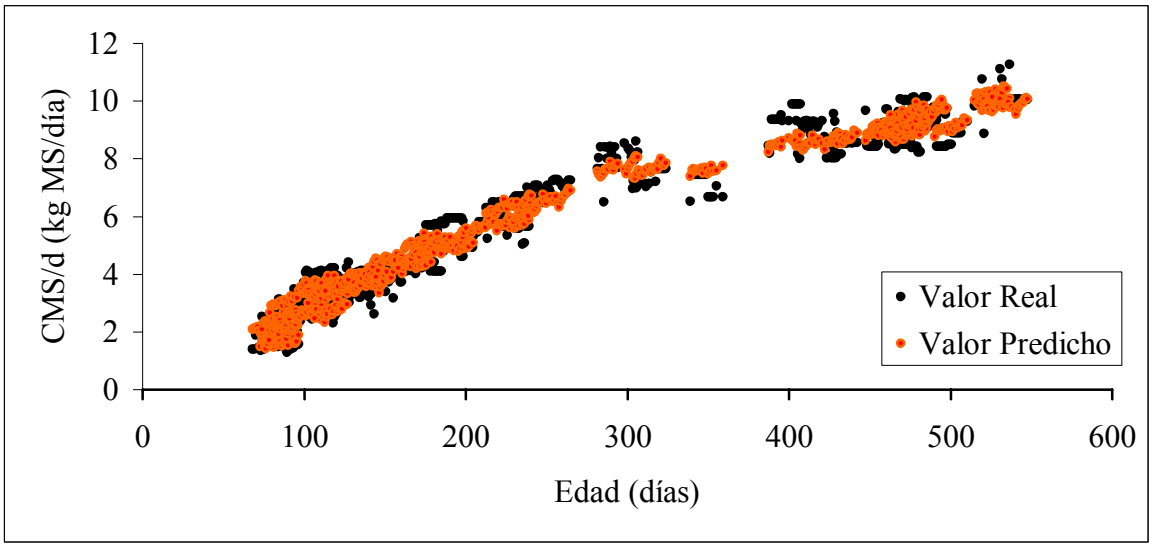
Variable	GL	Parámetro estimado	Error estándar	Valor t	Pr > |t|
Intercepto	1	-4.83	0.37	-13.18	<0.0001
EDAD (días)	1	-0.03	0.002	-12.11	<0.0001
PESO (kg)	1	0.04	0.003	14.51	<0.0001
ALT (cm)	1	0.07	0.005	15.66	<0.0001
GDP (kg/día)	1	0.28	0.101	2.74	0.0063

Los resultados del análisis de multicolinearidad para las variables independientes involucradas en el CMS/d (Cuadro 20) demuestran que hay multicolinearidad entre las variables edad y peso, o sea que éstas variables podrían tener una alta correlación entre sí y afectar el valor de la ecuación, sin embargo, el ajuste entre los valores predichos y los reales obtenidos en este estudio (Gráficas 4 y 5) demuestran el alto potencial de predicción de la ecuación.

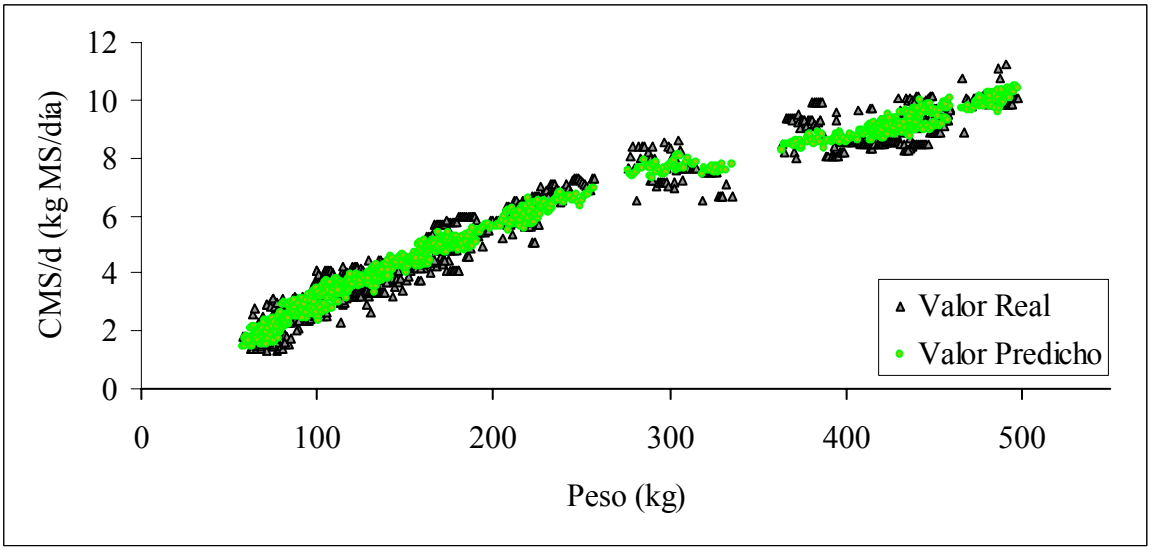
Cuadro 20. Multicolinearidad encontrada en las variables que determinan el CMS/d.

Variable	GL	Inflación de la varianza	$1/(1-R^2)$*	Multicolinearidad
Intercepto	1	-	-	-
EDAD (días)	1	549.16	34.25	Si
PESO (kg)	1	701.21	34.25	Si
ALT (cm)	1	27.07	34.25	No
GDP (kg/día)	1	1.17	34.25	No

* Parámetro utilizado para determinar la presencia de multicolinearidad.



Gráfica 4. Valores reales y predichos de consumo diario de materia seca de vaquillas Holstein de reemplazo a diferentes edades (n = 1,116).



Gráfica 5. Valores reales y predichos de consumo diario de materia seca en vaquillas Holstein de reemplazo según su peso (n = 1,116).

Consumo de Materia Seca con base en el peso vivo (kg MS/100 kg PV)

El método de selección en el caso de CMS mostró que el mejor modelo de predicción de la variable dependiente fue la ecuación que involucra las variables independientes: edad y altura; con un R^2 de 99.1% y un C(p) de 3.0000. Aunque al analizar individualmente la ecuación, el análisis de varianza (Cuadro 21) indica que las variables involucradas solo son capaces de predecir un 66.4% de la varianza en el CMS, la variabilidad es muy baja (9.3) y el modelo es altamente significativo (<0.0001).

Cuadro 21. Análisis de varianza del modelo de regresión para el CMS.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Modelo	2	114.17	57.09	976.6	<0.0001
Error	987	57.70	0.058		
Total corregido	989	171.87			

Raíz ECM	0.24	R^2	0.66
Media dependiente	2.60	R^2 ajustado	0.66
Coeficiente de variabilidad	9.30		

En el cuadro 22 se presentan los valores estimados de las variables independientes, capaces de predecir el CMS con un 66% de acierto.

CMS = 1.58356 – 0.00405(EDAD) + 0.01926(ALT)

Donde:

EDAD = Edad en días.
ALT = Altura en centímetros.

Cuadro 22. Constantes estimadas para cada variable independiente involucrada en la predicción del CMS.

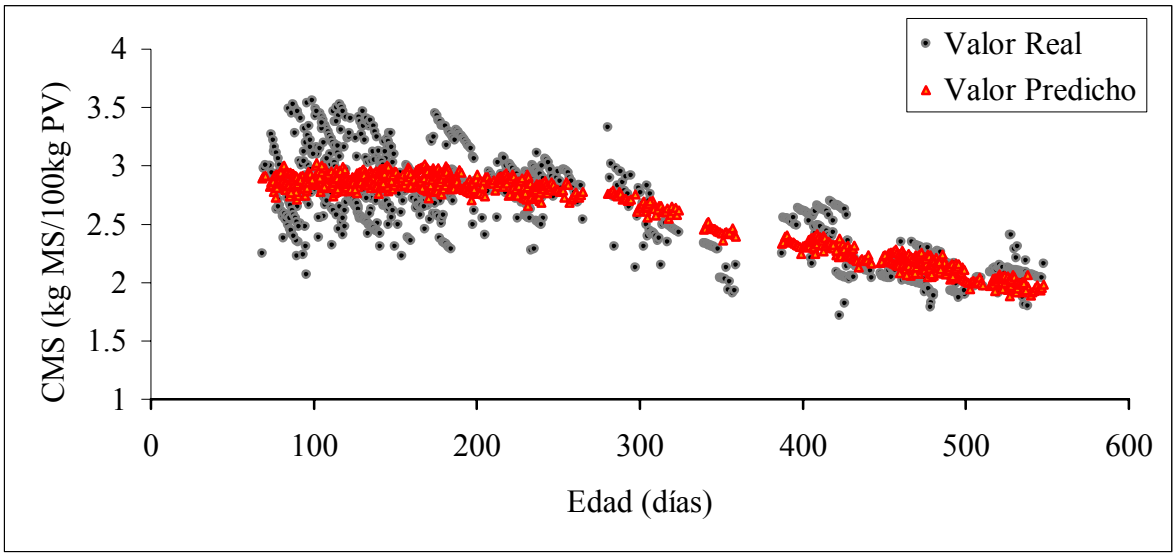
Variable	GL	Parámetro estimado	Error estándar	Valor t	Pr > |t|
Intercepto	1	1.58	0.156	10.15	<0.0001
EDAD (días)	1	-0.004	0.0002	-20.87	<0.0001
ALT (cm)	1	0.019	0.002	10.28	<0.0001

En este caso se encontró multicolinearidad entre las dos variables involucradas en la ecuación (Cuadro 23). Ésta puede ser atribuida a la relativamente alta variabilidad de los datos reales que puede ser claramente observada al comparar los valores reales con los valores estimados por la ecuación en las gráficas 6 y 7.

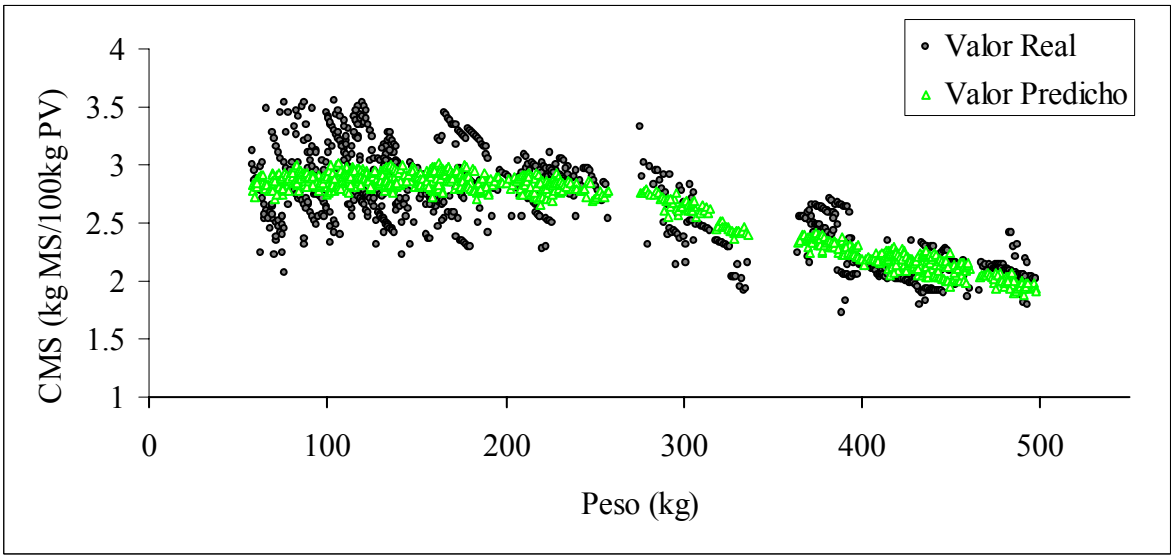
Cuadro 23. Multicolinearidad encontrada en las variables que determinan el CMS.

Variable	GL	Inflación de la varianza	$1/(1-R^2)$*	Multicolinearidad
Intercepto	1	-	-	-
EDAD (días)	1	15.46	2.98	Si
ALT (cm)	1	15.46	2.98	Si

* Parámetro utilizado para determinar la presencia de multicolinearidad.



Gráfica 6. Valores reales y predichos de consumo de materia seca con base en peso vivo de vaquillas Holstein de reemplazo a diferentes edades (n = 990).



Gráfica 7. Valores reales y predichos de consumo de materia seca con base en el peso vivo de vaquillas Holstein de reemplazo según su peso (n = 990).

CONCLUSIONES

El consumo total de materia seca es similar al esperado de acuerdo a los estándares de el NRC y no fue influenciado por las variables climáticas durante el estudio.

El consumo en función del peso vivo estuvo en los rangos aceptados por el NRC y no fue influenciado por las variables climáticas.

El desempeño animal no estuvo influenciado por las variables climáticas, a excepción de la GDP que además demuestra un excelente desarrollo de las vaquillas, similar al valor máximo recomendado por el NRC.

RECOMENDACIONES

Realizar el estudio durante la época de verano para determinar la influencia del estrés calórico en el consumo y desempeño de las vaquillas de reemplazo.

Realizar un estudio retrospectivo del desempeño reproductivo de las vaquillas de reemplazo criadas en diferentes épocas del año.

BIBLIOGRAFÍA

Abeny, F.; Calamari, L.; Stefanini, L.; Pirlo, G. 2000. Effects of daily gain in pre and post pubertal replacement dairy heifers on body condition score, body size, metabolic profile, and future milk production. J. Dairy Sci. 83:1468–1478.

Church, D.; Pond, W. 1987. Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. México, D.F. Limusa. 438 p.

Freund, R; Littell, R. 1991. SAS® System for Regression. 2nd ed. S.A.S. Inst., Inc., Cary, N.C. 210 p.

Hahn, G.L. 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. J. Anim. Sci. 77(Suppl. 2):10.

Harris, B.; Shearer, J. 1993. Raising dairy replacement heifers. Circular 770. Florida cooperative extension service. IFAS. University of Florida, Gainesville. 18 p.

Head, H. 1999. Large dairy herd management: Heifer performance standards: rearing systems, growth rates and lactation. Ed. por Van Horn and Wilcox. Savoy, IL., USA. American dairy science association. 826 p.

Heinrichs, A.; Wells, S.; Hurd, H.; Hill, G.; Dargatz, D. 1994. The National Dairy Heifer Evaluation Project: A Profile of Heifer Management Practices in the United States. J. Dairy Sci. 77(6):1548-1555.

James, R. 1998. Critical issues in nutritional management of dairy heifers. Texas animal nutrition council (en línea). Estados Unidos. Consultado el 12 de septiembre de 2003. Disponible en: http://www.txanc.org/proceedings/1998/criticalissues.pdf.

James, R. 2001. Growth standards and nutrient requirements for dairy heifers - weaning to calving. Advances in Dairy Technology. 13:63.

NRC. 2001. Washington D.C. National Academic Press. 7th Revised Edition. 381 p.

S.A.S. 2002. S.A.S® User Guide: Statistics S.A.S. Inst., Inc., Cary, N.C.

Staples, C. 1988. Microwave drying for measurement of forage moisture (en línea). Gainesville, FL, Estados Unidos. Consultado el 28 de enero de 2003. Disponible en: http://edis.ifas.ufl.edu/BODY_DS158.

UCLA, 2003. Regression with SAS. Academic technology services (en línea). Estados Unidos. Consultado el 19 de octubre de 2003. Disponible en: http://www.ats.ucla.edu/stat/sas/webbooks/reg/chapter1/annotated2.htm

Vélez, M.; Hincapié, J.J.; Matamoros, I.; Santillán, R. 2002. Producción de ganado