

**SIMULACIÓN DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS EN SISTEMAS DE CRÍA VACUNA EN
EL VALLE BONAERENSE DEL RÍO COLORADO**

Ing. Agr. Sebastián Oriente

Trabajo de Tesis para ser presentado como requisito parcial para optar al Título de
MAGISTER en PRODUCCIÓN ANIMAL

Área de Producción y Sanidad Animal

PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS AGRARIAS

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MAR DEL PLATA**

Balcarce, Argentina

Mayo 2014

**SIMULACIÓN DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS EN SISTEMAS DE CRÍA
VACUNA EN EL VALLE BONAERENSE DEL RÍO COLORADO**

Ing. Agr. Sebastián Oriente

Julio C. Burges, Med. Vet., M. Sc.
Director de Tesis

Claudio F. Machado, Med. Vet., M. Sc., Ph. D.
Co-Director de Tesis

Claudia Faverín, Lic. Biol., M. Sc.
Asesor

**SIMULACIÓN DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS EN SISTEMAS DE CRÍA
VACUNA EN EL VALLE BONAERENSE DEL RÍO COLORADO**

Ing. Agr. Sebastián Oriente

Aprobada por:

Feldkamp, Cristian R., Ing. Agr., Dr. rer. agr.
Evaluador

Santini, Francisco J., Ing. Agr., M. Sc., Ph. D.
Evaluador

Späth, Ernesto J. A., Med. Vet., Ph. D.
Evaluador

DEDICATORIA

A mi némesis Cronos... el momento de Kairos ha llegado.

Quiero hacer propias las siguientes palabras que representan bastante bien lo que ha sucedido.

He redactado esta carta "tesis" más extensa de lo usual porque carezco de tiempo para escribirla más breve.

Blaise Pascal (1623 - 1661).

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a:

Mi familia y amigos;

Compañeros de oficina y amigos del posgrado;

Director de tesis y comite asesor;

Jurado de evaluación;

Grupo de sistemas de la E.E.A. Balcarce;

Grupo de sistemas de la FCV-UNCPBA;

Grupo de producción animal de la E.E.A. Hilario Ascasubi;

INTA y Facultad de Ciencias Agrarias de Balcarce;

Grupo de Agrodiversidad de la Cátedra Realidad Agrícola Ganadera de la FCA-UNC;

Todos los que de alguna manera colaboraron para que esta tesis se llevara a cabo;

Todos los que se bancaron un “NO PUEDO, ESTOY CON LA TESIS”.

A todos muchas gracias.

INDICE

ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS DEL APÉNDICE	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS DEL APÉNDICE	xiv
LISTADO DE ABREVIATURAS, SIGLAS Y SÍMBOLOS	xv
RESUMEN	xix
ABSTRACT	xxi
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Hipótesis	5
1.2. Objetivos Generales	5
1.3. Objetivos Específicos	5
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. Producción de leche	6
2.1.1. Influencia del genotipo en la producción de leche	8
2.1.2. Influencia de la edad de la vaca en la producción de leche	9
2.1.3. Influencia del sexo de la cría en la producción de leche	10
2.1.4. Influencia de la calidad de forraje en la producción de leche	11
2.1.5. Relación condición corporal – producción de leche	13
2.1.6. Demanda nutricional para producción de leche en vacas de cría	14
2.2. Alimentación del ternero	15
2.2.1. Amamantamiento	15

2.2.2.	Relación leche – forraje en la alimentación del ternero.....	19
2.3.	Implicancias generales	24
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1.	Desarrollo del Sub-Modelo del par vaca-ternero en el período de lactancia .	25
3.2.	Simulación de alternativas de manejo en sistemas de cría vacuna del Valle Bonaerense del Río Colorado	27
3.2.1.	Edad de destete	28
3.2.2.	Suplementación de Vientres	28
3.2.3.	Niveles de carga animal	29
3.2.4.	Características del establecimiento simulado	30
3.2.5.	Características de los animales y manejo.....	31
3.2.6.	Datos Económicos.....	33
3.2.7.	Variables Evaluadas.....	34
4.	RESULTADOS	35
4.1.	Desarrollo del Sub-Modelo del par vaca-ternero en el período de lactancia .	35
4.1.1.	Producción de leche	35
4.1.2.	Representación del consumo de leche	43
4.1.3.	Representación de consumo de forraje del ternero lactante	45
4.1.4.	Interacciones producción de leche, consumo de leche y forraje	47
4.1.5.	Simulación del par vaca-ternero con el Sub-Modelo.....	54
4.2.	Impacto productivo y económico del momento de destete y la suplementación en sistemas de cría del Valle Bonaerense del Río Colorado	57
4.2.1.	Tasa de preñez.....	57
4.2.2.	Condición corporal.....	58
4.2.3.	Variación del peso vivo en terneros y terneras	60
4.2.4.	Producción y venta anual de carne.....	61
4.2.5.	Indicadores Económicos.....	67
5.	DISCUSIÓN	69
5.1.	Impacto productivo y económico del momento de destete y la suplementación en sistemas de cría del Valle Bonaerense del Río Colorado	69
5.2.	Modelo vaca-ternero.....	75

5.3.	Simulación del par vaca-ternero con el Sub-Modelo.....	81
5.4.	Dificultades y fortalezas de la modelación para el diseño y estudio de sistemas productivos.....	83
6.	CONCLUSIONES	85
7.	BIBLIOGRAFÍA	86
8.	APÉNDICE	103
8.1.	Descripción general del funcionamiento del simulador SimuGan.....	103
8.2.	Subsistema biofísico.....	104
8.3.	Reglas de manejo.....	109
8.4.	Subsistema económico.....	110
8.5.	Ejecución del modelo.....	110
8.6.	Datos y valores usados en las simulaciones.....	111
8.6.1.	Insumos utilizados.....	114
8.6.2.	Precios de los animales (Compras – Ventas).....	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Producción media acumulada de leche durante la lactancia según raza.....	9
Tabla 2: Efecto del nivel de energía consumida por la vaca en la producción de leche en el pico de lactancia y en la producción total de leche, en razas productoras de carne adaptado de Jenkins y Ferrell (1992).....	12
Tabla 3: Siglas de los tratamientos y factores estudiados.....	27
Tabla 4: Calidad nutricional de silaje de planta entera de sorgo utilizado como suplemento para vacas y vaquillonas gestantes (Marinissen; Garcia, 2007).....	28
Tabla 5: Asignación diaria de forraje y de suplemento expresada como porcentaje del peso vivo (% <i>PV</i>) para cada mes del año.	29
Tabla 6: Cantidad de animales por categoría que conforman el rodeo inicial de baja, media y alta carga	29
Tabla 7: Composición inicial de la masa forrajera de los potreros (kg MS ha ⁻¹).	30
Tabla 8: Calidad nutricional de los diferentes componentes de la masa forrajera (porcentaje de la masa).	31
Tabla 9: Tasa de crecimiento diario de biomasa aérea (kg MS ha ⁻¹ día ⁻¹) determinada como media de cada mes del año (Sevilla <i>et al.</i> , 2001).	31
Tabla 10 Constantes para ecuaciones de producción de leche (<i>qn</i>)	37
Tabla 11 Constantes para ecuaciones de composición de leche y demanda de energía y proteína para su producción, *valores de referencia (NRC, 2000).	39
Tabla 12 Constantes <i>qn</i> para ecuaciones de composición de leche y demanda de energía y proteína para su producción (Fox <i>et al.</i> , 1988).	39
Tabla 13: Constantes para ecuaciones de reservas corporales (<i>qn</i>) (Fox <i>et al.</i> , 1988).	42
Tabla 14: Constantes para ecuaciones de consumo de leche (<i>qn</i>) (Tedeschi; Fox, 2009).	45
Tabla 15: Constantes para ecuaciones de consumo de forraje (<i>qn</i>) (Tedeschi; Fox, 2009).	46
Tabla 16: Variables y parámetros del modelo (Blanc <i>et al.</i> , 2000)	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estimación del consumo de leche de terneros al pie de su madre por la técnica de pesado de la cría pre y post amamantamiento. Datos de varios autores.	7
Figura 2: Curvas de producción láctea en bovinos de razas para carne adaptado de Mezzadra <i>et al.</i> (1989) en vacas F1 Angus-Hereford y recíprocas, izquierda y adaptado de Jenkins y Ferrell (1984), derecha.....	8
Figura 3: Efecto de la edad de la vaca “ <i>x</i> ” sobre la proporción relativa de la producción total de leche “ <i>PTL</i> ”. Elaborado con datos de Dawson <i>et al.</i> (1960); Melton <i>et al.</i> (1967) y Boggs <i>et al.</i> (1980).....	10
Figura 4: Efecto del sexo de la cría en la producción de leche de su madre durante la lactancia, adaptado de Melton <i>et al.</i> (1967).	11
Figura 5: Evolución de la producción de leche durante la lactancia para dos años sucesivos y dos pasturas diferentes adaptado de Cairnie (1979).	12
Figura 6: Evolución de la condición corporal durante la lactancia en vacas de cría de 3 a 10 años de edad, elaborado con datos de Renquist <i>et al.</i> (2006).	13
Figura 7: Efectos del nivel productivo y la raza del padre en la evolución de la condición corporal de vacas crucea ($\frac{1}{2}$ Hereford, $\frac{1}{2}$ Angus; $\frac{1}{4}$ Brahman, $\frac{1}{4}$ Angus, $\frac{1}{2}$ Hereford; $\frac{1}{4}$ Brahman, $\frac{1}{4}$ Hereford, $\frac{1}{2}$ Angus) en lactancia, adaptado de Minick <i>et al.</i> , (2001).....	14
Figura 8: Efecto del nivel de producción de leche y raza de la vaca en la evolución del peso vivo de terneros lactantes, adaptado de Minick <i>et al.</i> (2001).	16
Figura 9: Evolución del porcentaje de energía bruta consumida por terneros lactantes proveniente de la leche, adaptado de Cauhépé (1978).....	18
Figura 10: Consumo de energía digestible proveniente del forraje en relación al consumo de energía digestible proveniente de la leche y a la calidad del forraje en terneros lactantes, adaptado de Holloway <i>et al.</i> (1982).....	20
Figura 11: Evolución del consumo de forraje para terneros que pastorean sobre pasturas altas (<i>a</i>) o bajas (<i>b</i>), y cuyas madres disponen de pasturas altas (<i>A</i>) o bajas (<i>B</i>), adaptado de Wright y Russel (1987).	22
Figura 12: Efecto de la altura del forraje <i>A</i> alto y <i>B</i> bajo que pastorean vacas y del forraje <i>a</i> alto y <i>b</i> bajo que pastorean sus crías, sobre la evolución de la producción de leche durante la lactancia, adaptado de Wright y Russel (1987).....	23
Figura 13: Curvas de lactancia para vacas de cinco niveles de potencial productivo de leche (razas carniceras británicas y continentales) caracterizadas por el pico medio de lactancia (<i>MPDL</i>).....	36
Figura 14: Efecto de tres edades de la vaca (<i>Ev</i>) y del potencial de producción lechera (<i>MPDL</i>) en la evolución de la producción de leche.....	38

Figura 15: Efecto de la composición de la leche caracterizada por el pico de grasa en leche (P_{gl}) y del potencial de producción lechera ($MPDL$) de la madre, sobre el requerimiento de energía metabolizable para producción de leche.	40
Figura 16: Efecto de la composición de la leche caracterizada por el pico de proteína en leche (P_{pl}) y del potencial de producción lechera ($MPDL$) de vacas de 6 años de edad, sobre el requerimiento de proteína neta para producción de leche.	40
Figura 17: Efecto de la condición corporal (CC) y la edad de la vaca (Ev) en la disponibilidad de reservas corporales para ser movilizadas.....	43
Figura 18: Efecto del potencial de producción láctea de la madre ($MPDL$), sobre el consumo de leche del ternero (Cl) durante la lactancia.	44
Figura 19: Efecto de la calidad del forraje expresada como digestibilidad ($DigF$) y del potencial de producción lechera ($MPDL$) de la madre sobre el consumo de forraje (CMS_f) del ternero lactante.....	46
Figura 20: Efecto de la calidad del forraje expresado como digestibilidad ($DigF$) y del potencial de producción lechera ($MPDL$) de la madre sobre la variación diaria de peso vivo ($VDPV$) del ternero lactante.....	47
Figura 21: Diferencia entre producción potencial y ajustada de leche, determinada por la capacidad de ingestión de leche del ternero (CII) y la producción potencial de leche de su madre (PDL_d) a través del efecto de la leche remanente (lr).	51
Figura 22: Efecto de la calidad de forraje caracterizada por la digestibilidad ($DigF$) y el potencial productivo de leche de la madre ($MPDL$), en la evolución del consumo de leche por el ternero lactante.	52
Figura 23: Efecto del peso vivo al nacimiento (PV_n) del ternero y el potencial productivo de leche de su madre ($MPDL$) sobre la evolución del consumo de leche del mismo.....	52
Figura 24: Efecto del peso vivo al nacimiento (PV_n) del ternero y el potencial productivo de leche de su madre ($MPDL$) sobre la evolución del consumo de forraje del mismo.	53
Figura 25: Efecto de la calidad del forraje, caracterizado por su digestibilidad ($DigF$) y el potencial de producción láctea de la madre ($MPDL$), sobre la evolución del peso vivo del ternero lactante.....	53
Figura 26: Esquema general del Sub-Modelo	54
Figura 27: Predicción del consumo de leche de terneros lactantes por el Sub-Modelo (línea discontinua) y datos de la bibliografía (puntos).	55
Figura 28: Predicción de la evolución del peso vivo de terneros lactantes por el Sub-Modelo (línea discontinua) y datos de la bibliografía (puntos).....	55
Figura 29: Concordancia entre la predicción del consumo de leche de terneros lactantes por el Sub-Modelo y datos experimentales de la bibliografía. Los puntos	

representan datos de Bidart <i>et al.</i> (1971); Cauhépé (1978); Cairnie (1979) y Hickson <i>et al.</i> (2009b) y la línea punteada representa $\beta_1=1$	56
Figura 30: Relación entre el peso vivo de terneros obtenidos por simulación y los datos experimentales de la bibliografía. Los puntos representan datos de Cairnie (1979); Mezzadra <i>et al.</i> (1989); Hickson <i>et al.</i> (2009b) y Hötzel <i>et al.</i> (2010) y la línea punteada representa $\beta_1=1$	57
Figura 31: Tasa de preñez media (%) para experimentos con destete convencional, (izquierda) y precoz (derecha) a diferente carga animal y con uso de silaje complementario (negro) o sin uso de silaje (blanco).	58
Figura 32: Variación de la condición corporal (CC) media, de vacas multíparas, en cargas baja (0,2 EV ha ⁻¹), media (0,4 EV ha ⁻¹) y alta (0,6 EV ha ⁻¹), para experimentos con destete convencional (DC), precoz (DP), y con uso de silaje complementario (CON) y sin uso de silaje (SIN).	59
Figura 33: Variación de la condición corporal (CC) media, en cargas baja (0,2 EV ha ⁻¹), media (0,4 EV ha ⁻¹) y alta (0,6 EV ha ⁻¹), de rodeos con destete convencional (DC) o precoz (DP), y con uso de silaje complementario CON o sin uso de silaje (SIN).	60
Figura 34: Variación diaria de peso vivo (VDPV) de terneros y terneras en cargas baja (0,2 EV ha ⁻¹), media (0,4 EV ha ⁻¹) y alta (0,6 EV ha ⁻¹), para experimentos de destete convencional (DC) y precoz (DP), con suplementación(CON) y sin uso de silaje (SIN) en los vientres.	61
Figura 35: Producción de carne (kg ha ⁻¹) en cargas baja, media y alta, para experimentos de destete convencional y precoz, con uso de silaje complementario (negro) o sin uso de silaje (blanco).	62
Figura 36: Producción y venta de carne (kg ha ⁻¹) para experimentos de destete convencional (izquierda) y precoz (derecha), a diferente carga animal y con uso de silaje complementario (negro) o sin uso de silaje (blanco).	63
Figura 37: Venta de carne de vacas (kg ha ⁻¹) para experimentos con destete convencional (izquierda) y precoz (derecha) a diferente carga animal y con uso de silaje complementario (negro) o sin uso de silaje (blanco).	64
Figura 38: Número de vacas vendidas (Cab) en rodeos con destete convencional, (izquierda) y precoz (derecha) a diferente carga animal, y con uso de silaje complementario (negro) o sin uso de silaje (blanco).	64
Figura 39: Peso medio de las vacas vendidas (kg) para experimentos con destete convencional (izquierda) y precoz (derecha) a diferente carga animal y con uso de silaje complementario (negro) o sin uso de silaje (blanco).	65
Figura 40: Venta de carne de terneros y terneras (kg ha ⁻¹) para experimentos con destete convencional (izquierda) y precoz (derecha), a diferente carga animal y con uso de silaje complementario, (negro) o sin uso de silaje (blanco).	66
Figura 41: Número de terneros y terneras vendidos (Cab), para experimentos con destete convencional, (izquierda) y precoz (derecha) a diferente carga animal y con uso de silaje complementario, (negro) o sin uso de silaje (blanco).	66

Figura 42: Peso medio de los terneros y terneras vendidos (kg), para experimentos con destete convencional, (izquierda) y precoz (derecha) a diferente carga animal y con uso de silaje complementario, (negro) o sin uso de silaje (blanco)..... 67

Figura 43: Margen Bruto (**MB**) en \$ ha⁻¹ indexado a mayo 2012, para rodeos con destete convencional (izquierda) y precoz (derecha) a diferente carga animal y con uso de silaje complementario (negro) o sin uso de silaje (blanco). 67

Figura 44: Rentabilidad Productiva (**RP**), para experimentos con destete convencional, (izquierda) y precoz (derecha) a diferente carga animal y con uso de silaje complementario (negro) o sin uso de silaje (blanco). 68

ÍNDICE DE TABLAS DEL APÉNDICE

Tabla I: Calendario Sanitario.....	111
Tabla II: Costos insumos veterinarios, vacunas (\$ ds ⁻¹), antiparasitarios (\$ cc ⁻¹) y tacto (\$ cab ⁻¹). (Fuente Revista Marca Líquida N°214 al 225).....	112
Tabla III: Gastos de estructura (\$ mes ⁻¹) o total anual (\$ año ⁻¹).....	113
Tabla IV: Costos promedio de alimentos comprados (\$ kg MS ⁻¹).....	114
Tabla V: Costo de los insumos y labores necesarios para la implantación de pasturas	114
Tabla VI: Valor promedio de las categorías animales para todo el período simulado (\$ kg ⁻¹) y desvío estándar (DS).	115

ÍNDICE DE FIGURAS DEL APÉNDICE

Fig. I: Estructura del modelo de simulación SimuGan (Machado et al., 2010).....	104
Fig. II: Dinámica de la acumulación de pastura usado en el simulador adaptado de Barioni <i>et al.</i> (1999).	105
Fig. III: Esquema general de cómo se estiman e integran las diferentes restricciones al consumo en el simulador (líneas continuas indican los flujos, líneas de puntos indican la influencia) adaptado de Machado (2004).	106
Fig. IV: Distribución de la partición del consumo de energía (NRC, 1996).	107
Fig. V: Factores y estructura del modelo reproductivo de Machado <i>et al.</i> (2009) basado en Kahn y Lehrer (1984).	108
Fig. VI: Aspecto general de la pantalla con los botones para carga de datos.....	111

LISTADO DE ABREVIATURAS, SIGLAS Y SÍMBOLOS

- A:** Parámetro de Wood para la curva de producción de leche
- a' :** Parámetro de la ecuación CMS_l
- b:** Parámetro de Wood para la curva de producción de leche
- b' :** Parámetro de la ecuación CMS_l
- β :** Sensibilidad de la ubre a la leche remanente (células $\text{kg}^{-1} \text{h}^{-1}$)
- bl :** Exponente al cual se eleva la base del logaritmo, dependiente de la edad de la vaca
- c:** Parámetro de Wood para la curva de producción de leche
- c' :** Parámetro de la ecuación CMS_l
- CA:** Carga alta ($0,6 \text{ EV ha}^{-1}$)
- Cab:** Cabezas de ganado (número de animales)
- CB:** Carga baja ($0,2 \text{ EV ha}^{-1}$)
- CC:** Condición corporal (Esc.: 1-9)
- CC_l :** Condición corporal limitada a un máximo en 5 para la acumulación de proteína
- CD:** Costo directo ($\$ \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$)
- C_f :** Consumo de forraje
- CI:** Capital invertido
- CI_f :** Capacidad de ingestión de forraje del ternero lactante (kg)
- CI_l :** Capacidad de ingestión de leche del ternero lactante, en cada succión (kg)
- C_l :** Consumo de leche del ternero
- CM:** Carga media ($0,4 \text{ EV ha}^{-1}$)
- cm^3 :** Centímetros cúbicos (unidad de volumen)
- CMS_f :** Consumo de forraje por el ternero (kg MS d^{-1})
- CMS_l :** Consumo potencial de leche por el ternero (kg MS d^{-1})
- CON:** Con uso de suplemento (Silaje planta entera de sorgo) en hembras vientres
- CUT:** Vaca que cría el último ternero
- d:** Día
- DC:** Destete convencional (6 meses de edad del ternero)
- δ :** Tasa de llenado de la ubre (kg h^{-1})
- ΔN_s :** Tasa de variación del número de células secretoras en la ubre (células h^{-1})
- DEP:** Diferencia Esperada de Progenie

- DIFA:** Diferencia de inventario de animales
- DigF:** Digestibilidad del forraje (% MS)
- DP:** Destete precoz (2 meses de edad del ternero)
- DPL:** Día del pico de lactancia desde el parto (d)
- EB:** Energía Bruta (Mcal)
- ED:** Energía digestible (Mcal)
- ED_F:** Energía digestible del forraje (Mcal kg MS⁻¹)
- EEA:** Estación Experimental Agropecuaria
- elu:** Leche que extrae el ternero por succión (kg)
- EM:** Energía Metabolizable (Mcal)
- EN:** Energía Neta (Mcal)
- EV:** Equivalente Vaca
- E_v:** Edad de la vaca (años)
- Fb:** Factor de ajuste relativo a un biotipo dentro de una raza en particular, por defecto es 5 (la escala va de 1, extremadamente baja para la raza a 9 extremadamente alta para la raza)
- g:** Gramo (unidad de masa)
- G_{cv}:** Grasa en el cuerpo vacío (%)
- G_d:** Grasa en el cuerpo vacío disponible para movilización (%)
- GDPV_t:** Ganancia diaria de peso vivo de terneros (kg d⁻¹)
- g_l:** Es grasa en leche (%) un determinado día *t* de la lactancia
- G_m:** Grasa corporal que puede ser movilizada (kg)
- ha:** Hectárea
- IB:** Ingreso Bruto (\$ ha⁻¹ año⁻¹)
- IN:** Ingreso Neto (\$ ha⁻¹ año⁻¹)
- INTA:** Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
- K1:** Flujo de llenado de la ubre (kg h⁻¹)
- kg:** Kilogramo (unidad de masa)
- λ:** Tasa de degradación de células basales (células h⁻¹)
- LCu:** Leche contenida en la ubre (kg)
- LCu₁₂:** Leche contenida en la ubre a la hora 12 justo antes de la succión
- LCu₂₄:** Leche contenida en la ubre a la hora 24 justo antes de la succión
- LCu_{max}:** Máxima capacidad de contener leche de la ubre (kg)
- l_l:** Lactosa en leche (%) un determinado día *t* de la lactancia

- lr***: Leche remanente, acumulada (kg)
- lr*₁₂**: Leche que queda como remanente luego de la succión a la hora 12
- lr*₂₄**: Leche que queda como remanente luego de la succión a la hora 24
- MA***: Masa de cenizas (kg)
- MB***: Margen Bruto (\$ ha⁻¹ año⁻¹)
- Mcal***: Mega Calorías (unidad de energía)
- MO***: Materia orgánica
- MPDL***: Media del nivel de producción en el pico de lactancia para la raza (kg d⁻¹)
- MS***: Materia Seca
- MS_L***: Materia seca de la leche
- μ***: Tasa de división celular (células h⁻¹)
- Ns***: Número de células secretoras
- NsMax***: Número máximo de células secretoras
- Ns_{ini}***: Número de células secretoras de leche con el que comienza la lactancia
- PB***: Proteína Bruta (%)
- PBI***: Producto Bruto Interno
- P_{cv}***: Peso del cuerpo vacío (kg)
- P_{cvA}***: Peso del cuerpo vacío ajustado por reserva de proteínas
- PDL***: Producción de leche
- PDL_a***: Producción de leche ajustada por *lr* (kg d⁻¹)
- PDL_d***: Producción diaria de leche (kg d⁻¹)
- PDL_d***: Producción de leche en el tiempo (kg d⁻¹)
- PDL_h***: Producción de leche en el tiempo (kg h⁻¹)
- PDR***: Proteína Degradable en Rumen (% de la masa)
- Pg_l***: Pico de grasa en leche (%) definido por usuario
- pl***: Proteína en leche (%) un determinado día *t* de la lactancia
- PL***: Pico de lactancia de la vaca ajustado por el nivel de producción dentro de la raza (kg d⁻¹)
- PNDR***: Proteína No Degradable en Rumen (% de la masa)
- POO***: Programación Orientada a Objeto (Paradigma de programación)
- Pp_l***: Pico de proteína en leche (%) definido por usuario
- \$***: Pesos Argentinos (moneda)
- Pt***: Proteína en el cuerpo (kg)
- Pt_{cv}***: Proteína en el cuerpo vacío (%)

- Pt_{cvA}** : Proteína en el cuerpo vacío ajustada por la reserva de grasa
- Pt_d** : Proteína corporal disponible ajustada por CC
- PTL** : Producción total de leche (kg)
- Pt_m** : Proteína corporal que puede ser movilizada (kg)
- PV** : Peso vivo del animal (kg)
- PV_l** : Peso vivo del ternero lactante (kg)
- PV_n** : Peso vivo al nacimiento (kg)
- q_n** : Constante
- REM_l** : Requerimiento de energía metabolizable para producción de leche ($Mcal\ d^{-1}$)
- RP** : Rentabilidad Productiva
- SIN** : Sin uso de suplemento (Silaje planta entera de sorgo) en hembras vientres
- TE_{rc}** : Total de energía de las reservas corporales (Mcal)
- Ts** : Tasa de síntesis láctea de cada célula secretora ($kg\ h^{-1}$)
- VBRC**: Valle Bonaerense del Río Colorado
- $VDPV$** : Variación diaria de peso vivo ($kg\ d^{-1}$)
- t** : Tiempo

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar mediante simulación el impacto productivo y económico de diferentes tecnologías propuestas para intensificar la ganadería de cría vacuna en el Valle Bonaerense del Río Colorado (*VBRC*). Se utilizó el programa SimuGan (<http://simugan.vet.unicen.edu.ar>), al cual se incorporó un Sub-Modelo desarrollado en el marco de la tesis que contempla mecanismos relacionados a la producción de leche y su regulación, y al consumo de leche y forraje por los terneros. El Sub-Modelo permitió representar adecuadamente el consumo de leche y la evolución del peso vivo de los terneros, lo cual fue corroborado comparando los datos simulados con datos de campo extraídos de la bibliografía. Posteriormente, se simularon 12 manejos alternativos resultantes de la combinación de diferentes edades de destete (destete convencional, *DC* y destete precoz, *DP*), niveles de suplementación con silaje de sorgo a los vientres (*SIN* y *CON* suplementación al 1,5 % del peso vivo) y carga animal (0,2; 0,4 y 0,6 EV ha⁻¹) en un campo representativo del *VBRC* (400 ha de pastizal y 300 ha pastura, rodeo Angus de 5 años de edad promedio con entore de octubre a diciembre y 13,5 % de vaquillonas para reposición cuya edad al primer servicio fue 22 meses). Los resultados de las simulaciones mostraron que la condición corporal fue mayor en vacas con *DP* que en aquellas con *DC* y el *CON* sólo la mejoró en cargas altas. La tasa de preñez mejoró, en promedio 2 % por la aplicación de *DP*, mientras que *CON* tuvo poco efecto. La variación diaria del peso vivo de los terneros no se modificó por *CON* en las madres ni debido a la carga animal, pero en terneros *DC* fue 7,8 a 9,2 % mayor que en *DP*. La producción de carne se incrementó principalmente por el aumento de carga animal (174,5 % entre 0,2 y 0,6 EV ha⁻¹), pero también por *DP* (24,5 %) y por *CON* (7,8 %). Sin embargo, la venta de carne no mejoró con *DP* y/o *CON*. El número de vacas vendidas en rodeos con *DP* fue 6,6 % menor, pero su peso fue 13,1 % mayor al de las *DC*. Por otra parte, el *CON* incrementó el número promedio de vacas vendidas 5,5 % y su peso 2 %. En los rodeos con *DP* en comparación con los *DC* se vendieron, en promedio, más terneros (6,2 %) pero fueron más livianos (10 %). En líneas generales el margen bruto disminuyó con el *CON*, excepto en *DP* con cargas medias y altas. La máxima rentabilidad productiva fue para el rodeo *DC* con carga media y sin uso de suplemento. Se concluye que 1) El Sub-Modelo desarrollado representa aceptablemente la producción láctea y el consumo de leche y forraje por los terneros, con el consecuente efecto en vientres y crías, 2) el destete precoz sistemático no mejoró el resultado productivo (venta de carne) en comparación con el destete convencional, 3) el uso de

silaje de sorgo durante otoño-invierno mejoró el resultado productivo pero no el económico, 4) la mayor carga animal mostró los mayores índices productivos y el mejor margen bruto, pero no podría ser sostenida en el tiempo (disponibilidad de forraje), además la carga media presentó la mejor rentabilidad productiva.

Palabras clave: producción de carne, lactancia, destete, carga animal, resultado económico.

ABSTRACT

The aim of this study was to simulate the productive and economic impacts of different management technologies to intensify cow-calf systems in the Buenos Aires Valley of the Colorado River (*BAVCR*). The model SimuGan (<http://simugan.vet.unicen.edu.ar>) was used to simulate the cow-calf farms. A Sub-Model was developed, calibrated and incorporated by the present thesis, to improve the predictions of mechanisms related to milk production and its regulation, and also milk and forage intake by calves. The Sub-Model represented adequately available field data about milk intake and liveweight changes of calves. With the new version of SimuGan 12 alternative managements were simulated based on weaning calf age (conventional weaning, *CW* and early weaning, *EW*), levels of sorghum silage supplementation to dams (0 % *S* or 1.5 % *S* of cow liveweight) and stocking rate, *SR* (0.2, 0.4 and 0.6 AU ha⁻¹). A representative *BAVCR* farm (400 ha rangeland and 300 ha pastures, Angus herd average age 5 years, breeding season from October to December, where a 13.5 % of replacement heifers, which are first mated at 22-month age). Body condition score (*BCS*) were higher in *EW* cows than *CW* cows, and 1.5 % *S* improved *BCS* only at 0.6 AU ha⁻¹ *SR*. *EW* application improved pregnancy rates on average 2 %. Daily variation of calf liveweights were not affected by 1.5 % *S* or *SR*, but increased 7.8 to 9.2 % by *CW* in comparison to *EW*. Live weight production per ha increased by *SR* (174.5 % between 0.2 and 0.6 AU ha⁻¹), by *EW* (24.5 %) and by 1.5 % *S* (7.8 %). However, live weight sales did not improve with *EW* and / or 1.5 % *S*. The number average of culled cows were 6.6 % lower *EW*, but their liveweight were 13.1 % higher than *CW* cows. Moreover, the 1.5 % *S* increased the number average of cows sold by 5.5 % and its weight by 2 %. *EW* yielded more calves (6.2%) but they were lighter (10%). In summary, gross margin decreased with 1.5 % *S*, except in *EW* with 0.4 and 0.6 AU ha⁻¹ *SR*. The maximum productive profitability was achieved with *CW*, 0 % *S* and 0.4 EV ha⁻¹ *SR*. It may be concludes that 1) The developed Sub-Model represented acceptably milk production from beef cows and milk and forage calf intake. 2) fixed early weaning did not improve live weight sales compared with conventional weaning, 3) the use of sorghum silage during autumn-winter improved productive outcomes but with negative effect of economic outcomes, 4) 0.6 AU ha⁻¹ stocking rate showed the highest productive performance and gross margins, but with some indications (herbage availability) that might be risks for the next productive cow-calf cycle at such intensification level. Furthermore the 0.4 AU ha⁻¹ stocking rate showed the best productive profitability.

Keywords: live weight production, lactation, weaning, stocking rate, economic performance.

1. INTRODUCCIÓN

La producción de carne vacuna es una actividad económica relevante para Argentina, ya que participa con un 6% del PBI total (M.A.A., 2010). La cría vacuna es el sustento de esta actividad productiva y la baja tasa reproductiva continúa siendo una limitante para incrementar la producción (Rearte, 2007, 2010).

En general, las áreas marginales para la agricultura son zonas en donde la ganadería vacuna es relevante. Los partidos Villarino y Patagones, área de influencia de la Estación Experimental Hilario Ascasubi del INTA, no son la excepción a esta situación. Estos partidos se encuentran ubicados en el extremo Suroeste de la provincia de Buenos Aires, donde comienza a esbozarse la meseta patagónica, fitogeográficamente corresponden a la transición entre las provincias del Espinal distrito del Caldén y la del Monte Austral (Cabrera, 1971; Sánchez *et al.*, 1998; Pezzola *et al.*, 2004; Anderson *et al.*, 2011). El clima templado de la región, con una estacionalidad marcada por veranos e inviernos rigurosos, es clasificado como árido estepario observándose un progresivo incremento de la aridez de Norte a Sur.

El área total involucra aproximadamente 2,5 millones de hectáreas e incluye la zona de regadío conocida como Valle Bonaerense del Río Colorado (VBRC) con aproximadamente 500000 ha de las cuales unas 140000 ha se riegan efectivamente. En el VBRC se desarrolla la agricultura de regadío más importante de la provincia de Buenos Aires (M.A.A., 2010), donde prosperan algunos cultivos con posibilidades de uso en ganadería como maíz y sorgo que pueden presentar un alto potencial de rendimiento bajo regadío (Marinissen; Garcia, 2007; Marinissen *et al.*, 2009; Barrena, 2010). Además, en el VBRC, se contabilizan unas 96000 ha de pasturas perennes implantadas de las cuales se riega aproximadamente el 75 % (72000 ha) (Lucanera *et al.*, 2010, 2011). Las pasturas tienen un importante rol en la sustentabilidad de muchas de las actividades agrícolas, contribuyendo en la recuperación de suelos y la sanidad de los cultivos (Agamennoni *et al.*, 2006), y donde el riego aplicado hace posible una ganadería de engorde eficiente, por ejemplo la categoría novillos contabiliza el 11 % (24300 cabezas) del total de existencias en el VBRC (Lucanera *et al.*, 2010, 2011).

Las áreas no regadas del VBRC y el área circundante al mismo se caracterizan como zonas netamente ganaderas en las que eventualmente puede incluirse

agricultura en largas rotaciones ganaderas (Abraham *et al.*, 2010). Sin embargo, es muy habitual observar una sobreutilización del recurso suelo con agricultura de baja producción, principalmente trigo, avena y cebada (M.A.A., 2010). En las áreas de secano del VBRC, la cría se torna relevante, aproximadamente el 45 % del stock del valle está constituido por vacas adultas (Lucanera *et al.*, 2010, 2011).

El desarrollo de la ganadería vacuna es relativamente reciente, a partir de 1970 reemplazó paulatinamente al stock de ovinos (Abraham *et al.*, 2010), alcanzando cerca de un millón de cabezas vacunas para el año 2005 (COPROSA, 2009). Sin embargo, esta carga animal no ha podido ser mantenida. Ante eventos hidrolimáticos extremos, como las sequías ocurridas en el período 2005-2009 en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, se puso en evidencia el grado de fragilidad de estos sistemas con un marcado descenso del número total de cabezas (aproximadamente un 40 %), por muerte de animales y/o ventas de emergencia.

Además de esta fragilidad de los sistemas productivos de la región, es necesario destacar que la eficiencia reproductiva de los rodeos es baja. El porcentaje de destete estimado a partir del número de terneros y vacas vacunados en ambos partidos (COPROSA, 2009) entre los años 2002 y 2009 fue del 64 %, variando entre 59 y 70 %. Varios factores inciden sobre la tasa reproductiva y existen alternativas de manejo que han resultado de interés en otras zonas del país. Sin embargo, la persistencia de una baja tasa reproductiva de los rodeos locales indicaría una escasa aplicación de las recomendaciones técnicas. La aplicación de tecnología debería ser analizada en el contexto local de las empresas ganaderas considerando la escala de tiempo y espacio correspondiente, la falta de esta información suele dificultar la interpretación del impacto en las condiciones reales de los sistemas productivos restringiendo el proceso de transferencia tecnológica (Morley, 1972).

Uno de los factores clave para optimizar la tasa reproductiva es la condición corporal de las vacas. Las reservas corporales de la vaca tienen efectos positivos sobre la producción de leche y la probabilidad de volver a concebir (Lamond, 1970; Bellows *et al.*, 1982). Es reconocido que una condición corporal mínima es requerida para el reinicio de los ciclos sexuales luego del parto (Randel, 1990). La estimación del nivel de reservas corporales a través de la observación visual de las vacas es una técnica relativamente sencilla para aplicar a la ganadería extensiva de la zona (Kugler, 2003).

Además de la condición corporal, la cantidad y calidad del alimento ofrecido a las vacas durante el posparto tienen importantes efectos sobre la reproducción (Burges; Romera, 2003; Ciccioli *et al.*, 2003). El crecimiento de los pastos es dependiente de la disponibilidad de agua, y en Villarino y Patagones los inviernos y veranos son rigurosos (datos meteorológicos de INTA EEA Ascasubi); por lo tanto los períodos de subnutrición en los animales son frecuentes (Bassi *et al.*, 2009). En estos ambientes áridos la estrategia de manejo debería contemplar lograr sustanciales reservas corporales en la vaca cuando es posible, y mantenerlas durante los períodos de restricción para asegurar el próximo ciclo reproductivo (Herd; Sprott, 1996).

Una de las estrategias de manejo que permite mantener estas reservas en los vientres en épocas desfavorables, es el adelantamiento del destete de los terneros ya que la lactancia incrementa sustancialmente los requerimientos energéticos de la vaca (Cocimano *et al.*, 1975; NRC, 2000). La supresión de la síntesis láctea por el destete reduce la demanda de nutrientes en la vaca y esto tiene efectos positivos sobre sus reservas corporales (Buskirk *et al.*, 1992). En vacas con pobre condición corporal y sub-óptima alimentación durante el posparto, el destete induce un más temprano reinicio de los ciclos estrales y aumenta la tasa de preñez (Williams, 1990; Yavas; Walton, 2000). La tecnología del destete anticipado, precoz, e hiperprecoz está disponible para ser aplicadas en los sistemas de cría vacuna (Monje *et al.*, 1996; Galli *et al.*, 2005; Carcedo Orallo *et al.*, 2007). La viabilidad de esta técnica ha sido demostrada en la zona, observándose una mejora significativa de la condición corporal de las vacas y de la tasa de preñez (Kugler *et al.*, 2002; Kugler *et al.*, 2008).

Otra forma de mantener la condición corporal de los vientres es recurrir al uso de alimentación estratégica suplementaria en épocas con déficit de pastos, y para esto es indispensable disponer de reservas forrajeras. Los verdeos de verano, maíz y sorgo, tienen una alta y estable productividad en la zona de regadío del VBRC (Marinissen; Garcia, 2007; Marinissen *et al.*, 2009), por lo tanto es posible obtener las reservas forrajeras necesarias a partir de una reducida superficie en comparación con otros recursos forrajeros de la zona (Martínez *et al.*, 2006; Renzi; Cantamutto, 2008). La conservación de verdeos de verano de alta acumulación de biomasa como maíz o sorgo en forma de ensilado es una técnica que está siendo aplicada en el VBRC, donde se están sembrando para tal fin aproximadamente 1900 ha (Antonelli, D., com. pers., 2010).

Finalmente, la carga animal es uno de los factores más importante que un ganadero puede manejar para obtener un equilibrio entre oferta y demanda de forraje (Jones; Sandland, 1974). Dentro de determinado rango de carga, un incremento de la carga animal se asocia a una menor respuesta individual que es compensado por el mayor número de animales conduciendo así a un incremento de la producción por unidad de superficie. No obstante, a muy altos niveles de carga animal los efectos sobre la producción individual y por unidad de superficie pueden resultar negativos (Continanza, 2010). Por otra parte, siendo la carga un factor de peso preponderante en los sistemas pastoriles es lógico que presente interacción con otros factores susceptibles de manejo (McMeekan; Walshe, 1963).

Las respuestas productivas y económicas de los sistemas ganaderos, son el resultado de la interacción de los distintos componentes biofísicos (suelo, forrajes, animales), y están fuertemente influenciados por el manejo de los mismos y por aspectos no controlables como el clima y los mercados (Cacho *et al.*, 1999). El análisis de experiencias de campo permite constatar y/o evaluar el efecto sistémico de la incorporación de una innovación tecnológica, lo cual obviamente es muy valioso e indispensable en el proceso de evaluación de pertinencia de la tecnología propuesta. Por el proceso de prueba y error se generan y corrigen las técnicas, lo que con el tiempo le da robustez a la tecnología incorporada. Sin embargo, los procesos biológicos involucrados, las interacciones, los retardos, los comportamientos no lineales, los efectos del clima, los cambios económicos, las decisiones humanas, etc., generan múltiples combinaciones y una complejidad que son imposibles de tratar con experiencias de campo (Woodward *et al.*, 2008).

La complejidad para el análisis de los sistemas ganaderos se genera porque los componentes suelo, pastura y animal están estrechamente relacionados entre sí, y día a día cada uno de ellos genera y recibe influencia de los otros (McCall; Sheath, 1994). Frente a esto, los modelos de simulación son herramientas metodológicas que permiten estudiar el cambio de comportamiento de un sistema ganadero ante una innovación (Cacho *et al.*, 1995; Donnelly *et al.*, 2002). Algunos modelos (Romera *et al.*, 2004; Machado *et al.*, 2010) ya han sido aplicados para estudios de estrategias productivas a nivel regional mediante simulación. Hay experiencia locales de una mayor profundización de la relación entre nutrición y reproducción de vacas de cría (Machado *et al.*, 2009); sin embargo, la multiplicidad de alternativas que surgen en las estrategias planteadas para la ganadería del VBRC (diferentes manejos de la condición corporal, tiempos de destete, etc.) requiere una profundización de la

evaluación de la capacidad de los modelos disponibles, para representar eficientemente los datos de campo de manejos dispares de nutrición-reproducción, incluyendo un seguimiento de las implicancias para la respuesta de los vientres y de los terneros.

En base a estos antecedentes, se propone revisar información sobre los principales factores involucrados en la lactancia y la respuesta de terneros al pie de la vaca en sistemas de producción de carne, mejorar en estos aspectos a los modelos disponibles y analizar el efecto del acortamiento de la lactancia y la suplementación estratégica de las vacas sobre la respuesta reproductiva y la productividad física y económica de los rodeos de cría de las empresas del VBRC, mediante el uso de modelos de simulación.

1.1. Hipótesis

El destete precoz sistemático y la suplementación estratégica mejoran el resultado productivo y económico de sistemas de cría vacuna de alta carga animal en el Valle Bonaerense del Río Colorado.

1.2. Objetivos Generales

Simular alternativas tecnológicas en sistemas de cría vacuna del Valle Bonaerense del Río Colorado.

1.3. Objetivos Específicos

- a. Desarrollar un Sub-Modelo matemático que represente la lactancia, el consumo de leche y forraje del ternero al pie de la madre, y la respuesta productiva de la vaca dentro de un modelo integral de empresa ganadera.
- b. Comparar mediante simulación el impacto productivo y económico de diferentes manejos de la cría vacuna en relación a la carga animal, el momento de destete y la suplementación en una explotación “típica” de la zona del Valle Bonaerense del Río Colorado.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Producción de leche

Los bovinos de razas para carne tienen una curva de producción láctea con similar formato que las razas lecheras pero difiriendo en el pico máximo y la persistencia de la misma (NRC, 2000).

Para medir la producción de leche (**PDL**) en vacas de razas destinadas a producir carne puede utilizarse una variedad de técnicas que implican ordeño manual o con máquina ordeñadora, con aplicación o no de oxitocina y/o con el ternero mamando al momento de ordeñar. Otra manera de conocer **PDL** de una vaca, en forma indirecta, es pesar al ternero antes y después del amamantamiento (Figura 1). Las diferentes técnicas tienen ventajas y desventajas, pero todas se consideran adecuadas para medir **PDL** en vacas de cría (Totusek *et al.*, 1973; Le Du *et al.*, 1979; Beal *et al.*, 1990). La técnica de pesar el ternero antes y después del amamantamiento es la que aparece con mayor frecuencia en la bibliografía citada, por lo tanto y a los fines de simplificar, en este trabajo se considera en adelante que consumo de leche (C_l) es sinónimo de **PDL**, asumiendo que la vaca no produce más leche que la demandada por su cría (Hatfield *et al.*, 1989).

En la figura 1 se exponen datos de C_l provistos por diferentes autores. Estos muestran un formato asimilable a la curva de lactancia ideal, por la caída en la **PDL** esperable con el paso del tiempo. Entre los distintos trabajos graficados se aprecian diferencias en la magnitud del C_l , lo que plantea un panorama amplio de posibles causas.

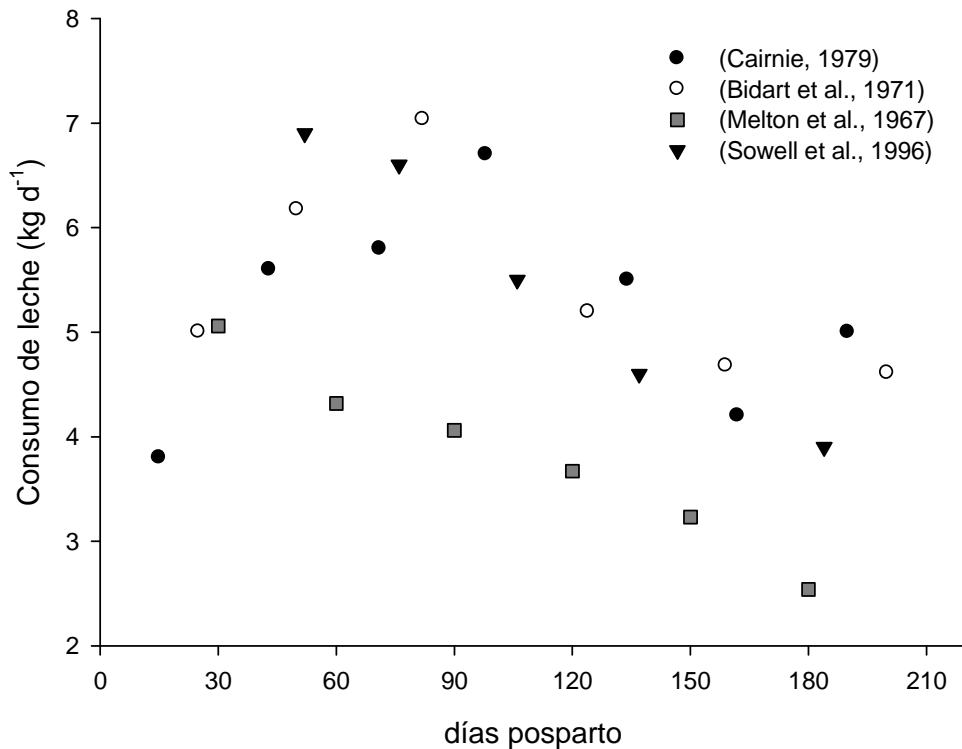


Figura 1: Estimación del consumo de leche de terneros al pie de su madre por la técnica de pesado de la cría pre y post amamantamiento. Datos de varios autores.

En la figura 2 se muestran representaciones de curvas de lactancia de bovinos para carne de diferentes grupos genéticos, a través de modelos matemáticos empíricos ajustados a partir de datos de campo. De estas representaciones se deduce que hay gran variabilidad en la forma que pueden asumir las curvas de producción láctea. Las diferencias podrían atribuirse a diversas causas, entre ellas, existencia de genuinas diferencias biológicas y también diferencias originadas por el manejo de los animales en las diferentes experiencias. En el experimento de Jenkins y Ferrell (1984), el pronunciado descenso de producción láctea observado luego del pico podría deberse al suplemento *ad-libitum* que recibieron los terneros, demandando por esto menor cantidad de leche de sus madres. En comparación, las curvas mostradas por Mezzadra *et al.* (1989) presentan una mayor persistencia de la lactancia, y en este caso las crías no recibieron suplemento alguno. Por otro lado, los rangos de edad de las vacas fueron diferentes, 8 a 9 años (Jenkins; Ferrell, 1984) y 4 a 12 años (Mezzadra *et al.*, 1989).

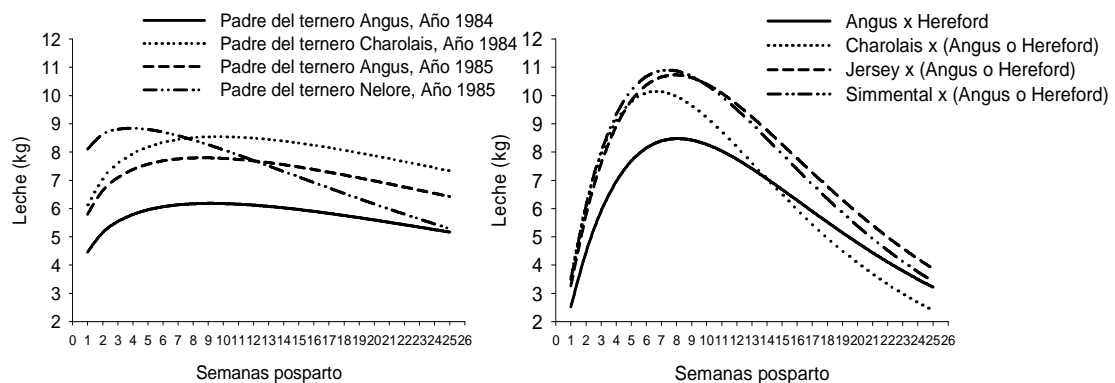


Figura 2: Curvas de producción láctea en bovinos de razas para carne adaptado de Mezzadra *et al.* (1989) en vacas F1 Angus-Hereford y recíprocas, izquierda y adaptado de Jenkins y Ferrell (1984), derecha.

2.1.1. Influencia del genotipo en la producción de leche

Se conoce que hay gran variabilidad en la **PDL** de animales de cría y parte es debida al genotipo.

Al comparar entre razas, existen grandes diferencias en **PDL**. Melton *et al.* (1967) encontraron diferencias significativas entre Angus, Charoláis y Hereford, mientras que Jenkins y Ferrell (1992) evaluando mayor cantidad de razas encontraron diferencias muy significativas entre algunas razas y no encontraron diferencias entre otras (Tabla 1), por ejemplo no observaron diferencias significativas entre Angus y Charoláis. Esta observación discrepa con la de Melton *et al.* (1967) y quizás pueda ser explicada por diferencias en el potencial de producción de leche dentro de una raza, debido a procesos de selección como lo muestran Minick *et al.* (2001).

Justamente en la Tabla 1, también se observa que las razas británicas (Angus, Hereford, Red Poll) y las continentales de origen francés (Charoláis y Limousin), producen menos leche que las continentales de origen germánico (Braunvieh, Gelbvieh, Pinzgauer y Simmental). Estas razas germánicas fueron en sus orígenes de doble propósito (producción de carne y leche), lo cual explicaría la diferencia en potencial de **PDL** como el resultado de procesos de selección con diferente objetivo.

Además también existen diferencias en producción total de leche (**PTL**) dentro de una determinada raza. Cairnie (1979) observó amplia variabilidad en **PTL** de vacas Angus del mismo rodeo y edad, e incluso encontró diferencias en la **PTL** mayores a 600 kg dentro del mismo tratamiento. Minick *et al.* (2001) compararon el efecto del uso de toros Angus y Hereford con Diferencia Esperada de Progenie (**DEP**) para baja y alta **PDL**, (resultados mostrados en la Tabla 1), obteniendo diferencias significativas

($P < 0,001$) en la media de **PDL** de diferentes líneas dentro de cada raza. Similares resultados obtuvieron Baker *et al.* (2003) al evaluar las hijas de toros Angus con **DEP** para baja y alta **PDL**.

Tabla 1: Producción media acumulada de leche durante la lactancia según raza

Producción Total de Leche Kg	Lactancia		Raza	Autor/es
	±	días		
663,7 ^b		150	Angus	(Melton <i>et al.</i> , 1967)
784,8 ^c		150	Charoláis	
581,0 ^a		150	Hereford	
1423,0 ^{ef}	56	210	Angus	(Jenkins; Ferrell, 1992)
1803,0 ^c	60	210	Braunvieh	
1433,0 ^e	63	210	Charoláis	
1697,0 ^{cd}	57	210	Gelbvieh	
1191,0 ^g	57	210	Hereford	
1349,0 ^{fg}	54	210	Limousin	
1566,0 ^{de}	47	210	Red Poll	
1640,0 ^{de}	56	210	Pinzgauer	
1604,0 ^{ef}	61	210	Simmental	
729,6 ^{Ab}		196	Padre de la vaca, Angus de Baja Prod.	
911,4 ^{Bb}		196	Padre de la vaca, Angus de Alta Prod.	(Minick <i>et al.</i> , 2001)
664,1 ^{Aa}		196	Padre de la vaca, Hereford de Baja Prod.	
758,0 ^{Ba}		196	Padre de la vaca, Hereford de Alta Prod.	

Medias con distinto superíndice en letra minúscula, indican diferencia significativa entre razas ($P < 0,05$)

2.1.2. Influencia de la edad de la vaca en la producción de leche

Otra fuente de variación en la **PDL** es la edad de la vaca. Se ha observado que la **PDL** se incrementa con la edad (Melton *et al.*, 1967; Bailey *et al.*, 1991). Por su parte Jeffery *et al.* (1971b) sugieren que la mínima **PDL** estaría entre los 2 y 3 años y la máxima alrededor de los 6 años de edad de la vaca. Similarmente, Boggs *et al.* (1980) muestran que las vacas de 5 a 8 años de edad producen más leche que las de 9 o más años, y no hay diferencias significativas entre las vacas jóvenes (3 o 4 años) y las más viejas (9 o más de 9 años) en **PDL**, por lo que según estos datos la **PDL** en relación a la edad de la vaca asumiría una forma semejante a un polinomio de segundo orden (Figura 3).

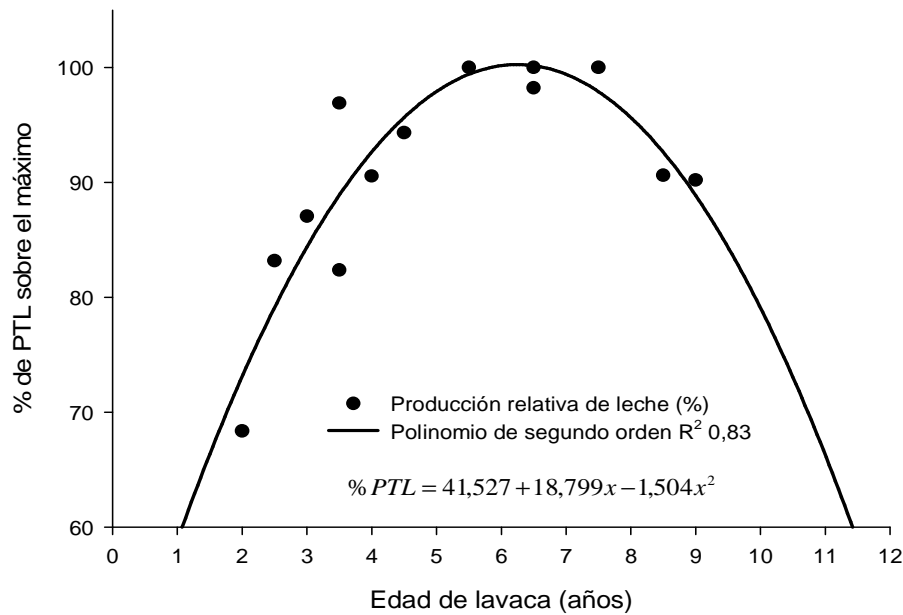


Figura 3: Efecto de la edad de la vaca “ x ” sobre la proporción relativa de la producción total de leche “ PTL ”. Elaborado con datos de Dawson *et al.* (1960); Melton *et al.* (1967) y Boggs *et al.* (1980).

En relación a la composición de la leche producida por las vacas durante la lactancia, Melton *et al.* (1967) y Bailey *et al.* (1991) coinciden en que, PDL y constituyentes de la leche se incrementan linealmente con la edad de la vaca, manteniendo inalterado el porcentaje de grasa, proteína y lactosa.

2.1.3. Influencia del sexo de la cría en la producción de leche

Los resultados obtenidos por Melton *et al.* (1967), Boggs *et al.* (1980) y Baker *et al.* (2003) muestran que las madres de machos producen más leche que las madres de hembras (Figura 4). Esta diferencia sería mayor al comienzo de la lactancia disminuyendo con el tiempo. Sin embargo, algunos resultados disímiles sugieren que podrían haber algunos efectos confundidos o solapados al sexo como por ejemplo el mayor peso de los machos, que influye en la PDL y es difícil separar su efecto.

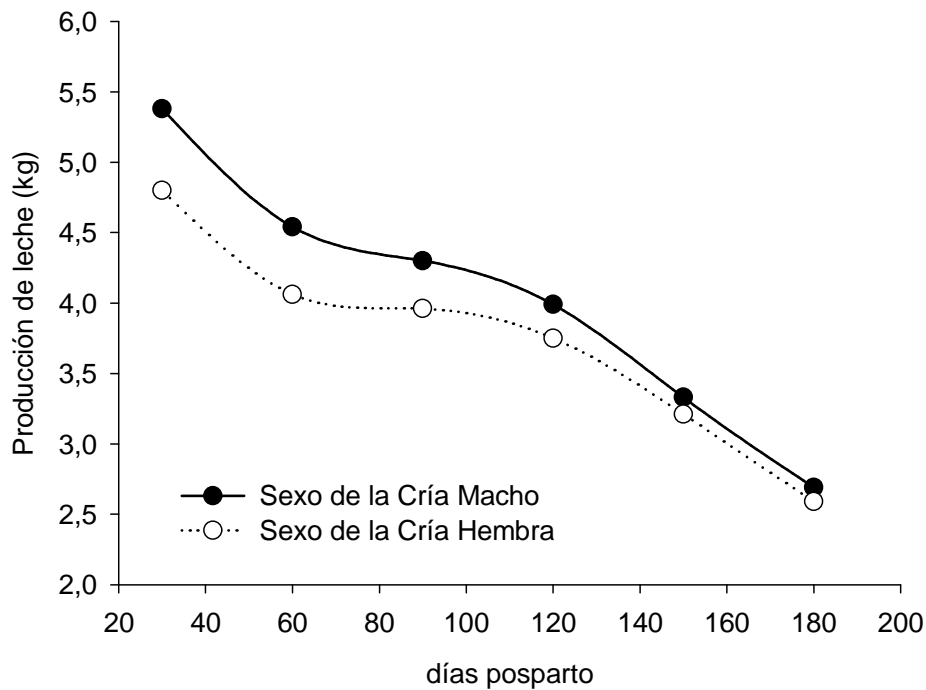


Figura 4: Efecto del sexo de la cría en la producción de leche de su madre durante la lactancia, adaptado de Melton *et al.* (1967).

2.1.4. Influencia de la calidad de forraje en la producción de leche

Uno de los aspectos más importantes en la **PDL**, que puede modificar la curva ideal de producción, es la energía consumida por la vaca a través del forraje (Wood, 1977). El forraje varía su calidad en el tiempo como se puede ver en el trabajo de Cairnie (1979) donde en años sucesivos las curvas de **PDL** tuvieron una configuración muy diferente (Figura 5). En el segundo año de ensayo, al contrario de lo esperado en una producción teórica, la **PDL** ascendió con el paso el tiempo en las vacas que pastoreaban pastizal natural. La calidad de forraje ligada a las precipitaciones fue la explicación propuesta por Cairnie (1979), ya que la cantidad de forraje nunca fue limitante. A su vez la ganancia diaria de peso vivo de los terneros ($GDPV_t$) fue superior en 26 y 15% para el primer y segundo año respectivamente a favor de la pastura natural, probablemente debido a que la producción diaria de leche fue 11% superior en vacas que consumían pastizal natural respecto a las que consumieron pasto llorón. El pastizal natural tuvo mayor calidad que el pasto llorón en la temporada de amamantamiento, lo que permitió una mayor **PDL** y persistencia de la lactancia. Esto demuestra la importancia que tiene el forraje de buena calidad para los terneros.

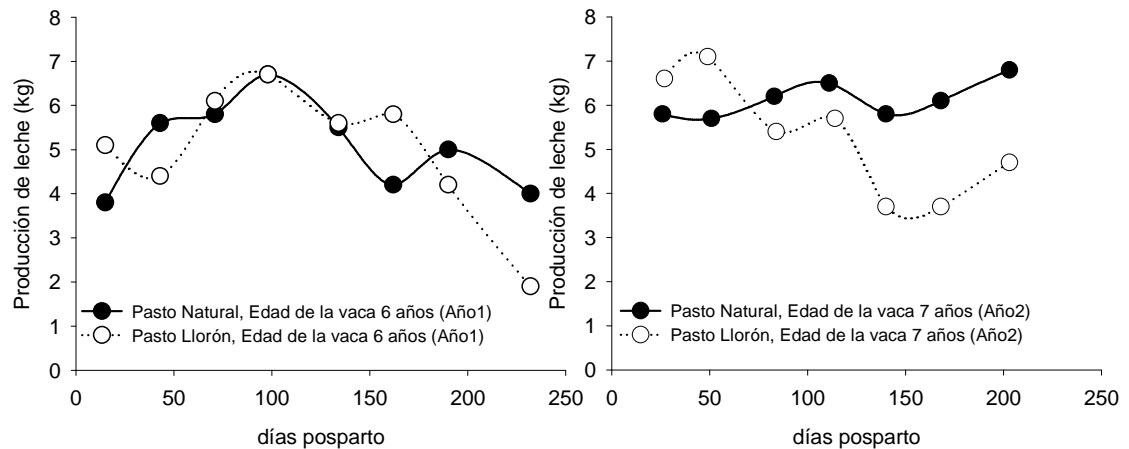


Figura 5: Evolución de la producción de leche durante la lactancia para dos años sucesivos y dos pasturas diferentes adaptado de Cairnie (1979).

De forma similar, Jenkins y Ferrell (1992) observaron una respuesta positiva al incremento del consumo de energía, tanto en el pico de lactancia como en *PTL* (Tabla 2).

Tabla 2: Efecto del nivel de energía consumida por la vaca en la producción de leche en el pico de lactancia y en la producción total de leche, en razas productoras de carne adaptado de Jenkins y Ferrell (1992).

Nivel de consumo de Energía Metabolizable (Mcal PV ^{0,75})	Producción de Leche en el pico de lactancia (kg d ⁻¹)		Producción Total de Leche en 210 días (kg)	
0,17	9,2	± 0,2 ^e	1239	± 42 ^e
0,21	10,3	± 0,2 ^d	1487	± 36 [†]
0,25	10,8	± 0,2 ^{cd}	1664	± 37 ^c
0,29	11,0	± 0,2 ^c	1701	± 37 ^c

Medias con distinto superíndice indican diferencia significativa entre niveles de consumo de energía metabolizable ($P < 0,05$)

Por su parte, al evaluar dos dietas donde la energía consumida por vaquillonas primíparas fue constante (15,8 y 12,6 Mcal EM d⁻¹), Freetly y Cundiff (1998) no encontraron diferencia significativa en *PDL*, probablemente debido a la buena condición corporal (*CC*) observada en los dos tratamientos (alrededor de 6, Esc.: 1 a 9) que ocultó la diferencia entre dietas.

2.1.5. Relación condición corporal – producción de leche

La **CC** de la vaca de cría es afectada por la lactancia (Renquist *et al.*, 2006). En general las vacas sufren un descenso en su **CC** en los primeros 60 a 90 días posparto porque movilizan reservas corporales para cubrir los requerimientos de energía para lactancia. Si la alimentación es adecuada, luego de este período las hembras lactantes comienzan a recuperar peso y **CC** (Figura 6).

La variación de la **CC** durante la lactancia es dependiente del nivel de **PDL**, se ha observado que las vacas de alta **PDL** presentan una mayor variación de la **CC** que las vacas de menor **PDL** (Figura 7). Se supone que estas vacas particionan más energía a **PDL** que al aumento de grasa corporal (Minick *et al.*, 2001).

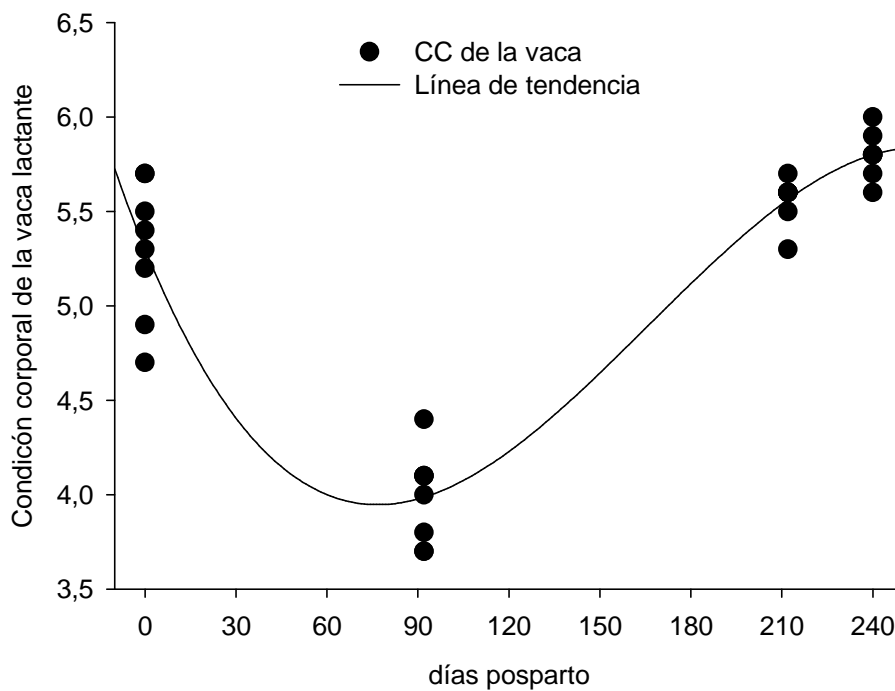


Figura 6: Evolución de la condición corporal durante la lactancia en vacas de cría de 3 a 10 años de edad, elaborado con datos de Renquist *et al.* (2006).

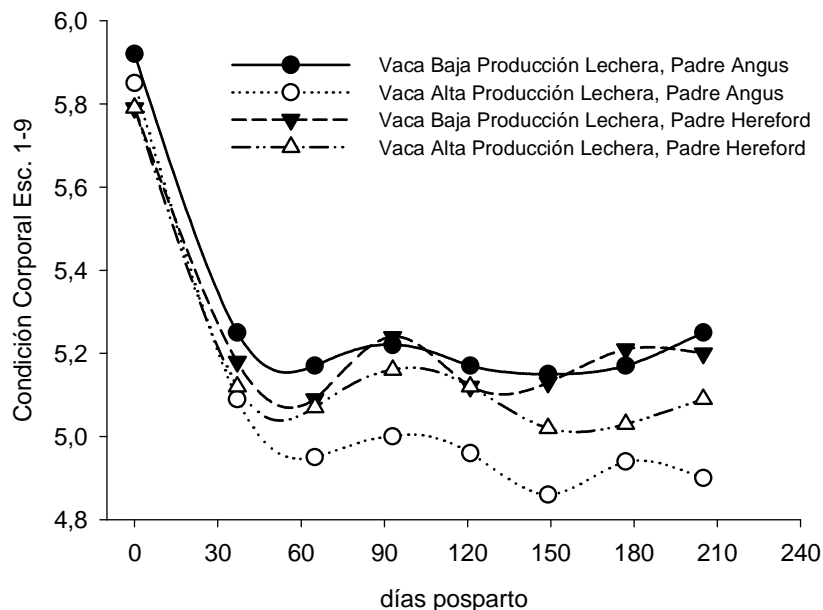


Figura 7: Efectos del nivel productivo y la raza del padre en la evolución de la condición corporal de vacas crucea ($\frac{1}{2}$ Hereford, $\frac{1}{2}$ Angus; $\frac{1}{4}$ Brahman, $\frac{1}{4}$ Angus, $\frac{1}{2}$ Hereford; $\frac{1}{4}$ Brahman, $\frac{1}{4}$ Hereford, $\frac{1}{2}$ Angus) en lactancia, adaptado de Minick *et al.*, (2001).

Minick *et al.* (2001) encontraron que en el último período de la lactancia las hijas de toros Angus producen más leche que las hijas de toros Hereford, y es quizás esta diferencia la que explica la menor *CC* de las vacas Angus de mayor potencial de *PDL*.

2.1.6. Demanda nutricional para producción de leche en vacas de cría

La *PDL* está asociada con incrementos en los requerimientos de mantenimiento de la vaca lactante (Neville, 1974; Ferrell; Jenkins, 1985; Montañó Bermudez *et al.*, 1990), los cuales están sobre el 50 % de la energía requerida para la producción de carne (Miller *et al.*, 1999). El consumo de forraje (C_f) ($\text{kg MS cabeza}^{-1} \text{d}^{-1}$) se incrementa linealmente con el potencial de *PDL* tanto en la lactancia temprana como tardía (Hatfield *et al.*, 1989). Durante la lactancia temprana, las vacas de alta *PDL* consumen más *MS* de forraje que las vacas de mediana y baja producción respectivamente, y esta diferencia se incrementa durante la lactancia tardía (Hatfield *et al.*, 1989).

Las vacas de alta *PDL* en condiciones forrajeras no limitantes tienen mayor consumo de *MS*, y como el C_l del ternero es menor al potencial de *PDL* de su madre, éstas ganan peso vivo (*PV*) (Hatfield *et al.*, 1989), de lo que se deduce que las vacas

producen leche de acuerdo a su potencial hasta satisfacer el C_l de su ternero, destinando la energía excedente a recomposición de tejidos corporales.

El costo nutricional de la **PDL** es alto y en cierto momento del año puede interferir con la capacidad de reproducción de la vaca de cría (Short *et al.*, 1972; Broesder *et al.*, 1990; Ansotegui *et al.*, 1991), ya que cuando el nivel de nutrientes es inadecuado, la vaca intenta mantener su potencial de **PDL** a expensas de reservas corporales y esto podría perjudicar el desempeño reproductivo (Boggs *et al.*, 1980). A modo de ejemplo, Boggs *et al.* (1980) encontraron en vacas de alta **PDL** una relación negativa con la fecha de concepción, donde por cada kg d^{-1} adicional de **PDL** se retrasó 1,4 días la concepción. Al respecto, Hatfield *et al.* (1989) evaluaron vacas de alto, medio y bajo potencial de **PDL** y encontraron que las vacas de alto y mediano potencial de **PDL** requieren un 12 % más de energía por unidad metabólica para el mantenimiento del **PV** que las vacas de bajo potencial **PDL**. Este potencial incremento en los requerimientos de mantenimiento puede ser parcialmente atribuido a incrementos en el peso de los pulmones e hígado de las vacas de alta **PDL** (Ferrell; Jenkins, 1985; DiCostanzo *et al.*, 1991).

Se encontró que el **PV** de las vacas, la **PDL** y el cambio de **PV**, son la mejor manera de explicar la variación en los requerimientos en términos de “Total de Nutrientes Digestibles” (**TND**) para las vacas lactantes. Sin embargo, **PV** y la **PDL** serían las variables más importantes a tener en cuenta en la cuantificación de los requerimientos nutricionales de una vaca de cría (Anderson *et al.*, 1983).

2.2. Alimentación del ternero

2.2.1. Amamantamiento

La leche de la madre ejerce la mayor influencia en el peso al destete de su cría (Ansotegui *et al.*, 1991). Entre el 60 y 65 % de la variabilidad del peso del ternero al destete está relacionado al aporte de la leche materna (Boggs *et al.*, 1980; Clutter; Nielsen, 1987). Por otro lado, la eficiencia con la que los terneros de raza para carne convierten la energía de la leche en $GDPV_t$ es muy variable, se han reportado valores de C_l entre 4,0 y 23,5 kg por cada kilogramo de peso vivo (PV_l) ganado de los terneros lactantes (Holloway *et al.*, 1982).

Las vacas de alta **PDL** tienen terneros más pesados durante casi toda la lactancia, que aquellas de baja **PDL** (Hötzel *et al.*, 2010). En la figura 8 puede verse que el **PV_t** hijos de vacas de mayor **PDL** supera al de los hijos de las vacas de menor **PDL** (Minick *et al.*, 2001). Esta diferencia se debe al mayor **C_t** y se acentúa con el paso del tiempo, probablemente debido al mayor crecimiento alcanzado por los terneros y por ende mayor **C_f**.

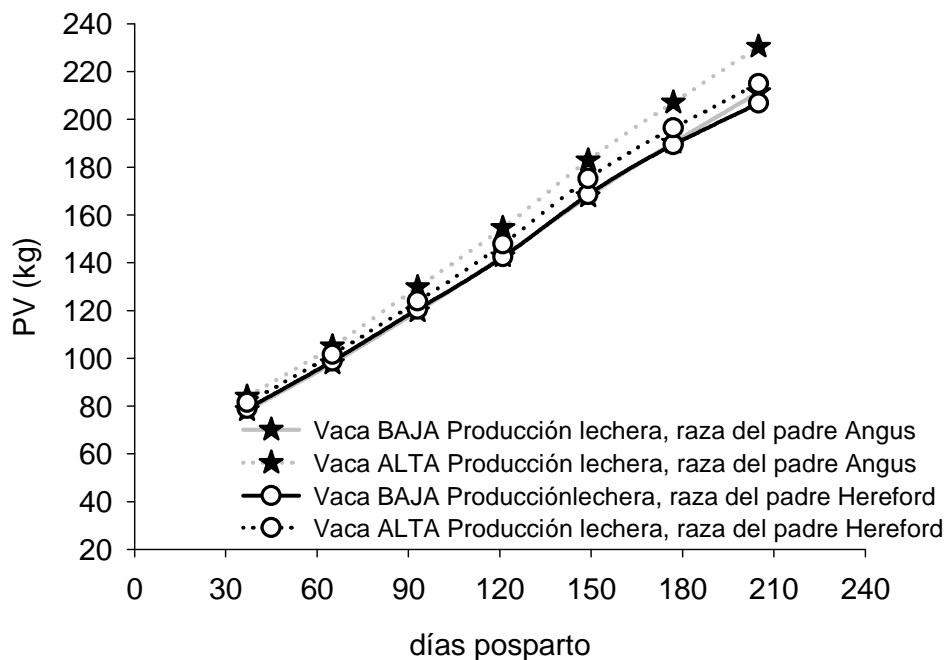


Figura 8: Efecto del nivel de producción de leche y raza de la vaca en la evolución del peso vivo de terneros lactantes, adaptado de Minick *et al.* (2001).

Por medio de regresión lineal se determinó la **GDPV_t** a partir de los datos de evolución del **PV_t**. La ganancia media diaria de peso vivo para los datos registrados en los ensayos de Bidart *et al.* (1971); Cairnie (1979) y Hickson *et al.* (2009b) estuvo en $0,76 \pm 0,3 \text{ kg d}^{-1}$. Debe tenerse en cuenta que para estimar esta ganancia de peso se usaron datos presentados en los distintos trabajos como media del peso vivo para cada momento y ensayo, lo que hace disminuir la variabilidad, no obstante da una buena idea de lo constante que es **GDPV_t** en el período de lactancia.

Cairnie (1979) halló correlaciones entre **PTL** y aumento total de **PV_t** de 0,71 ($P < 0,05$) para pastizal natural y 0,75 ($P < 0,05$) para el pasto llorón. Esta relación sugiere que el **PV_t** al destete puede ser elevado por incremento en el **C_t**. En este sentido, los datos genéticos sugieren que la **PDL** de la vaca está correlacionada

positivamente con el PV_t al destete (Butson *et al.*, 1980). Sin embargo, se han estimado correlaciones entre C_t y PV_t al destete en el rango de 0,12 a 0,88 (Ansotegui *et al.*, 1991). Este amplio rango observado en la correlación entre C_t y PV_t sugiere que otros factores también la estarían afectando (Broesder *et al.*, 1990; Ansotegui *et al.*, 1991).

Incrementos en la PDL fueron asociados a incrementos en el peso de la carcasa caliente (Miller *et al.*, 1999), aunque la PDL influenció el crecimiento predestete y no el crecimiento posdestete (Miller *et al.*, 1999). En un experimento realizado por Boggs *et al.* (1980) durante la lactancia (ajustada a 205 d), cada kilogramo de leche adicional por día, agregó 7,2 kg al destete. Si bien el promedio de producción diaria de leche y la $GDPV_t$ tienen correlación positiva, ésta se diluye conforme avanza la lactancia (Melton *et al.*, 1967; Bidart *et al.*, 1971; Cahuépe, 1978; Cairnie, 1979; Boggs *et al.*, 1980). A partir de los 4 o 5 meses de edad del ternero, la leche pasa a un plano secundario (Cairnie, 1979).

Las razas británicas Angus y Hereford son las de mayor difusión en Argentina, entre éstas, Angus siempre supera a Hereford en PTL (Melton *et al.*, 1967; Jenkins; Ferrell, 1992; Minick *et al.*, 2001). Sin embargo, además de la PTL , la composición de la leche debe tenerse en cuenta en referencia a la $GDPV_t$. En el trabajo conducido por Melton *et al.* (1967) los terneros Hereford fueron más eficientes en el uso de la leche en términos de ganancia de peso que los terneros Charolais y Angus. A su vez, el porcentaje de sólidos de la leche fue más alto para Hereford que para Angus y Charolais, lo que puede indicar que la leche con alto contenido de sólidos produjo mayor $GDPV_t$ por unidad de leche consumida que la leche con bajo contenido de sólidos. La diferencia en eficiencia de los terneros Hereford y Charolais pudo estar dada también por diferencias en los requerimientos de mantenimiento (por el mayor tamaño de los terneros Charolais).

Analizando el consumo de energía de los terneros, Cahuépe (1978) muestra que del total de energía bruta ingerida por terneros lactantes, la leche representó un 72 % en los terneros de 1 mes de edad, para ir disminuyendo hasta proveer 31 % del total días previos al destete (6 meses de edad del ternero) (Figura 9).

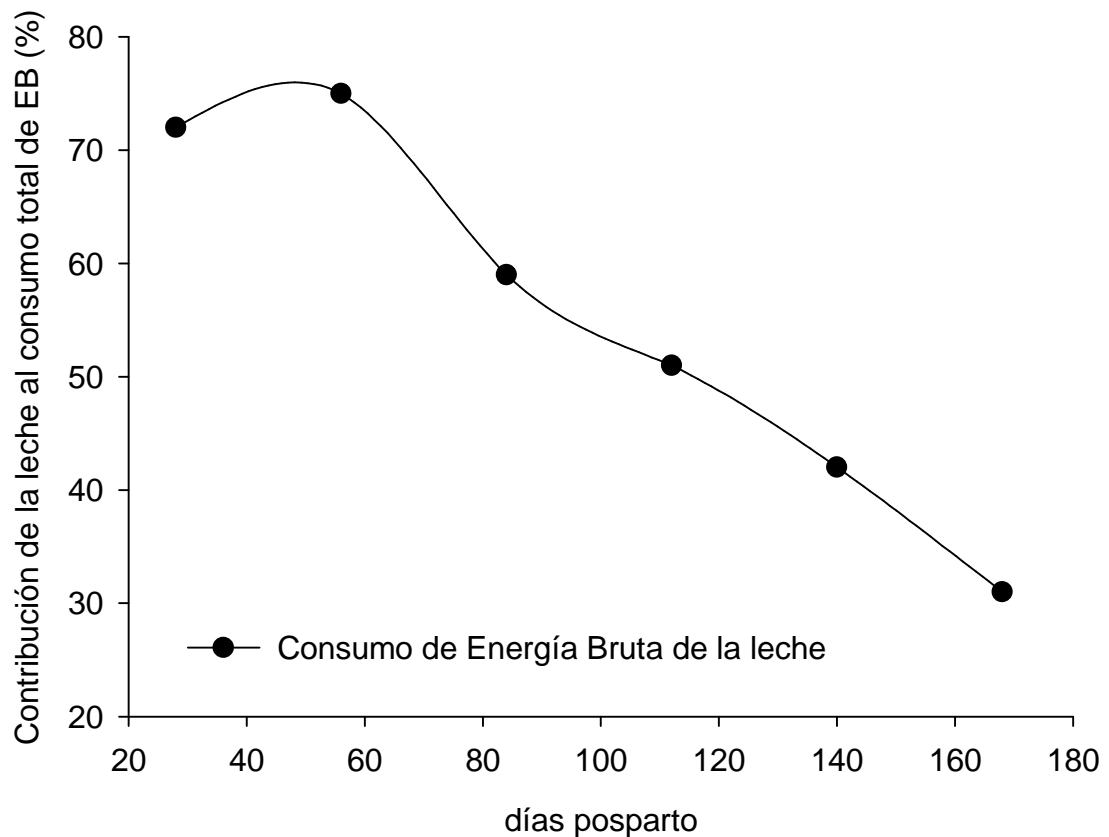


Figura 9: Evolución del porcentaje de energía bruta consumida por terneros lactantes proveniente de la leche, adaptado de Cauhépé (1978).

La figura 9 revela claramente la importancia relativa que tiene la leche en términos de energía sobre la nutrición de terneros al pie de la madre a lo largo de la lactancia. La correlación de consumo de energía digestible (ED) con el PV_t o la $GDPV_t$ disminuye con la edad del ternero para la leche y aumenta con la edad del ternero para el forraje (Holloway *et al.*, 1982). A partir de los 3 meses de edad, más de la mitad de la energía consumida por el ternero proviene de fuentes diferentes a la leche (Boggs *et al.*, 1980; Bartle *et al.*, 1984), por lo que también es muy importante tener en cuenta el componente forraje en los sistemas de cría vacuna. Entre los 60 y 150 días de edad del ternero, se comienza a observar la tendencia ($P < 0,10$) a mejorar la $GDPV_t$ por aumentar el C_f . Durante este período, cada kilogramo adicional en el consumo diario de pasto produjo una ganancia extra de aproximadamente $0,02 \text{ kg d}^{-1}$ (Boggs *et al.*, 1980).

2.2.2. Relación leche – forraje en la alimentación del ternero

El grado con que la leche es suplementada o es sustituida por forraje, es probablemente dependiente del nivel de consumo, calidad y disponibilidad de forraje. Se observó que cuando se incrementó la calidad del forraje, se incrementó también el C_f y de C_l dentro del rango estudiado (Holloway *et al.*, 1982). Igualmente Wright y Russel (1987) determinaron que el C_f de terneros lactantes en pastoreo se incrementó linealmente con la digestibilidad del forraje consumido. Esto sugiere que en terneros jóvenes en crecimiento, el consumo de alimentos sólidos es regulado por control físico y no por mecanismos químicos (Wright; Russel, 1987).

En un ensayo llevado a cabo por Holloway *et al.* (1982) se observó el efecto del tipo de forraje en la dieta de terneros lactantes. Los que dispusieron de gramínea más leguminosas, crecieron más rápido, consumieron más leche, más forraje y consumieron forraje de mayor densidad de energía que los que sólo pastorearon gramínea. Sin embargo, los terneros que sólo pastorearon gramínea fueron más eficientes en transformar la **ED** de leche y forraje en $GDPV_t$. Por otra parte, los terneros que pastorearon sólo gramínea dependieron mayormente de la leche para su crecimiento mientras que los terneros que tuvieron acceso a gramínea más leguminosas, dependieron mayormente del forraje.

Además, el consumo de **ED** de la leche estuvo más altamente correlacionado con el PV_l y la $GDPV_t$ para los terneros que consumieron sólo una gramínea en su dieta, comparando con aquellos que consumieron una dieta compuesta de gramínea y leguminosas (Holloway *et al.*, 1982).

Los terneros lactantes hijos de madres de baja **PDL** consumen más forraje que los terneros hijos de madres de alta **PDL** (Ansotegui *et al.*, 1991). Estos terneros lactantes claramente tienen la habilidad de incrementar el C_f para suplir una reducción en el C_l (Boggs *et al.*, 1980; Wright; Russel, 1987; Broesder *et al.*, 1990). Sin embargo la habilidad de compensación está influenciada por la condición y digestibilidad del forraje (Wright; Russel, 1987). Los terneros que pastorean forrajes de alta densidad de energía y consumen relativamente poca cantidad de **ED** de la leche, compensan con incremento en el consumo de **ED** de forraje; mientras que los terneros que pastorean forraje de baja densidad de energía, consumen la misma cantidad de **ED** del forraje con relativa independencia del nivel de **ED** de la leche (Holloway *et al.*, 1982) (Figura 10). Dado que la Materia Orgánica (**MO**) de la leche tiene una mayor concentración de

energía metabolizable (**EM**) que la **MO** del forraje, la compensación en términos de **EM** es siempre menor (Wright; Russel, 1987).

Se ha demostrado que la reducción en el C_l tiene un efecto lineal en el C_f (Ansotegui *et al.*, 1991) y este incremento lineal en el C_f fue similar para terneros criados al pie de la madre y terneros de crianza artificial (Wright; Russel, 1987). Sin embargo, el total de consumo de **MO** no difiere y no fueron afectadas por la reducción de leche, la Fibra Detergente Neutro (**FDN**), o la Digestibilidad de la Materia Seca (**DMS**) de la dieta consumida por los terneros (Ansotegui *et al.*, 1991).

Desde una visión inversa, el C_l tiene un efecto negativo en el C_f en los terneros de 2 a 6 meses de edad. Así lo demuestra el experimento realizado por Boggs *et al.* (1980) donde los terneros consumieron entre 0,03 y 0,07 kg d⁻¹ menos de pasto por cada kilogramo de leche.

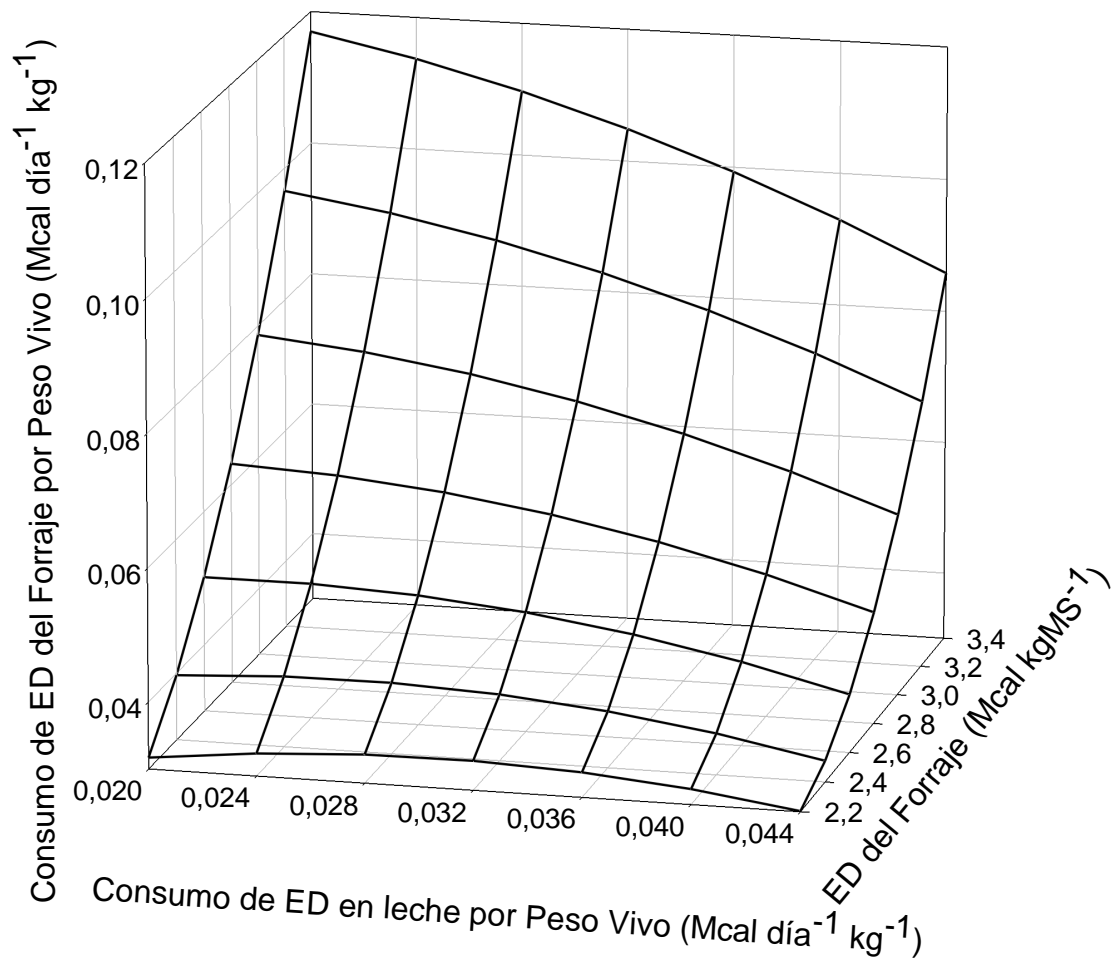


Figura 10: Consumo de energía digestible proveniente del forraje en relación al consumo de energía digestible proveniente de la leche y a la calidad del forraje en terneros lactantes, adaptado de Holloway *et al.* (1982).

En la figura 10 puede apreciarse que el consumo de **ED** del forraje en terneros lactantes asciende cuando la calidad del forraje también lo hace, pero este ascenso es menos importante cuanto más energía de la leche esté consumiendo el ternero. De manera análoga a lo que sucede con la suplementación energética de animales adultos en pastoreo, se podría considerar a la leche como el suplemento energético, donde en pasturas de menor calidad se ven efectos aditivos y en pasturas de mejor calidad se observa adición con sustitución de forraje por concentrado energético (leche).

Al analizar el consumo *ad-libitum* de suplementos sólidos, los terneros comenzaron a consumir a los 33 días de edad (Bartle *et al.*, 1984) lo cual es similar a los 35 días de edad reportados por Bailey y Lawson (1981).

Para dimensionar la importancia de la calidad de los forrajes (densidad energética) que pastorean los terneros, en la semana 9 de lactancia, la leche ($\pm 5 \text{ kg d}^{-1}$) sólo sería capaz de cubrir los requerimientos de mantenimiento del ternero (Bartle *et al.*, 1984).

Se sabe que el consumo de alimentos sólidos se incrementa con la edad del ternero (Boggs *et al.*, 1980; Holloway *et al.*, 1982; Anderson *et al.*, 1987). Un gran incremento en C_f en terneros lactantes se ha observado entre los 70 y 108 días de vida con magnitudes del orden de 62 al 67 % (Broesder *et al.*, 1990). Ansotegui *et al.* (1991) observaron que los terneros consumieron 0,3 kg más de forraje por cada kg de reducción en el C_l (edad 2 meses) y luego estos terneros consumieron 0,6 kg más de forraje por cada kg de reducción de C_l (edad 3 y 4 meses). Este incremento del doble de consumo entre los 2 y los 3 meses de vida puede ser función de la edad y desarrollo del rumen del ternero (Ansotegui *et al.*, 1991). Por otro lado, el descenso del C_l se retrasó cuando fue alta la disponibilidad y calidad de la pastura para vacas y terneros (Wright; Russel, 1987).

Dada la importancia de las pasturas y pastizales en la alimentación de los rumiantes, algunas de las características estructurales deben ser tenidas en cuenta. Cuando las vacas y terneros pastorearon forraje de la misma altura, una reducción de la altura del forraje de 8,5 a 5,3 cm produjo una disminución en la $GDPV_t$ de 0,340 kg d^{-1} . Este descenso en la performance está dado primero por la menor **PDL** de la vaca y segundo por la reducción del C_f del ternero (Wright; Russel, 1987).

Si bien el C_f está fuertemente signado por la edad del ternero lactante, la **PDL** de su madre y la calidad del forraje, en la figura 11 se observa claramente el efecto que

tiene la altura del forraje en vacas y terneros. En el ensayo planteado por Wright y Russel (1987) para determinar este efecto, se aprecia que cuando las vacas y terneros tuvieron baja disponibilidad de forraje determinada por la altura del mismo (**Bb**), el C_f en terneros fue siempre menor comparado con terneros que pastorearon con mayor altura y disponibilidad forrajera (**a**). Además, entre los terneros **a**, el C_f fue diferente ya que los hijos de madres que pastoreaban pasturas más altas (**A**), comenzaron el C_f más tarde que los terneros cuyas madres pastoreaban pasturas más bajas (**B**), probablemente debido a que las vacas **A** produjeron más leche que las **B**.

Los terneros **a** hijos de madres **B**, tuvieron una reducción en el C_l , pero fueron capaces de incrementar su C_f por encima de los terneros **b** hijos de madres **B** (Wright; Russel, 1987).

En los tratamientos de mayor altura de forraje para el ternero (**Ba y Aa**) una reducción en el consumo de **MO** de leche de 1 g incrementó el C_f entre 0,89 y 1,2 g (Wright; Russel, 1987).

El efecto de la altura del forraje provocó que las vacas **B** con terneros **b** consecuentemente produjeran más leche que las vacas **B** con terneros **a** (Figura 11), y su leche tuvo una mayor concentración de grasa (Wright; Russel, 1987).

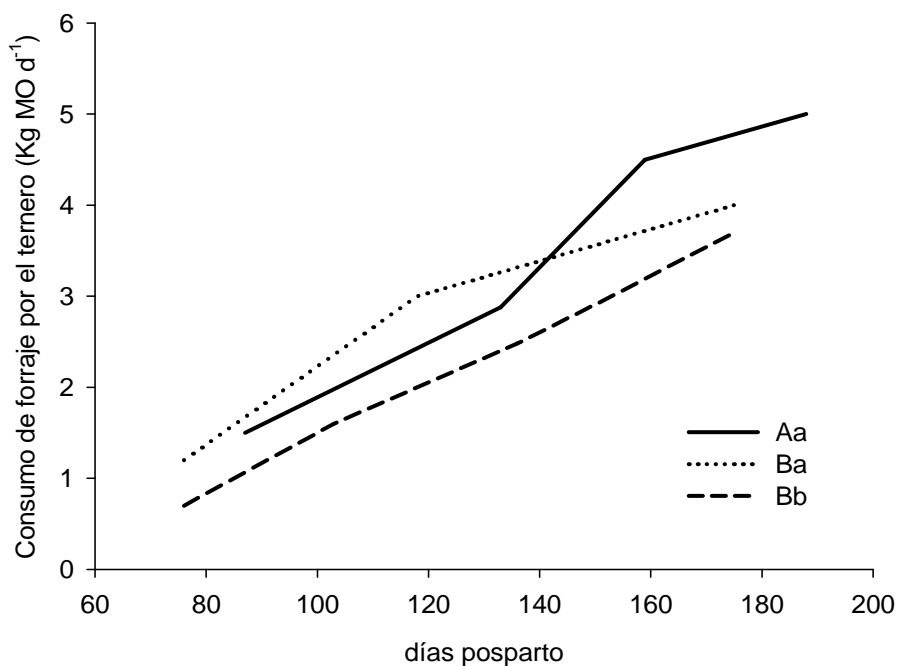


Figura 11: Evolución del consumo de forraje para terneros que pastorean sobre pasturas altas (**a**) o bajas (**b**), y cuyas madres disponen de pasturas altas (**A**) o bajas (**B**), adaptado de Wright y Russel (1987).

Las vacas **A** y cuyos terneros **a**, mostraron incremento en el **PV** y **CC**, además tuvieron un significativo acrecentamiento en el **C_f** y **PDL**. La producción de leche permaneció constante los primeros 85 días desde el parto y luego decreció suavemente comparado con los otros tratamientos (Figura 12). Estas **PDL** con baja grasa, pero con alta concentración de lactosa (Wright; Russel, 1987).

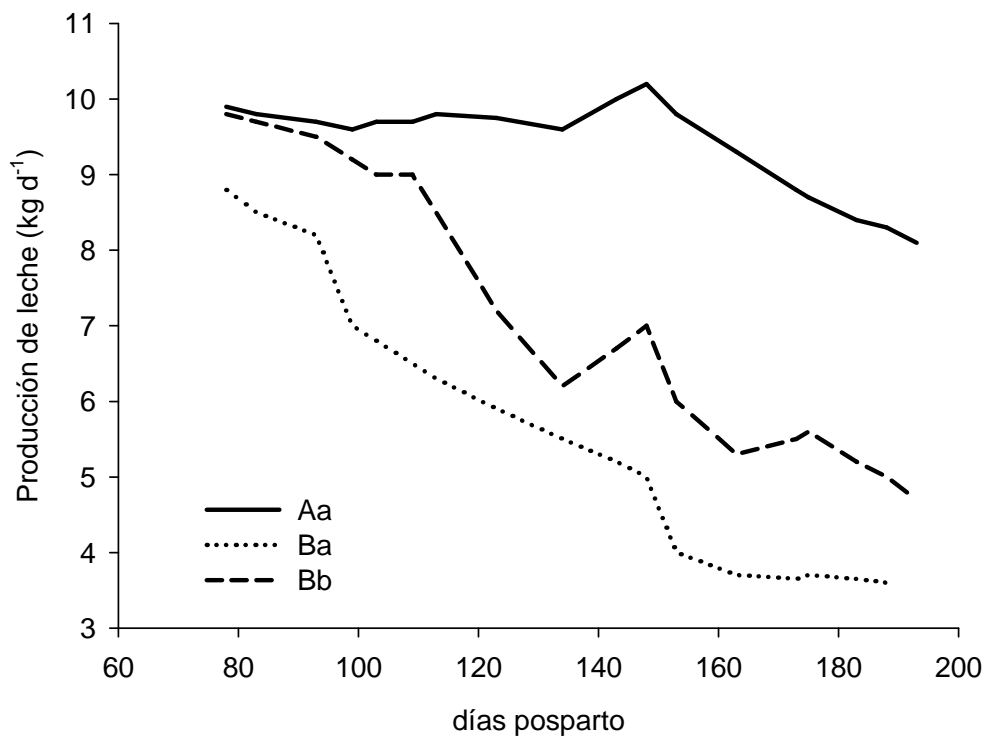


Figura 12: Efecto de la altura del forraje **A** alto y **B** bajo que pastorean vacas y del forraje **a** alto y **b** bajo que pastorean sus crías, sobre la evolución de la producción de leche durante la lactancia, adaptado de Wright y Russel (1987).

Los resultados demostraron claramente el gran efecto de la altura del forraje en el **C_f** y performance de vacas de cría. Las vacas que dispusieron de forraje de 8 a 10 cm de altura ganaron **PV** y **CC**; y pudieron sostener altos niveles de **PDL**, mientras que las vacas que pastorearon el forraje bajo sufrieron una reducción del **C_f** del 20% y a este nivel de consumo, las vacas perdieron **PV**, **CC** y la **PDL** cayó progresivamente durante el experimento (Wright; Russel, 1987).

2.3. Implicancias generales

La **PDL** es de suma importancia en los sistemas de cría vacuna, debido al efecto que tiene en el crecimiento inicial de los terneros y su peso al destete. Por lo tanto, influye directamente en el principal producto y base de la rentabilidad de estos sistemas. En principio, el mejoramiento y selección de animales de alta producción aparece como una alternativa para maximizar beneficios, pero es necesario cuantificar los costos energéticos en relación con las restricciones ambientales.

Las diferencias en **PDL** afectan el desempeño productivo del ternero y la condición de la vaca. Vacas de alta **PDL** tienen terneros más pesados pero su **CC** empeora durante la lactancia por el alto costo energético que conlleva producir leche y esto puede traer futuras implicancias negativas en el desempeño reproductivo del rodeo. Por esto es de suma importancia el conocimiento de la demanda fisiológica de los animales durante todo el período de lactancia para poder optimizar la productividad de los sistemas pecuarios. Existe cierta dificultad para cuantificar estos efectos y sus interacciones, por tanto son necesarios más estudios al respecto.

Dada la complejidad de estas interacciones, que además se dan en un contexto dinámico, y el gran número de variables que intervienen en las relaciones y procesos aquí mencionados: componente genético, demandas nutricionales de vacas y terneros, niveles de **PDL**, calidad y disponibilidad de forraje (Jeffery *et al.*, 1971a; Bailey *et al.*, 1991); se hace muy difícil determinar el efecto de los componentes en forma aislada, de manera que para el estudio integral de esta temática los modelos de simulación se presentan como una alternativa apropiada.

El papel de los modelos de simulación en el proceso de innovación, es ser un “mundo virtual” en el que se pueden llevar a cabo los experimentos para facilitar el aprendizaje sobre la pertinencia de innovaciones tecnológicas en los sistemas del mundo real (Woodward *et al.*, 2008).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó mediante simulación donde se compararon manejos alternativos que combinan edad de destete, nivel de suplementación a vientres y carga animal en sistemas de cría vacuna del Valle Bonaerense del Río Colorado (VBRC). Se utilizó el programa de simulación biofísico y económico orientado a la investigación SimuGan (Machado *et al.*, 2010). En éste se pueden representar sistemas ganaderos, permitiendo evaluar diferentes planteos de manejo y/o de uso de insumos a nivel de establecimiento productivo, bajo diferentes escenarios de clima y precios. La descripción de su funcionamiento fue detallada por Stefanazzi (2012) y se sintetiza en el apéndice de esta tesis.

Debido a la importancia de la lactancia en este estudio, el simulador utilizado debió ser mejorado en lo que respecta a los mecanismos subyacentes a la lactancia de vacas de cría y de cómo ésta afecta a madres y crías. Para esto se confeccionó un Sub-Modelo de lactancia y luego se incorporó en el simulador ganadero ampliando la sensibilidad del modelo existente.

3.1. Desarrollo del Sub-Modelo del par vaca-ternero en el período de lactancia

En la actualidad, se conoce un gran número de modelos que representan la curva de lactancia en bovinos (Landete Castillejos; Gallego, 2000). La gran mayoría de los modelos de lactancia, fueron creados para animales productores de leche y muy pocos estudian animales productores de carne. El modelo empírico dado por Wood (1967), es quizás el más ampliamente usado para representar una curva de lactancia (NRC, 2000).

El modelo propuesto para animales productores de carne por el NRC (2000) es uno de los más difundidos y utilizados (Tedeschi *et al.*, 2005), pero en la actualidad este no contempla con suficiente nivel de detalle los aspectos relacionados a la lactancia y el crecimiento temprano de los terneros. Por esto, se propuso desarrollar y ajustar un Sub-Modelo que represente estos aspectos de importancia práctica. Para ello se implementaron y probaron diferentes modelos en Microsoft Visual Basic® (Fox *et al.*, 1988; Blanc *et al.*, 2000; Vetharanim *et al.*, 2003; Bryant *et al.*, 2007; Gradiz *et al.*, 2007; Tedeschi; Fox, 2009). Se desarrolló el Sub-Modelo capaz de cuantificar el

consumo de leche, consumo de forraje por los terneros lactantes, producción de leche y movilización de reservas corporales de la vaca usando como base los modelos de Fox *et al.* (1988); Blanc *et al.* (2000) y Tedeschi y Fox (2009). Como criterio de selección para desarrollar el Sub-Modelo se tuvieron en cuenta, la simpleza, la factibilidad de aplicación y la tendencia al mecanicismo. El Sub-Modelo se desarrolló en la plataforma Visual Basic® de Microsoft Excel®.

Al seleccionar el modelo de tipo mecanístico de Tedeschi y Fox (2009), que modela la producción de leche y el consumo de leche y forraje del ternero lactante en razas para carne, se procura representar de manera simplificada los procesos biológicos en relación a la importancia práctica que tienen bajo diferentes condiciones de manejo del ganado. A partir de este modelo base se incorporaron secuencialmente factores de ajuste aportados por los modelos de Fox *et al.* (1988); Blanc *et al.* (2000) que permiten caracterizar mejor a los animales del rodeo.

Tedeschi y Fox (2009) modelan de forma independiente, producción y consumo de leche. En condiciones reales es esperable que un bajo consumo de leche por parte del ternero haga disminuir la producción de leche de la madre (Mondragon *et al.*, 1983). Por lo tanto, para incluir en el Sub-Modelo esa funcionalidad, se agregó un módulo basado en el modelo que desarrollaron Blanc *et al.* (2000), que incluye esta interacción de forma mecanística, ajustando la producción de leche a la capacidad de consumo del ternero y viceversa. Por su parte el modelo de Fox *et al.* (1988) aporta criterios de ajuste por edad, sexo, raza, y reservas de energía de los animales, que ayudan a describir mejor los sistemas de producción por lo que fueron incluidos en el Sub-Modelo.

Con el Sub-Modelo desarrollado, se realizaron varias corridas de simulación para visualizar en diferentes condiciones el efecto de las principales funciones integradas en el mismo. Posteriormente se replicaron mediante simulación las experiencias de campo de varios autores (Bidart *et al.*, 1971; Cauhépé, 1978; Cairnie, 1979; Mezzadra *et al.*, 1989; Hickson *et al.*, 2009b; Hickson *et al.*, 2009a; Hötzel *et al.*, 2010) y se comparó la concordancia de los resultados simulados con los resultados obtenidos en los experimentos de campo, en relación al consumo de leche y la evolución de peso de los terneros, mediante regresión lineal. Finalmente, el Sub-Modelo fue integrado al programa SimuGan (Machado *et al.*, 2010).

3.2. Simulación de alternativas de manejo en sistemas de cría vacuna del Valle Bonaerense del Río Colorado

Se simularon varias alternativas de manejo de sistemas de cría en el Valle Bonaerense del Río Colorado (VBRC) con el programa SimuGan (Machado *et al.*, 2010), utilizando un esquema similar al propuesto por Chapman *et al.* (2008 a,b) que simularon un ciclo productivo en un establecimiento representativo de la zona de estudio con sus características biofísicas, de manejo, producción y económicas, a partir del cual se propusieron alternativas y se re-simularon para ver el efecto de los cambios propuestos.

Para evitar que los efectos de los valores iniciales que fueron iguales para todos los tratamientos oculten los efectos de los mismos, se simularon dos períodos productivos, de los cuales se analizó solo el segundo.

El período de simulación analizado abarcó del 01 de julio de 2011 al 30 de junio de 2012. Se consideraron tres factores para este estudio: la edad de los terneros al destete, la suplementación otoño-invernal de los vientres y carga animal. De la combinación de los factores, surgieron 12 tratamientos determinados por 2 edades de destete, 2 niveles de suplementación y 3 niveles de carga animal. Para su denominación se plantea el uso de siglas (Tabla 3) que indican las características de los mismos.

Tabla 3: Siglas de los tratamientos y factores estudiados

Tratamiento	Carga animal	Tipo de destete	Suplemento % PV día ⁻¹
T1 = CB – DC – SIN	Baja (CB)	Convencional (DC)	0% (SIN)
T2 = CB – DC – CON	Baja (CB)	Convencional (DC)	1,5% (CON)
T3 = CB – DP – SIN	Baja (CB)	Precoz (DP)	0% (SIN)
T4 = CB – DP – CON	Baja (CB)	Precoz (DP)	1,5% (CON)
T5 = CM – DC – SIN	Media (CM)	Convencional (DC)	0% (SIN)
T6 = CM – DC – CON	Media (CM)	Convencional (DC)	1,5% (CON)
T7 = CM – DP – SIN	Media (CM)	Precoz (DP)	0% (SIN)
T8 = CM – DP – CON	Media (CM)	Precoz (DP)	1,5% (CON)
T9 = CA – DC – SIN	Alta (CA)	Convencional (DC)	0% (SIN)
T10 = CA – DC – CON	Alta (CA)	Convencional (DC)	1,5% (CON)
T11 = CA – DP – SIN	Alta (CA)	Precoz (DP)	0% (SIN)
T12 = CA – DP – CON	Alta (CA)	Precoz (DP)	1,5% (CON)

3.2.1. Edad de destete

Se evaluaron dos edades de destete de manera sistemática, *destete precoz* aproximadamente a los 2 meses de edad del ternero y *destete convencional* alrededor de 6 meses de edad del ternero. Con fines prácticos y operativos, el destete precoz se realizó de manera similar a como suele ejecutarse la técnica a campo, es decir teniendo en cuenta el peso de los animales a destetar. Los días 15 de cada mes se determinó el peso vivo y se destetó a todos los terneros que pesaran 60 kg o más, enviándolos en ese momento al corral de encierre para alimentación de terneros en el que permanecieron hasta su venta en el segundo tercio de febrero. Por su parte, el destete de terneros con la modalidad convencional se realizó el día de la venta (segundo tercio de febrero) cuando promediaban 6 meses de edad.

3.2.2. Suplementación de Vientres

Se consideraron dos manejos de la alimentación otoño-invernal de los vientres, *con y sin, uso de suplemento*. Se definió usar silaje de planta entera de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) como alimento suplementario al forraje de pastoreo. Para tal fin cada tratamiento que utilizó suplementación contó con una disponibilidad suficiente del mismo cada año. Se utilizó un híbrido doble propósito (grano-silaje) seleccionado por la estabilidad en el rendimiento entre años, los parámetros de calidad se detallan en la tabla 4 y se corresponden con datos de campo obtenidos en la EEA Hilario Ascasubi del INTA.

Tabla 4: Calidad nutricional de silaje de planta entera de sorgo utilizado como suplemento para vacas y vaquillonas gestantes (Marinissen; Garcia, 2007)

MS%	PB%	FDN%	FDA%	DMS%	Lignina %	CHNES%	EM (Mcal kg MS ⁻¹)	pH
32	6	56	31	53	4	9	1,9	4

Para los tratamientos sin suplementación la asignación forrajera diaria fue de 4 % del peso vivo (*PV*) durante los meses de julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre y enero, y de 3 % del *PV* durante los meses de febrero, marzo, abril, mayo y junio. Para los tratamientos que recibieron suplementación con silaje de planta entera de sorgo, en los meses de mayo, junio julio y agosto la asignación diaria del mismo fue de 1,5 % del *PV* y la asignación forrajera fue modificada a 1,5 % del *PV* en los meses

de mayo, junio y de 2,5 % del *PV* día⁻¹ en los meses de julio y agosto (Tabla 5). El objetivo de asignar el suplemento durante 4 meses fue permitir a los recursos forrajeros pastoriles mantener biomasa y en los animales el acostumbramiento por cambios en la dieta.

Tabla 5: Asignación diaria de forraje y de suplemento expresada como porcentaje del peso vivo (% *PV*) para cada mes del año.

Tratamientos	Recurso	Mes											
		J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J
<i>SIN</i>	Forraje	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3
<i>CON</i>	Forraje	2,5	2,5	4	4	4	4	4	3	3	3	1,5	1,5
	Silaje	1,5	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5	1,5

3.2.3. Niveles de carga animal

Es sabido que la respuesta productiva de cualquier sistema de base pastoril se verá influenciada por la carga animal (Jones; Sandland, 1974; Feldkamp *et al.*, 2005b; Continanza, 2010), por lo tanto es indispensable tener en cuenta su efecto sobre otros parámetros a evaluar y la interacción con los otros factores. En este sentido se plantearon 3 niveles de carga animal definidas como equivalente vaca (EV) (Cocimano *et al.*, 1975) para ser aplicadas a los otros factores de interés. Se determinó como carga baja 0,2 EV ha⁻¹, media 0,4 EV ha⁻¹ y alta 0,6 EV ha⁻¹ teniendo en cuenta las características de los recursos forrajeros para el establecimiento simulado. Con estas cargas quedaron definidos los rodeos que se presentan en la tabla 6, tomando como criterio para su conformación, que sobre el total de EV definido para cada carga la estructura del rodeo sería de 72,5 % de vacas, 2,8 % de toros, 11,8 % de vaquillonas de 2 años y 12,9 % de vaquillonas de 1 año.

Tabla 6: Cantidad de animales por categoría que conforman el rodeo inicial de baja, media y alta carga

Categoría	CARGA BAJA	CARGA MEDIA	CARGA ALTA
VACAS	101	202	303
TOROS	3	6	9
VAQUILLONAS DE 2 AÑOS	20	41	61
VAQUILLONAS DE 1 AÑO	26	51	77
TOTAL	150	300	450

3.2.4. Características del establecimiento simulado

El experimento se definió para un establecimiento representativo de la zona del VBRC (Iurman *et al.*, 2009; Iurman, 2010) tomando como referencia el denominado como “grande mixto”. Para el subsistema cría se consideró una superficie de 700 ha totales, de las cuales 300 ha correspondieron a áreas sistematizadas para riego por gravedad (sin uso de riego) divididas en dos potreros, donde se encontraban implantadas pasturas consociadas a base de agropiro (*Elymus ponticus* (Podp.) N. Snow = *Thinopyrum ponticum* (Podp.) Barkworth & D.R.Dewey) y festuca alta (*Schedonorus arundinaceus* (Scherb.) Dumont. = *Festuca arundinacea* Schreb.) y en las 400 ha restantes, correspondientes al área no sistematizada para riego, la superficie estuvo cubierta por pastizal natural con especies forrajeras espontáneas (Giorgetti *et al.*, 1997). Los tres potreros con los recursos forrajeros mencionados anteriormente, fueron utilizados de la siguiente manera, uno de 200 ha de superficie con una pastura consociada de agropiro más festuca con biomasa inicial de 4300 kg MS ha⁻¹ (potrero 1) y uno de 400 ha de pastizal natural con biomasa inicial de 1100 kg MS ha⁻¹ (potrero 2) para las vacas y vaquillonas en servicio junto a sus crías. El restante potrero de 100 ha de pastura consociada agropiro más festuca con biomasa inicial de 2400 kg MS ha⁻¹ (potrero 3) se utilizó exclusivamente para la recría de vaquillonas de reposición. En las tablas 7 y 8 se especifican las características que determinan la calidad inicial del forraje en cada potrero. En estos potreros se implementó un pastoreo rotativo en franjas diarias, cuya dimensión se definió cada día según la disponibilidad de forraje y la asignación forrajera correspondiente a cada momento de la etapa productiva. El uso de uno u otro recurso forrajero, se determinó por el criterio de máxima biomasa de forraje acumulada. Se planteó como restricción para el ingreso del rodeo a un potrero, una cantidad mínima de biomasa aérea de forraje de 500 kg MS ha⁻¹ para el potrero 1, de 200 kg MS ha⁻¹ para el potrero 2 y de 1000 kg MS ha⁻¹ para el potrero 3.

Tabla 7: Composición inicial de la masa forrajera de los potreros (kg MS ha⁻¹).

Potrero	Área (ha)	MASA FORRAJERA (kg MS ha ⁻¹)		
		Hoja	Tallo	Muerto
1	200	1400	1300	1600
2	400	200	400	500
3	100	800	800	800

Tabla 8: Calidad nutricional de los diferentes componentes de la masa forrajera (porcentaje de la masa).

Potrero	PB (% masa)			*PDR (% masa)			Digestibilidad (% masa)		
	Hoja	Tallo	Muerto	Hoja	Tallo	Muerto	Hoja	Tallo	Muerto
1	17	10	5	10	9	3	68	55	46
2	16	10	5	10	9	3	64	51	46
3	18	10	5	10	9	3	70	57	46

* PDR = PB - PNDR

La tasa de crecimiento aéreo de forraje utilizada en las simulaciones se obtuvo de datos de la zona de estudio y se presenta en la tabla 9. Asumiendo la producción en un año medio, se determinó una producción anual de masa forrajera de 6994 kg MS ha⁻¹ año⁻¹ y de 8941 kg MS ha⁻¹ año⁻¹ (Sevilla *et al.*, 2001) para la pastura consociada de agropiro y festuca de los potreros sistematizados para riego (1 y 3 respectivamente), y 885 kg MS ha⁻¹ año⁻¹ (Giorgetti *et al.*, 1997) para el potrero 2 sin posibilidad de riego.

Tabla 9: Tasa de crecimiento diario de biomasa aérea (kg MS ha⁻¹ día⁻¹) determinada como media de cada mes del año (Sevilla *et al.*, 2001).

Mes Potrero	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J
	1	4,8	4,8	26,9	27,3	48	24,5	24,5	24,4	13,5	10,2	10
2	3,35	0,54	0,82	4,01	3,20	6,35	1,83	6,14	0,81	0,84	0,38	1,04
3	12,2	12,2	48	48,8	48	24,5	24,5	24,5	13,3	13,3	13,3	12,2

3.2.5. Características de los animales y manejo

Las características del rodeo al inicio de las simulaciones fueron determinadas de igual manera para todos los tratamientos. El rodeo estuvo compuesto por bovinos de raza Angus de frame 3 en la escala 1 a 9. La edad promedio del rodeo de vacas fue de 5 años (1825 días) con vida útil de 7 años para vacas y toros. El peso medio de las vacas fue de 410 kg (390 a 430) y el de toros de 600 kg. Por su parte, el rodeo de vaquillonas, se dividió según su edad en dos sub rodeos que recibieron el mismo manejo y compartieron el potrero de pastoreo. La edad media del sub rodeo menor, fue de 360 días y su peso medio de 280 kg (250 a 310), mientras que la edad promedio del sub rodeo mayor fue de 720 días y su peso medio de 330 kg (320 a 340). En el caso de los terneros el peso medio al nacer fue de 30 kg en correspondencia al *frame* 3 de las madres (Fox *et al.*, 1988). El potencial de producción de leche medio en el pico de lactancia (*MPDL*) para las hembras del rodeo fue de 7 kg de leche y la

misma tuvo 4,03 % de grasa butirosa y 3,38 % de proteína en el pico de lactancia, medias adoptadas de NRC (2000). La condición corporal media inicial de los animales se estableció en 5 puntos en la escala de 1 a 9 (Herd; Sprott, 1996).

Basados en el manejo usual para la zona, la temporada de servicios se definió por un término de 90 días en los meses de octubre, noviembre y diciembre (01/10 al 30/12). Se asumió una duración media de la preñez de 285 días, dando como consecuencia partos en los meses julio, agosto, septiembre y octubre. La edad y peso mínimo al primer servicio de vaquillonas de reposición fue definida en 22 meses y 320 kg respectivamente.

Tradicionalmente en la zona se aconseja el destete y venta de terneros a los 6 meses de edad de los mismos, por lo que éste se consideró como destete convencional. En caso de destete precoz (2 meses de edad), desde el destete hasta la venta se siguió un plan de alimentación especial en corral (aproximadamente 4 meses) hasta la venta. En los tratamientos con destete precoz sistemático, el día 15 de cada mes se determinó el peso vivo de los terneros y se destetaron aquellos que pesaban 60 kg o más en cada ocasión. En los programas de destete precoz, se cumplen etapas donde las proporciones, cantidades y calidades de alimentos suministrados a los terneros se modifican en el tiempo (Kugler *et al.*, 2002). Por simplicidad, en este ensayo se usó una dieta media representativa de todo el período de alimentación a corral. La composición de la misma fue: 33 % balanceado de destete precoz (16 % PB), 33 % heno de alfalfa (20 % PB) y 34 % silaje de planta entera de sorgo (9 % PB).

La venta de terneros y terneras en cada tratamiento se realizó en una fecha única dentro del segundo tercio de febrero. Para definir ésta, se contabilizaron 180 días (aproximadamente 6 meses) a partir de la fecha media de partos. En este mismo momento, se seleccionaron las hembras para reposición conservando el 20 % de las terneras, las cuales pasaron al lote de vaquillonas.

Para la venta de vacas se aplicaron tres reglas de decisión. Primero, la pérdida de preñez (aborto) antes del parto genera la venta al comenzar el siguiente servicio (01/10). Segundo, falta de preñez al tacto (28/02) o la edad máxima permitida, indican la venta en ese momento. Tercero, ventas por pérdida excesiva de peso.

3.2.6. Datos Económicos

Los valores monetarios considerados fueron indexados a mayo de 2012 por el índice de precios internos al por mayor (IPIM) con base en el año 1993=100 provisto por el INDEC.

Patrimonio. En el *activo* se consideraron \$ 100000 en caja y \$ 250000 en cuentas bancarias. El valor de inmuebles determinado por tierra \$ 4142228 y edificios \$ 550000 y como bien de uso, una camioneta modelo 2002 a la que se consideró una vida útil de 10 años con valor de compra \$ 80000. No se consideró *pasivo* de ningún tipo.

Gastos. Los *gastos de estructura* se sintetizan en la tabla IV del apéndice de éste trabajo.

Retiros. No se consideraron retiros monetarios en el período simulado.

Precios. Los precios del ganado, insumos y labores, así como la fuente utilizada para obtenerlos se encuentran en el apéndice (Tablas IV, V y VI).

Recursos forrajeros. No se consideraron gastos de mantenimiento en las pasturas implantadas ni en el pastizal natural. Sin embargo, los costos de implantación (insumos y labores), de las pasturas se tuvieron en cuenta para las amortizaciones y se encuentran expresados en el apéndice de éste trabajo (Tabla V).

Suministro de alimentos. La mano de obra más insumos para el abastecimiento de los alimentos en el corral a los terneros destetados precozmente tuvo un costo equivalente al 5 % del valor del kilogramo de la dieta suministrada.

Comercialización y fletes. Los gastos considerados para la compra de animales fueron del 6 % del costo de la compra y los gastos por venta de animales fueron del 5 % del valor de la venta.

Respecto a la sanidad de los animales, se consideró el plan sanitario de rutina sin contemplar posibles enfermedades eventuales o de contingencia. Para conformar la estructura de costos de los diferentes tratamientos se tuvo en cuenta el número de animales y la categoría de los mismos en cada mes y el calendario sanitario.

El calendario sanitario y el listado de costos de insumos veterinarios que se utilizaron para los cálculos se encuentran en el apéndice (Tablas I y II respectivamente).

3.2.7. Variables Evaluadas

Para evaluar el impacto productivo-económico de los tratamientos, se consignaron las siguientes variables productivas: tasa de preñez al tacto, la condición corporal de las vacas y vaquillonas (escala 1 a 9) con énfasis en cuatro momentos de interés agronómico (Inicio de servicio, fin de servicio, tacto y parto); la ganancia diaria de peso vivo de los terneros (kg); el peso de los animales vendidos (kg); la venta anual de carne (kg ha⁻¹), total y por categoría animal; y las siguientes variables económicas: el margen bruto anual (\$ ha⁻¹) y la rentabilidad productiva.

El margen bruto (**MB**), es uno de los más clásicos índices utilizados para comparar la conveniencia entre actividades alternativas. Se estimó el margen bruto (**MB**, \$ ha⁻¹ año⁻¹) a través de la diferencia entre el ingreso neto (**IN**) y los costos directos (**CD**). El **IN** (\$ ha⁻¹ año⁻¹) resultó de la diferencia entre el ingreso bruto (**IB**) y los gastos de comercialización y flete. Para el cálculo de **IB** (\$ ha⁻¹ año⁻¹) se consideraron los ingresos efectivos (precio de venta de las distintas categorías) y los no efectivos (diferencia de inventario de animales). Para el cálculo de la diferencia de inventario de animales (**DIFA**, \$ ha⁻¹ año⁻¹) se consideraron los kg entre el inventario final y el inicial y posteriormente se asignó el valor por kg para cada una de las categorías que conformaron el inventario. El precio de venta de los animales se determinó considerando la fecha de venta y la categoría (Tabla VI del apéndice). Los gastos de comercialización y flete se consideraron como un porcentaje del precio de cada categoría.

El **CD** (\$ ha⁻¹ año⁻¹) resultó de la sumatoria de los costos. Los costos derivados de la sanidad se calcularon en función de la carga real a lo largo del año teniendo en cuenta el calendario sanitario. La mano de obra se consideró permanente, asignando un encargado para todo el establecimiento productivo y un peón general cada 100 vientres. Para el cálculo de amortización de la pastura consociada se consideró una vida útil de 12 años y no se consideró en el pastizal natural.

La rentabilidad productiva (**RP**) a diferencia del **MB**, tiene en cuenta el capital inmovilizado para la producción. En el caso de la cría vacuna se destaca la inmovilización en capital hacienda. La **RP** se calculó como el cociente entre el **MB** y el Capital Invertido (**CI**), siendo este último calculado como la sumatoria de la mitad de los gastos directos más el capital pastura al inicio y el capital hacienda. El capital pastura se valúa a la mitad del valor a nuevo o costo de implantación. El capital hacienda incluye a las vacas, vaquillonas y toros.

4. RESULTADOS

4.1. Desarrollo del Sub-Modelo del par vaca-ternero en el período de lactancia

Se presentan las ecuaciones y valores de las constantes sugeridas y mediante gráficos se muestra el comportamiento del Sub-Modelo para los factores principales.

4.1.1. Producción de leche

La producción de leche se estimó mediante la ecuación [1], basada en la distribución Gamma incompleta propuesta por Wood (1967), con modificaciones de George (1984) y Fox *et al.* (1988) para vacas de cría, que tiene en cuenta el tiempo transcurrido desde el parto, el potencial genético y la edad de la vaca (Tedeschi; Fox, 2009).

$$PDL_d = \frac{(A \times (t + q_1)^b \times e^{(-c \times (t + q_1))}) \times PL}{q_2} \quad [1]$$

$$A = q_3 - q_4 \times DPL \quad [2]$$

$$DPL = PL + q_5 \quad [3]$$

$$PL = (q_6 \times Fb + q_7) \times MPDL \quad [4]$$

$$b = \frac{\ln(bl) - \ln(A)}{\ln(DPL + q_1) - 1} \quad [5]$$

$$c = \frac{b}{DPL + q_1} \quad [6]$$

Donde: PDL_d es la producción de leche en el tiempo t (kg d⁻¹); A , b y c son parámetros positivos que definen la escala y la forma de la curva de lactancia (Fathi Nasri *et al.*, 2008) propios de la función Gamma incompleta (Wood, 1967) que no tienen interpretación biológica directa (Cobby; Le Du, 1978); PL es el pico de lactancia de la vaca ajustado por el nivel de producción dentro de la raza (kg d⁻¹); DPL es el día del pico de lactancia desde el parto (d); Fb es un factor de ajuste relativo a un biotipo dentro de una raza en particular, por defecto es 5 valor medio de la raza (la escala va de 1, extremadamente baja para la raza a 9 extremadamente alta para la raza);

MPDL es la media del nivel del pico de lactancia para la raza (kg d^{-1}) y **bl** es el exponente al cual se eleva la base e del logaritmo, dependiente de la edad de la vaca; q_n son constantes de la ecuación (Tabla 10).

En la figura 13 se muestra la producción potencial de leche en el tiempo, estimada a partir de la ecuación [1], utilizando cinco niveles de potencial productivo de leche (Fox *et al.*, 1988; Abdelsamei *et al.*, 2005; Tedeschi; Fox, 2009) en razas carniceras caracterizados por el **MPDL** (2,7; 5,4; 8,1; 10,8 y 13,6 kg). Los tres más bajos, representan a las razas británicas de bajo, medio y alto potencial productivo y los valores mayores a las razas continentales de bovinos para carne.

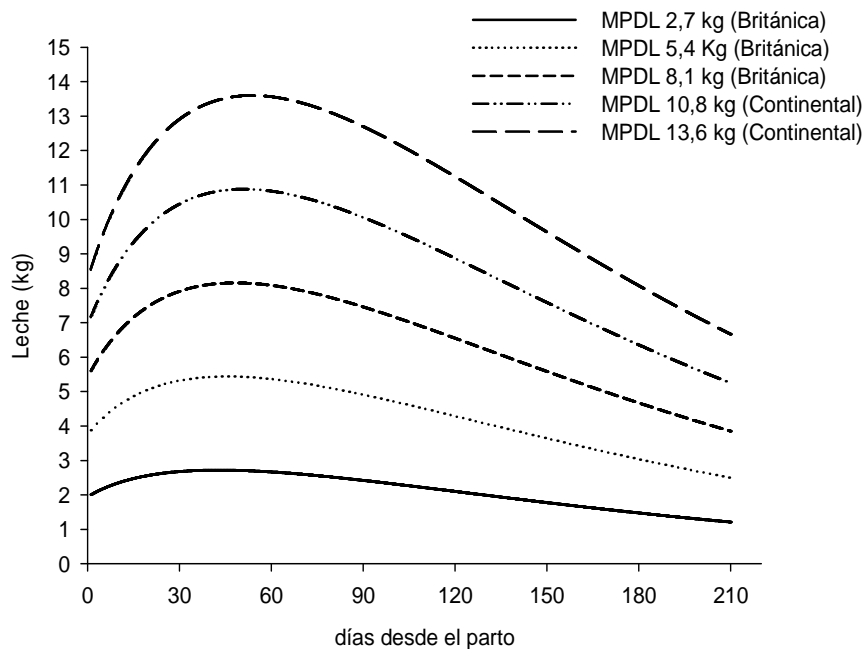


Figura 13: Curvas de lactancia para vacas de cinco niveles de potencial productivo de leche (razas carniceras británicas y continentales) caracterizadas por el pico medio de lactancia (**MPDL**).

A partir de la forma básica de la curva de lactancia se incorporaron una serie de factores de ajuste para caracterizar mejor en el tiempo a las vacas en lactancia.

La edad de la madre es uno de los factores que afecta la producción láctea (Jeffery *et al.*, 1971a; Neville *et al.*, 1974; Bailey *et al.*, 1991). Fox *et al.* (1988) proponen algunos ajustes para representar este efecto, los que modifican los parámetros que dan forma a la curva de lactancia propuesta por Wood (1967), (parámetros **A** [2], **b** [5] y **c** [6]), la **PDL_d** modificando **DPL** [3] y el **PL** [4]. En este modelo estos ajustes se incorporaron mediante ecuaciones condicionales.

$$\text{Condicional} \begin{cases} \text{si } E_v \leq 2_{\text{años}} \Rightarrow DPL = DPL + q_8 \\ \text{si } E_v = 3_{\text{años}} \Rightarrow DPL = DPL - q_8 \\ \text{si } E_v = 4_{\text{años}} \text{ o } > 10_{\text{años}} \Rightarrow DPL = DPL - q_9 \end{cases} \quad [7]$$

$$\text{Condicional} \begin{cases} \text{si } E_v \leq 2_{\text{años}} \Rightarrow bl = q_{10} \\ \text{si } E_v = 3_{\text{años}} \Rightarrow bl = q_{11} \\ \text{si } E_v = 4_{\text{años}} \text{ o } > 10_{\text{años}} \Rightarrow bl = q_{12} \\ \text{si } E_v > 4_{\text{años}} \text{ o } < 10_{\text{años}} \Rightarrow bl = q_{13} \end{cases} \quad [8]$$

$$\text{Condicional} \begin{cases} \text{si } E_v \leq 2_{\text{años}} \Rightarrow A = q_{14} - q_{15} \times DPL \\ \text{si } E_v = 3_{\text{años}} \Rightarrow A = q_{16} - q_{17} \times DPL \\ \text{si } E_v = 4_{\text{años}} \Rightarrow A = q_{18} - q_{19} \times DPL \end{cases} \quad [9]$$

$$\text{Condicional} \begin{cases} \text{si } E_v \leq 2_{\text{años}} \Rightarrow PL = PL \times q_{20} \\ \text{si } E_v = 3_{\text{años}} \Rightarrow PL = PL \times q_{21} \\ \text{si } E_v = 4_{\text{años}} \text{ o } > 10_{\text{años}} \Rightarrow PL = PL \times q_{22} \end{cases} \quad [10]$$

Donde: E_v es la edad de la vaca (años); DPL es el día del pico de lactancia desde el parto (d); bl es el exponente al cual se eleva la base e del logaritmo usada en la ecuación [5] dependiente de la edad de la madre, para calcular el parámetro b de Wood; A es uno de los parámetros de Wood, que dan forma a la curva de lactancia; PL es el pico de lactancia de la vaca ajustado por el nivel de producción dentro de la raza (kg d^{-1}); q_n son constantes de las ecuaciones (Tabla 10).

Tabla 10 Constantes para ecuaciones de producción de leche (q_n)

Constante	Definición*	Unidad**	Valor	Referencia
q_1	Parámetro de tiempo	d	14	(Tedeschi; Fox, 2009)
q_2	S/D	-	10	(Tedeschi; Fox, 2009)
q_3	S/D	-	5,30	(Tedeschi; Fox, 2009)
q_4	S/D	-	0,075	(Tedeschi; Fox, 2009)
q_5	Parámetro de tiempo	d	40	(Tedeschi; Fox, 2009)
q_6	S/D	-	0,125	(Tedeschi; Fox, 2009)
q_7	S/D	-	0,375	(Tedeschi; Fox, 2009)
q_8	Parámetro de tiempo	d	10	(Fox <i>et al.</i> , 1988)
q_9	Parámetro de tiempo	d	5	(Fox <i>et al.</i> , 1988)
q_{10}	Exponente del logaritmo	-	6	(Fox <i>et al.</i> , 1988)
q_{11}	Exponente del logaritmo	-	8,25	(Fox <i>et al.</i> , 1988)
q_{12}	Exponente del logaritmo	-	9,25	(Fox <i>et al.</i> , 1988)
q_{13}	Exponente del logaritmo	-	10	(Fox <i>et al.</i> , 1988)
q_{14}	S/D	-	4	(Fox <i>et al.</i> , 1988)

Continúa...

Constante	Definición*	Unidad**	Valor	Referencia
q_{15}	S/D	-	0,05	(Fox <i>et al.</i> , 1988)
q_{16}	S/D	-	6,65	(Fox <i>et al.</i> , 1988)
q_{17}	S/D	-	0,11	(Fox <i>et al.</i> , 1988)
q_{18}	S/D	-	5,85	(Fox <i>et al.</i> , 1988)
q_{19}	S/D	-	0,09	(Fox <i>et al.</i> , 1988)
q_{20}	Proporción	-	0,6	(Fox <i>et al.</i> , 1988)
q_{21}	Proporción	-	0,825	(Fox <i>et al.</i> , 1988)
q_{22}	Proporción	-	0,925	(Fox <i>et al.</i> , 1988)

* S/D: Sin definición en el modelo original. **- : Sin unidad informada en el modelo original.

La incorporación al Sub-Modelo de los ajustes por edad propuestos por Fox *et al.* (1988) se aprecian en la figura 14. La edad de la madre impactó en la PDL_d de modo que se incrementó paulatinamente con la edad hasta alcanzar un máximo donde quedó estabilizada (5 a 9 años de edad) y descendió a partir del décimo año de vida.

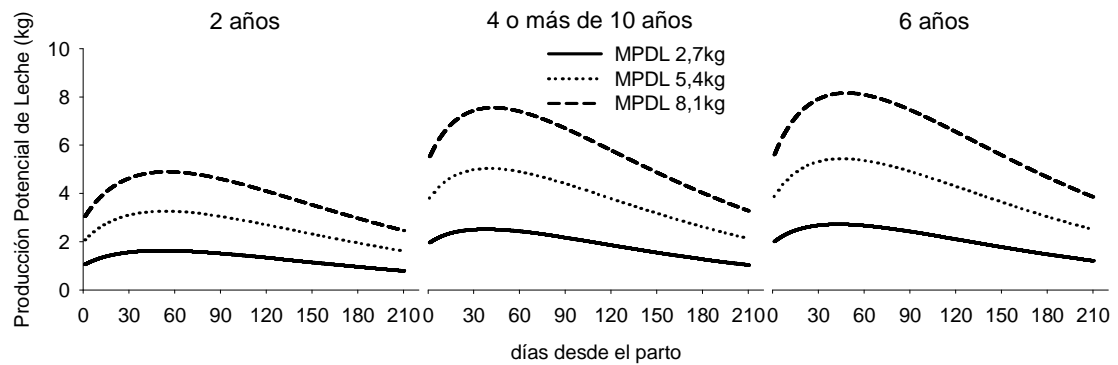


Figura 14: Efecto de tres edades de la vaca (E_v) y del potencial de producción lechera ($MPDL$) en la evolución de la producción de leche.

La composición de la leche es un parámetro que varía con la evolución de la lactancia (Melton *et al.*, 1967; Gleddie; Berg, 1968). Conocer la composición de la leche, permite determinar con mayor precisión la demanda energética y proteica de la vaca para producir leche y por ende, la energía y proteína que recibe el ternero lactante cuando la consume.

$$g_l = q_{23} \times P g_l \times \left(\frac{(t + q_{24})^{-q_{26}}}{q_{25}} \right) \times e^{q_{27} \times \left(\frac{t + q_{24}}{q_{25}} \right)} \quad [11]$$

$$p_l = q_{28} \times P p_l \times \left(\frac{(t + q_{24})^{-q_{26}}}{q_{25}} \right) \times e^{q_{27} \times \left(\frac{t + q_{24}}{q_{25}} \right)} \quad [12]$$

$$l_l = q_{29} - q_{30} \times t \quad [13]$$

Donde: g_l es grasa en leche (%) un determinado día t de la lactancia; Pg_l es el pico de grasa en leche (%) definido por usuario; pl es proteína en leche (%) un determinado día t de la lactancia; Ppl es el pico de proteína en leche (%) definido por usuario; l_l es lactosa en leche un determinado día t de la lactancia; q_n son constantes de las ecuaciones de composición de leche (Tabla 11).

Con esta composición diaria calculada, ecuaciones [11 a 13], se obtiene la demanda de energía y proteína correspondiente a la producción de leche.

$$REM_l = q_{31} \times PDL_d \times \frac{(g_l + q_{32})}{q_{33}} \quad [14]$$

$$RPN_l = q_{34} \times PDL_d \times pl \quad [15]$$

Donde: REM_l requerimiento de energía metabolizable para producción de leche (Mcal d^{-1}); PDL_d es la producción diaria de leche (kg d^{-1}); g_l es grasa en leche (%); RPN_l requerimiento de proteína neta (g d^{-1}); pl es proteína en leche (%); q_n son constantes de las ecuaciones de composición de leche (Tabla 11 y 12).

Tabla 11 Constantes para ecuaciones de composición de leche y demanda de energía y proteína para su producción, *valores de referencia (NRC, 2000).

Constante	Definición	Unidad	Valor
Pg_l	Pico de grasa en leche	%	*4.03±1.24
Ppl	Pico de proteína en leche	%	*3.38±0.27

Tabla 12 Constantes (q_n) para ecuaciones de composición de leche y demanda de energía y proteína para su producción (Fox *et al.*, 1988).

Constante	Valor	Constante	Valor
q_{23}	1,01	q_{29}	5
q_{24}	1	q_{30}	0,0027
q_{25}	7	q_{31}	0,1
q_{26}	0,13	q_{32}	3,4
q_{27}	0,02	q_{33}	0,65
q_{28}	1,14	q_{34}	10

Para apreciar el efecto de la composición de la leche se simularon las lactancias de vacas de 6 años de edad, con tres niveles de PDL_d , y diferente composición (Figuras 15 y 16) basada en datos de diversos trabajos y caracterizada por Pg_l y Pp_l (Melton *et al.*, 1967; Gleddie; Berg, 1968; Bailey *et al.*, 1991; Brown; Lalman, 2010). Puede apreciarse la importancia de precisar la composición de la leche y su evolución durante la lactancia ya que estos modifican sustancialmente los requerimientos diarios de energía y proteína para producir leche.

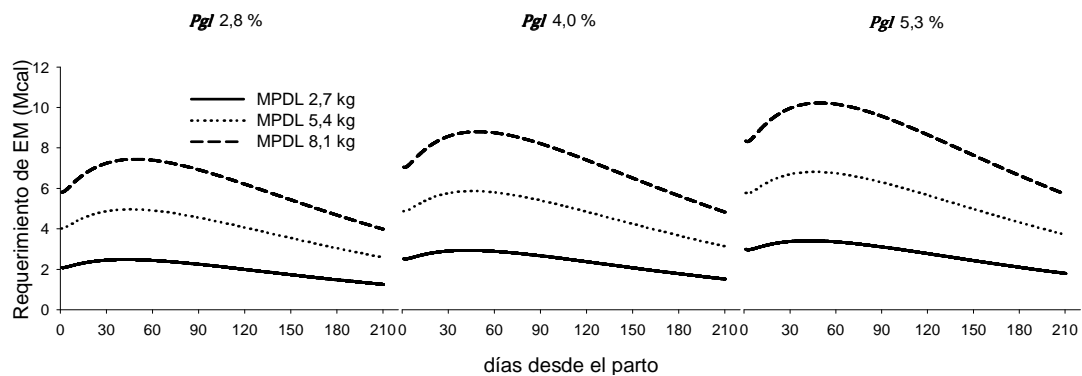


Figura 15: Efecto de la composición de la leche caracterizada por el pico de grasa en leche (Pg_l) y del potencial de producción lechera ($MPDL$) de la madre, sobre el requerimiento de energía metabolizable para producción de leche.

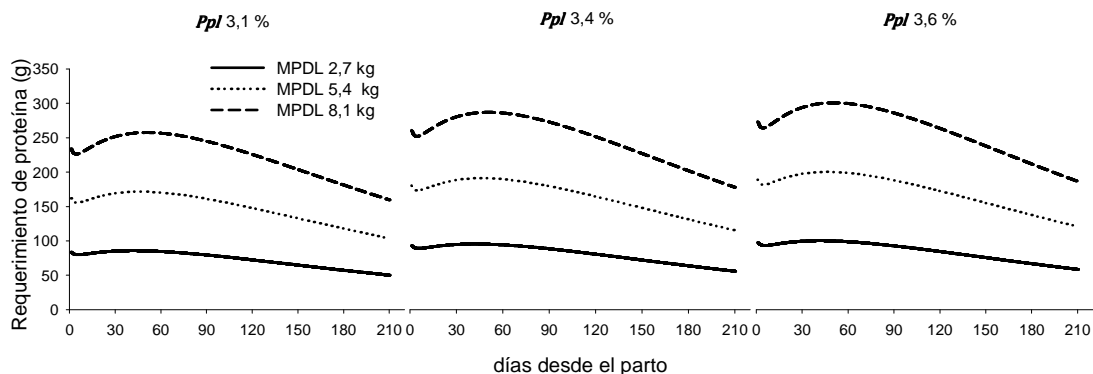


Figura 16: Efecto de la composición de la leche caracterizada por el pico de proteína en leche (Pp_l) y del potencial de producción lechera ($MPDL$) de vacas de 6 años de edad, sobre el requerimiento de proteína neta para producción de leche.

En los sistemas reales de producción de cría vacuna, muchas veces los requerimientos para la producción de leche no pueden ser cubiertos con los aportes del alimento que los animales consumen en ese momento, y en consecuencia se crea un balance negativo de energía y/o proteína. Ante esta situación los animales movilizan reservas corporales para cubrir el déficit (dentro de ciertos límites biológicos), bajan de peso y pierden condición corporal (CC) (Buskirk *et al.*, 1992). Para representar este aspecto, se incorporaron una serie de ecuaciones [16 a 27]

propuestas por Fox *et al.* (1988), que permiten representar el grado de movilización de reservas que puede realizar la madre.

$$G_{cv} = q_{35} \times (q_{36} - e^{(q_{37} \times (E_v \times q_{38}))}) \quad [16]$$

$$G_d = q_{39} + (q_{40} \times G_{cv} - q_{41}) \times (CC - q_{42}) \quad [17]$$

$$P_{cv} = q_{43} \times PV - q_{44} \times MA - q_{45} \quad [18]$$

$$Pt_{cv} = (q_{46} - q_{47} \times G_{cv}) \times q_{48} \quad [19]$$

$$Pt_{cvA} = (q_{46} - q_{47} \times G_d) \times q_{48} \quad [20]$$

$$Pt = P_{cv} \times (Pt_{cv} \times q_{49}) \quad [21]$$

$$\text{Condicional} \quad \begin{cases} \text{si } CC \leq 5 \Rightarrow CC_l = CC \\ \text{si } CC > 5 \Rightarrow CC_l = 5 \end{cases} \quad [22]$$

$$Pt_d = Pt \times (q_{50} + q_{51} \times (CC_l - q_{42})) \quad [23]$$

$$Pt_m = Pt_d - q_{50} \times (Pt) \quad [24]$$

$$P_{cvA} = \left(\frac{Pt_d}{Pt_{cvA}} \right) \times q_{52} \quad [25]$$

$$G_m = \left(\frac{(G_d - q_{39})}{q_{52}} \right) \times P_{cvA} \quad [26]$$

$$TE_{rc} = q_{53} \times G_m + q_{54} \times Pt_m \quad [27]$$

Donde: G_{cv} grasa en el cuerpo vacío (%); E_v edad de la vaca (años); G_d grasa en el cuerpo vacío disponible para movilización (%); CC condición corporal (Esc.: 1-9); P_{cv} peso del cuerpo vacío (kg); PV peso vivo del animal (kg); MA masa de cenizas (kg); Pt_{cv} proteína en el cuerpo vacío (%); Pt_{cvA} proteína en el cuerpo vacío ajustada por la reserva de grasa; Pt proteína en el cuerpo (kg); CC_l condición corporal limitada a un máximo en 5 para la acumulación de proteína; Pt_d proteína corporal disponible ajustada por CC ; Pt_m proteína corporal que puede ser movilizada (kg); P_{cvA} peso del cuerpo vacío ajustado por reserva de proteínas; G_m grasa corporal que puede ser movilizada (kg); TE_{rc} total de energía de las reservas corporales (Mcal); q_n son constantes de las ecuaciones (Tabla 13).

Tabla 13: Constantes para ecuaciones de reservas corporales (q_n) (Fox *et al.*, 1988).

Constante	Definición*	Unidad**	Valor de referencia
q_{35}	S/D	-	22,5
q_{36}	S/D	-	1
q_{37}	S/D	-	-0,00536
q_{38}	S/D	d	365
q_{39}	S/D	-	5
q_{40}	S/D	-	0,25
q_{41}	S/D	-	1,25
q_{42}	Punto de CC	-	1
q_{43}	S/D	-	0,8928
q_{44}	S/D	-	8,2
q_{45}	S/D	-	17,5
q_{46}	S/D	-	23,7
q_{47}	S/D	-	0,027
q_{48}	S/D	-	0,7995
q_{49}	S/D	-	0,01
q_{50}	S/D	-	0,75
q_{51}	S/D	-	0,0625
q_{52}	S/D	-	100
q_{53}	EM de la materia grasa	Mcal	9,499
q_{54}	EM de la proteína	Mcal	4,775
MA	Masa de cenizas	kg	1,56

* S/D: Sin definición en el modelo original. **- : Sin unidad informada en el modelo original.

En la Figura 17 se muestra como la disponibilidad de energía proveniente de las reservas corporales que podrían ser movilizadas, se incrementa conforme avanza la edad y la puntuación de condición corporal.

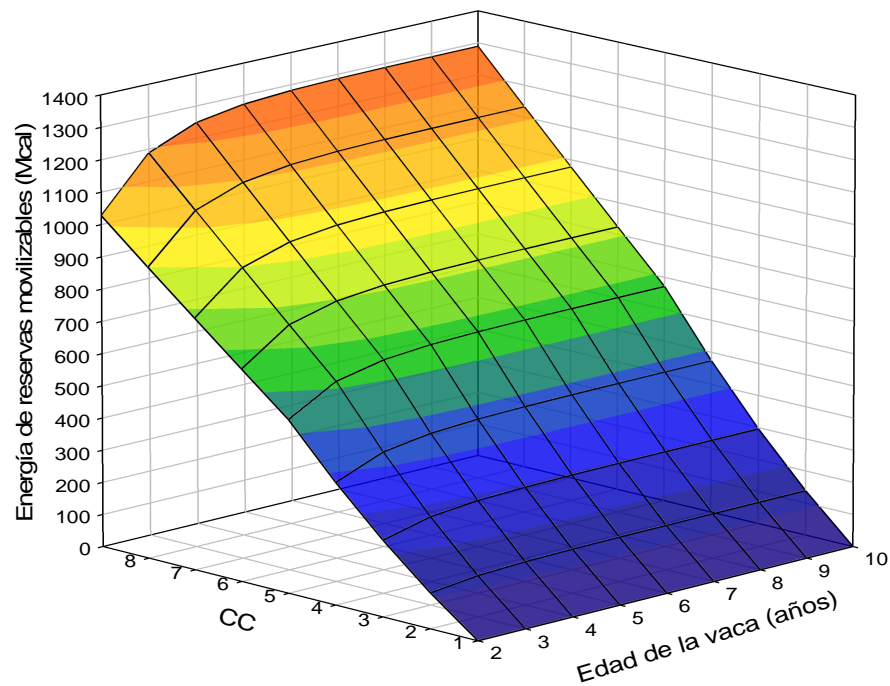


Figura 17: Efecto de la condición corporal (CC) y la edad de la vaca (E_v) en la disponibilidad de reservas corporales para ser movilizadas.

4.1.2. Representación del consumo de leche

Para el cálculo de consumo de leche (CMS_l), se seleccionó una ecuación que tiene como variable al peso vivo del ternero lactante (PV_l) y una serie de parámetros basados en el $MPDL$.

$$CMS_l = (PV_l^{a'}) \times (e^{(b'+c' \times PV_l)}), \quad [28]$$

$$a' = q_{54} + q_{55} \times MPDL - q_{56} \times MPDL^2 \quad [29]$$

$$b' = q_{57} - q_{58} \times MPDL + q_{59} \times MPDL^2 \quad [30]$$

$$c' = q_{60} - q_{61} \times MPDL + q_{62} \times MPDL^2 \quad [31]$$

Donde: CMS_l es el consumo potencial de leche (kg MS d^{-1}); PV_l es el peso vivo del ternero lactante (kg); a' , b' y c' son parámetros de la ecuación [28] y $MPDL$ es la media del nivel del pico de lactancia para la raza (kg d^{-1}), q_n son constantes de las ecuaciones para predecir el consumo de leche (Tabla 14).

Con el agregado de una función condicional, el CMS_l es restringido a la leche disponible para el ternero, en caso de que ésta sea limitante.

$$\text{Condicional } \begin{cases} \text{si } CMS_l \geq PDL_d \Rightarrow CMS_l = PDL_d \\ \text{si } CMS_l < PDL_d \Rightarrow CMS_l = CMS_l \end{cases} \quad [32]$$

Donde: CMS_l es el consumo de leche (kg MS d⁻¹); PDL_d es la producción diaria de leche (kg d⁻¹).

En el ejemplo simulado que se muestra en la figura 18, puede verse que en bajos potenciales de producción láctea de la madre ($MPDL$) el consumo de leche del ternero lactante (C_l) se ajustó en casi todo el período de lactancia a la producción potencial, mientras que en mayores potenciales productivos de las madres, el consumo de leche (C_l) fue siempre inferior, siendo éste el que limitó la PDL_d .

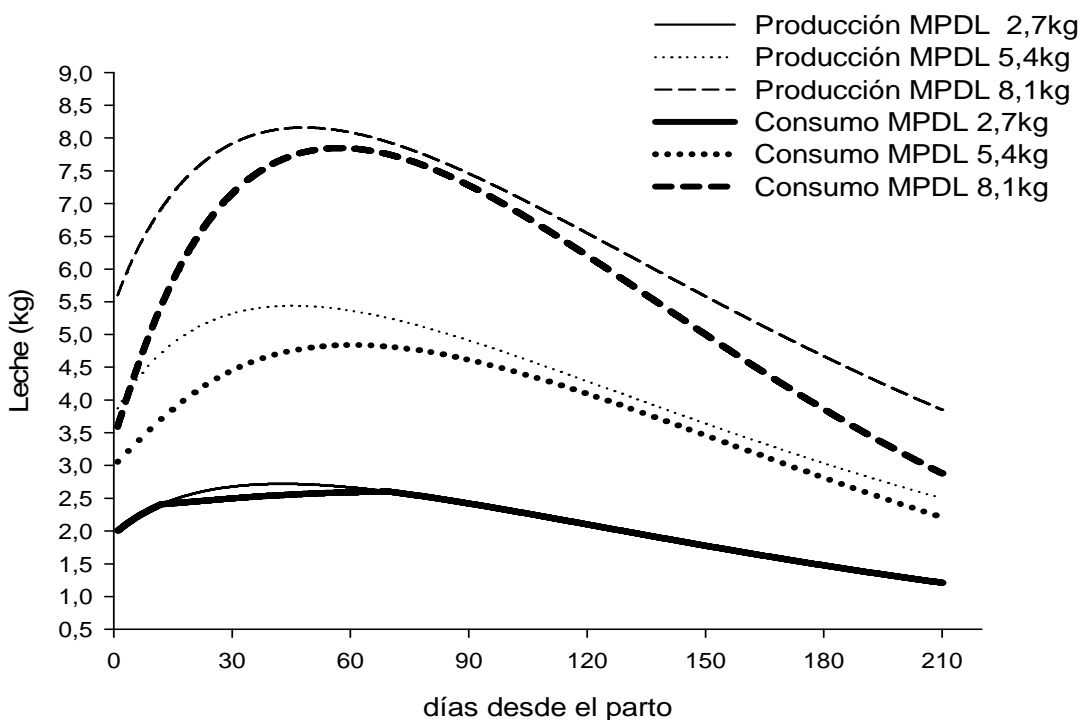


Figura 18: Efecto del potencial de producción láctea de la madre ($MPDL$), sobre el consumo de leche del ternero (C_l) durante la lactancia.

Tabla 14: Constantes para ecuaciones de consumo de leche (q_n) (Tedeschi; Fox, 2009).

Constante	Valor	Constante	Valor
q_{54}	-0,3895	q_{59}	0,0588
q_{55}	0,4477	q_{60}	-0,00244
q_{56}	0,0197	q_{61}	0,00337
q_{57}	0,3224	q_{62}	0,00018
q_{58}	1,3594		

4.1.3. Representación de consumo de forraje del ternero lactante

Un análisis amplio de modelos predictivos del consumo de materia seca en bovinos se presenta en NRC (1987) sin embargo, la mayoría de los modelos presentados no consideran, o lo hacen sin mayor detalle, al consumo de forrajes en terneros lactantes. En tal sentido, Tedeschi y Fox (2009) proponen funciones basadas en PDL_d , PV_l y la calidad del forraje para la predicción del consumo de forraje en terneros lactantes, de tal manera que sean sensibles a una diversidad de posibles planteos productivos.

$$CMS_f = ED_F^{-2} \times [d' \times h' \times [f' \times [-q_{63} + (q_{64} - q_{65} \times ED_F) \times ED_F] \times j' + g' \times i' \times (q_{66} + ED_F \times [q_{67} + ED_F \times (q_{68} - q_{69} \times MPDL) + q_{70} \times MPDL] - q_{71} \times MPDL) + e' \times i' \times (q_{72} + ED_F \times [q_{73} + ED_F \times (-q_{74} + q_{75} \times MPDL) - q_{76} \times MPDL] + q_{77} \times MPDL)]] \quad [33]$$

$$d' = PV_l^{(q_{78} - q_{79} \times MPDL^2)} \quad [34]$$

$$e' = PV_l^{(q_{78} + q_{79} \times MPDL^2)} \quad [35]$$

$$f' = PV_l^{q_{83} \times MPDL} \quad [36]$$

$$g' = PV_l^{(q_{86} + q_{79} \times MPDL^2)} \quad [37]$$

$$h' = e^{[PV_l \times (q_{80} - q_{81} \times MPDL) - q_{82} \times MPDL]} \quad [38]$$

$$i' = e^{[PV_l \times (q_{87} + q_{81} \times MPDL) + q_{82} \times MPDL]} \quad [39]$$

$$j' = e^{[(q_{84} + q_{85} \times PV_l) \times MPDL^2]} \quad [40]$$

Donde: CMS_f es el consumo de forraje (kg MS d^{-1}); PV_l es el peso vivo del ternero lactante (kg); $MPDL$ es la media del nivel del pico de lactancia para la raza (kg d^{-1}); ED_F es la energía digestible del forraje (Mcal kg MS $^{-1}$) y q_n son constantes (Tabla 15).

Tabla 15: Constantes para ecuaciones de consumo de forraje (q_n) (Tedeschi; Fox, 2009).

Constante	Valor	Constante	Valor
q_{63}	-32,5704	q_{76}	1,31981
q_{64}	27,9016	q_{77}	1,54065
q_{65}	7,66732	q_{78}	-0,3895
q_{66}	0,4738	q_{79}	0,0197
q_{67}	-0,4059	q_{80}	-0,00244
q_{68}	0,11154	q_{81}	0,00337
q_{69}	0,003273	q_{82}	1,3594
q_{70}	0,01191	q_{83}	0,4477
q_{71}	0,0139046	q_{84}	0,0588
q_{72}	-10,3049	q_{85}	0,00018
q_{73}	8,82778	q_{86}	1,3895
q_{74}	-2,42586	q_{87}	0,00244
q_{75}	0,362681		

Durante la lactancia, el consumo de forraje por parte de los terneros, así como su calidad, están relacionados con el consumo de leche. Para comprobar la sensibilidad del Sub-Modelo frente a esto, se probaron tres calidades de forraje caracterizadas por la digestibilidad ($DigF$) como baja, media y alta. Los terneros cuyas madres tuvieron mayor potencial productivo ($MPDL$) y además consumieron forrajes (CMS_f) de mayor $DigF$, presentaron valores mayores de ganancias de peso vivo ($VDPV$), en relación a aquellos que consumieron menos leche o forrajes de inferior calidad. Por otra parte, el consumo de forrajes por terneros lactantes se inició más tarde cuando la $MPDL$ fue mayor (Figuras 19 y 20).

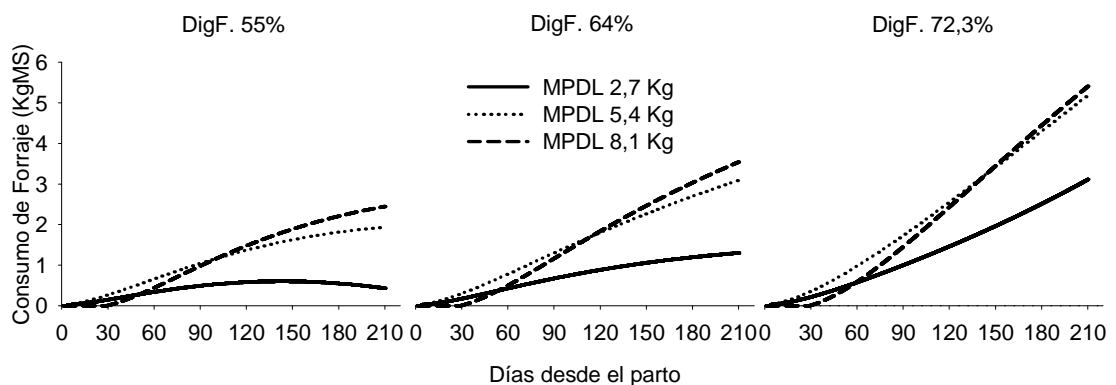


Figura 19: Efecto de la calidad del forraje expresada como digestibilidad ($DigF$) y del potencial de producción lechera ($MPDL$) de la madre sobre el consumo de forraje (CMS_f) del ternero lactante.

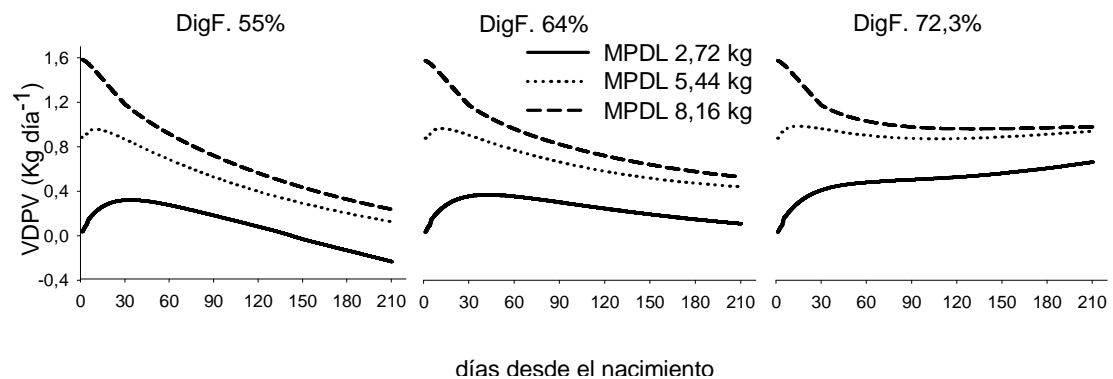


Figura 20: Efecto de la calidad del forraje expresado como digestibilidad (*DigF*) y del potencial de producción lechera (*MPDL*) de la madre sobre la variación diaria de peso vivo (*VDPV*) del ternero lactante.

4.1.4. Interacciones producción de leche, consumo de leche y forraje

Lo planteado hasta el momento permite representar lo potencial, para llevarlo a condiciones semejantes a la realidad, una vez calculados la producción de leche (ecuaciones [1 a 10]) y los consumos de leche (ecuaciones [28 a 32]) y forraje (ecuaciones [33 a 40]), se incorporaron al Sub-Modelo algunas funciones de ajuste.

Dado que el vaciado de la ubre es un modulador de la curva de producción láctea (Jeffery *et al.*, 1971a; Butson; Berg, 1983; Fitzgerald *et al.*, 2007), se modeló la producción de leche según la síntesis y muerte de células secretoras en la glándula mamaria, representando esto la relación entre consumo y producción de leche, mediante algunas ecuaciones del modelo propuesto por Blanc *et al.* (2000). En dicho modelo la síntesis y la muerte natural de células secretoras se asumen constantes durante toda la lactancia, y la muerte inducida por la leche remanente sería el factor que genera variación dependiendo de la PDL_d , el CMS_l , el CMS_f y de todos los parámetros que interactúan con estas variables. Ese modelo postula que la síntesis de leche está determinada por el número de células secretoras y por la tasa de secreción láctea de cada célula (expresando la producción en cada hora durante las 24 horas de cada día). Para los cálculos, se emplearon algunos parámetros y coeficientes que se muestran en la Tabla 16.

$$PDL_h = Ns(t) \times Ts \quad [41]$$

Donde: PDL_h es la producción de leche en el tiempo (kg); Ns es el número de células secretoras en el tiempo t ; Ts es la tasa de síntesis láctea de cada célula secretora (kg h^{-1}).

Debido a que PDL_d es calculada por el modelo de Tedeschi; Fox (2009) y Ts es un parámetro que se asume tiene valor fijo, el número de células secretoras inicial (Ns_{ini}) con que comienza la lactancia puede ser despejado de la ecuación [41].

El Ns es modificado cada hora por una tasa de variación que contempla la síntesis de nuevas Ns y la muerte de las mismas.

$$Ns = Ns + \Delta Ns \quad [42]$$

$$\Delta Ns = \mu \times (NsMax - Ns) - (\lambda \times Ns + (\beta \times lr) \times Ns) \quad [43]$$

Donde: ΔNs es la tasa de variación del número de células secretoras (células h^{-1}); μ es la tasa de división celular (células h^{-1}); $NsMax$ es el número máximo de células secretoras; λ es la tasa de degradación de células secretoras (células h^{-1}); Ns es el número de células secretoras; β es la sensibilidad de la ubre a la leche remanente (células $kg^{-1} h^{-1}$); lr es la leche remanente acumulada (kg).

Luego la PDL_h es regulada por el flujo de llenado de la ubre ($K1$).

$$K1_{(t,LCu)} = \delta \times \left(1 - \frac{LCu}{LCu_{max}}\right) \quad [44]$$

Donde: $K1$ es el flujo de llenado de la ubre (kg h^{-1}); δ es la tasa de llenado (kg h^{-1}); LCu es la leche contenida en la ubre (kg); LCu_{max} es la máxima capacidad de contener leche de la ubre (kg).

Mediante una función condicional, se regula LCu cada hora.

$$\text{Condicional} \quad \begin{cases} \text{si } K1 \geq PDL_h \Rightarrow LCu = LCu + PDL_h \\ \text{si } K1 < PDL_h \Rightarrow LCu = LCu + K1 \end{cases} \quad [45]$$

En referencia a la ecuación [28] para estimar el CMS_L potencial, otro factor a considerar es la ingestión de la leche en forma líquida. En este Sub-Modelo el consumo de leche se simula en dos tomas (horas 12 y 24 de cada día). Si bien el modelo de Blanc *et al.* (2000) contempla el cálculo de consumo de leche basado en el PV_L , en este Sub-Modelo se usa el CMS_L calculado previamente en la ecuación [28] como medio de vinculación entre los modelos aquí tratados, y para simular los momentos de amamantamiento (horas 12 y 24) en este caso se divide en 2 por ser 2 momentos y se corrige por materia seca de la leche (MS_L) para obtener la capacidad de consumo de leche del ternero (ecuación [46]).

$$CI_L = \frac{\left(\frac{CMS_L}{2}\right)}{MS_L} \quad [46]$$

Donde: CI_L es la capacidad de ingestión de leche del ternero lactante en cada succión (kg); CMS_L es el consumo de leche calculado en la ecuación [28]; MS_L es la proporción de materia seca de la leche.

Posteriormente se comparan CI_L con LCu mediante una función condicional y de este modo, se obtiene la verdadera extracción de leche de la ubre (elu) para luego cuantificar la leche remanente (lr).

$$\text{Condicional} \quad \begin{cases} \text{si } CI_L \geq LCu \Rightarrow elu = LCu \\ \text{si } CI_L < LCu \Rightarrow elu = CI_L \end{cases} \quad [47]$$

$$lr = LCu - elu \quad [48]$$

Donde: CI_L es la capacidad de ingestión de leche del ternero lactante en cada succión (kg); LCu es la leche contenida en la ubre (kg); lr es la leche remanente en la ubre (kg); elu es la leche que extrae el ternero por succión (kg).

El cálculo de lr , ecuación [48], se realiza en cada amamantamiento (hora 12 y 24 de cada día) donde se genera lr para cada momento (lr_{12} y lr_{24}). Posteriormente, el Sub-Modelo realiza el cálculo de la verdadera producción láctea de la vaca cada día, la cual estará dada por la ecuación [49], que generalmente difiere de la PDL_d potencial.

$$PDL_a = (LCu_{12} - lr_{24}) + (LCu_{24} - lr_{12}) \quad [49]$$

Donde: PDL_a es la producción de leche ajustada por lr (kg d⁻¹); LCu_{12} es la leche contenida en la ubre a la hora 12 justo antes de la succión; LCu_{24} es la leche contenida en la ubre a la hora 24 justo antes de la succión; lr_{12} es la leche que queda como remanente luego de la succión a la hora 12; lr_{24} es la leche que queda como remanente luego de la succión a la hora 24.

Por último, luego de la succión LCu se iguala a la lr , para el reinicio del ciclo de cálculos (ecuación [50]).

$$LCu = lr, \quad [50]$$

Donde: LCu es la leche contenida en la ubre (kg); lr es la leche remanente en la ubre (kg) luego de la succión.

Tabla 16: Variables y parámetros del modelo (Blanc *et al.*, 2000)

Variable	Símbolo	Unidad**	Valor de referencia*
Número de células secretoras	Ns	-	S/VR
Leche en la Ubre	LCu	kg	S/VR
Leche remanente acumulada	lr	kg	S/VR
Leche extraída por succión	elu	kg	S/VR
Capacidad de ingestión de leche	CI_l	kg	S/VR
Tasa de secreción láctea de las células	Ts	kg h ⁻¹	2,1 x 10 ⁻⁴
Tasa de división celular	μ	h ⁻¹	8,4 x 10 ⁻⁴
Tasa de degradación de células basales	λ	h ⁻¹	9 x 10 ⁻⁴
Sensibilidad a la leche remanente	β	kg ⁻¹ h ⁻¹	5 x 10 ⁻⁵
Tasa de llenado	δ	kg h ⁻¹	0,75
Máxima capacidad de la ubre	LCu_{max}	kg	15
Máximo número de células secretoras	Ns_{Max}	-	8000
Número inicial de células secretoras	Ns_{ini}	-	800

* S/VR; Sin valor de referencia en el modelo original. **: Sin unidad informada en el modelo original.

En consecuencia, el potencial productivo de leche (ecuación [1]) es regulado por el consumo de leche de la cría (ecuación [28]) mediante la síntesis y muerte de células secretoras (ecuación [43]) resultando en una producción láctea ajustada por el consumo de la cría (ecuación [49]).

La ejecución del Sub-Modelo mostró el resultado de la regulación en la producción de leche. Al comparar las curvas de producción potencial y ajustada de leche en una lactancia de 210 días, puede apreciarse (Figuras 21) que la producción ajustada de leche respecto de la potencial difirió poco en vacas de bajos niveles de producción láctea mientras que en vacas de nivel medios y altos, la diferencia entre producción potencial y real se manifestó en las etapas iniciales de la lactancia.

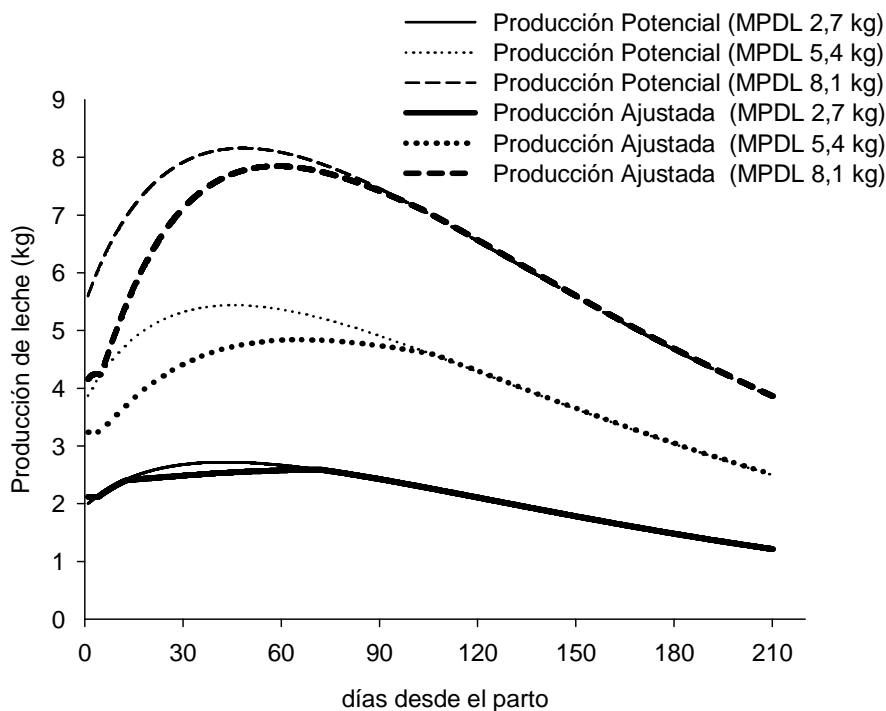


Figura 21: Diferencia entre producción potencial y ajustada de leche, determinada por la capacidad de ingestión de leche del ternero (CI_l) y la producción potencial de leche de su madre (PDL_d) a través del efecto de la leche remanente (lr).

El consumo de alimento para las crías, está conformado por la leche, ecuación [47] y el forraje, ecuación [33]. La calidad del forraje ($DigF$) y el PV_l , también modifican el consumo de alimentos.

En la figura 22 el comportamiento del Sub-Modelo muestra que el mayor efecto en el consumo de leche por el ternero lactante estuvo determinado por el $MPDL$ de su madre, asociado también a la calidad del forraje que consumió, esto último sobre todo en la última etapa de la lactancia y en los mayores $MPDL$.

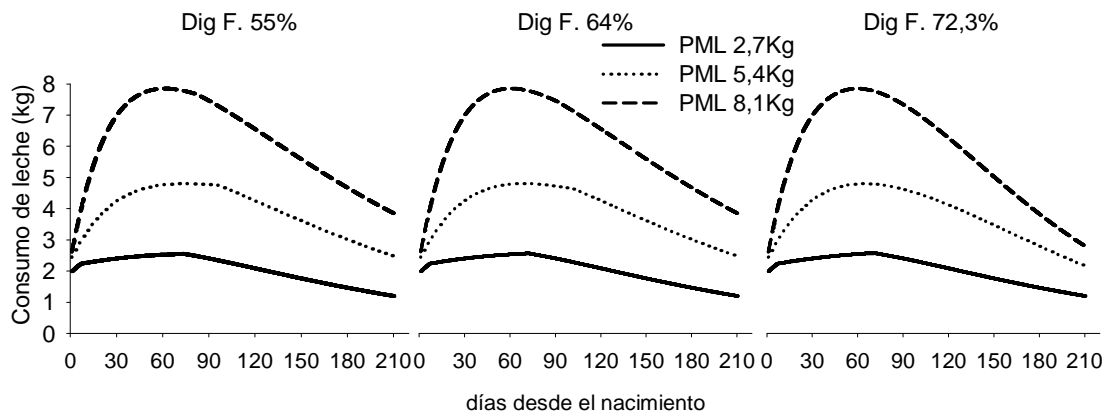


Figura 22: Efecto de la calidad de forraje caracterizada por la digestibilidad (*DigF*) y el potencial productivo de leche de la madre (*MPDL*), en la evolución del consumo de leche por el ternero lactante.

El peso vivo al nacimiento del ternero (PV_n) no tuvo un efecto importante en el consumo de alimentos del mismo. En las pruebas realizadas con el Sub-Modelo para consumo de leche (Figura 23) y forraje (Figura 24), las pequeñas diferencias se vieron en los primeros y últimos días de lactancia y se apreciaron sobre todo cuando la madre tuvo mayor *MPDL*. La *MPDL* sí tuvo un marcado efecto en el consumo de leche y forraje para los terneros.

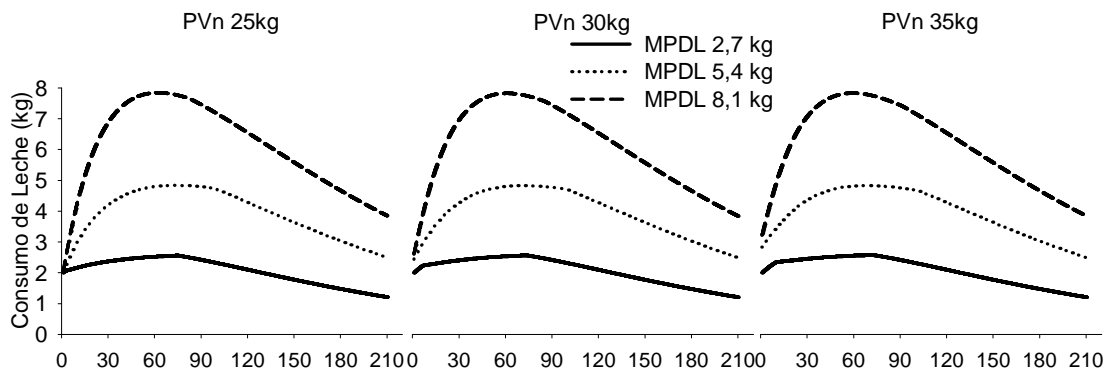


Figura 23: Efecto del peso vivo al nacimiento (PV_n) del ternero y el potencial productivo de leche de su madre (*MPDL*) sobre la evolución del consumo de leche del mismo.

Resultados

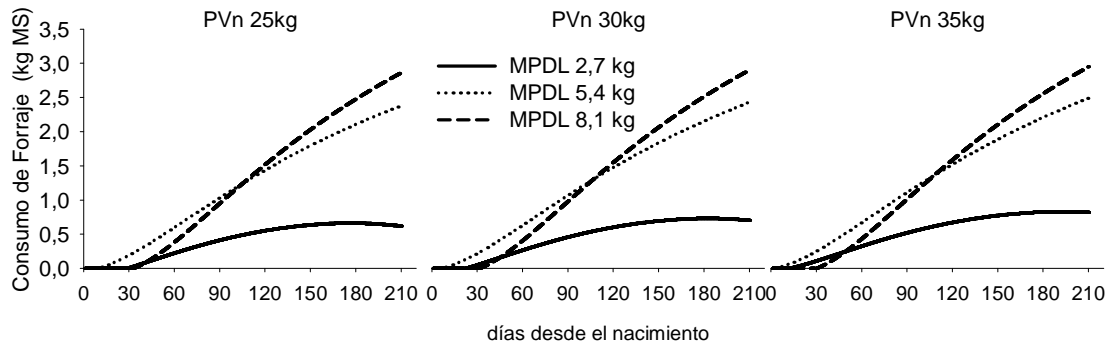


Figura 24: Efecto del peso vivo al nacimiento (PV_n) del ternero y el potencial productivo de leche de su madre ($MPDL$) sobre la evolución del consumo de forraje del mismo.

En la figura 25 se observa que tanto el potencial productivo de leche de la vaca como la calidad de forraje que consumió el ternero lactante tuvieron significativa importancia en el peso del ternero destetado.

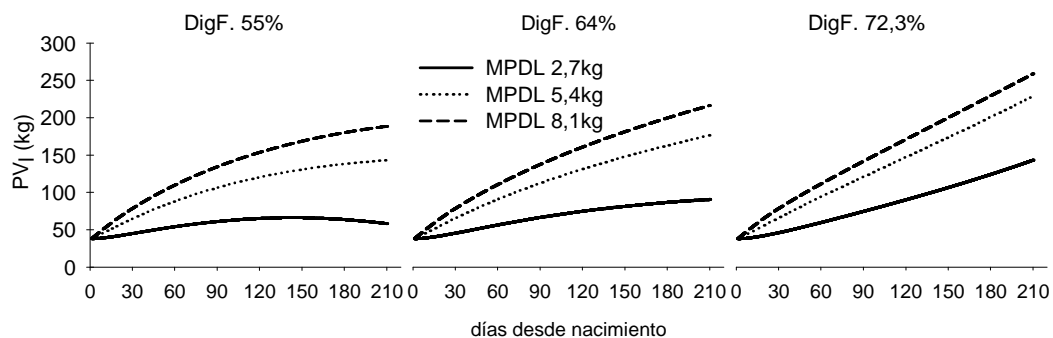


Figura 25: Efecto de la calidad del forraje, caracterizado por su digestibilidad ($DigF$) y el potencial de producción láctea de la madre ($MPDL$), sobre la evolución del peso vivo del ternero lactante.

Por último, a modo de síntesis se muestra en la figura 26 un esquema general que expone las interacciones entre componentes que el Sub-Modelo contempla para representar los factores que intervienen en la regulación de la lactancia de bovinos para carne.

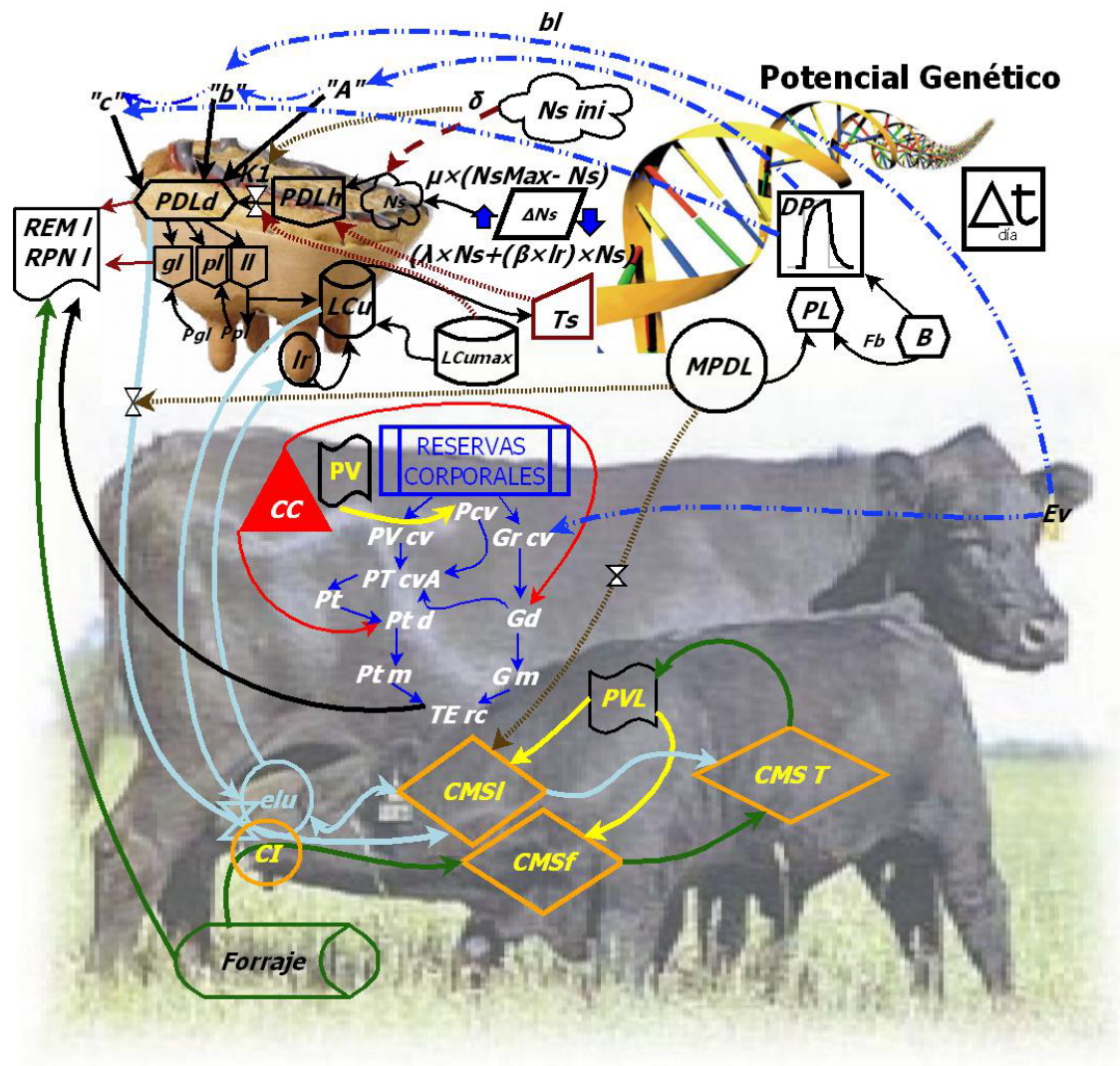


Figura 26: Esquema general del Sub-Modelo

4.1.5. Simulación del par vaca-ternero con el Sub-Modelo

El consumo de leche y la evolución del peso vivo de los terneros durante la lactancia obtenidos mediante el uso del Sub-Modelo se compararon con datos de experimentos de campo de la literatura (Figuras 27 y 28 respectivamente). Los valores estimados del consumo de leche y la evolución de peso vivo de los terneros obtenidos con el Sub-Modelo guardaron una aceptable concordancia con los datos de campo.

Resultados

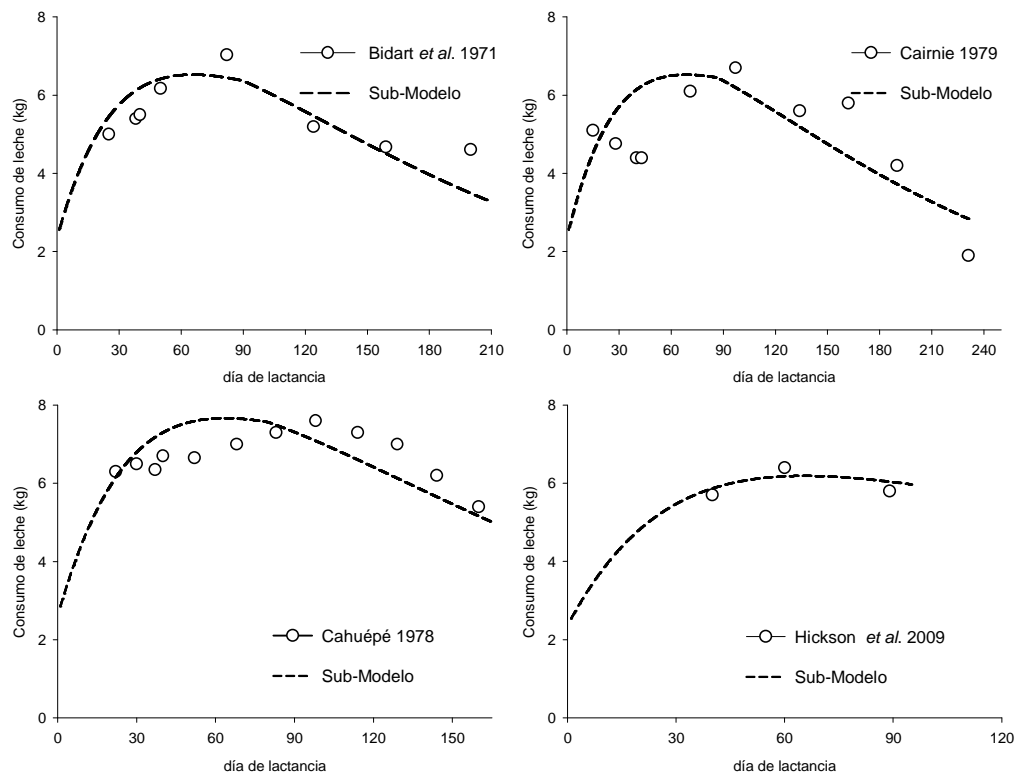


Figura 27: Predicción del consumo de le leche de terneros lactantes por el Sub-Modelo (línea discontinua) y datos de la bibliografía (puntos).

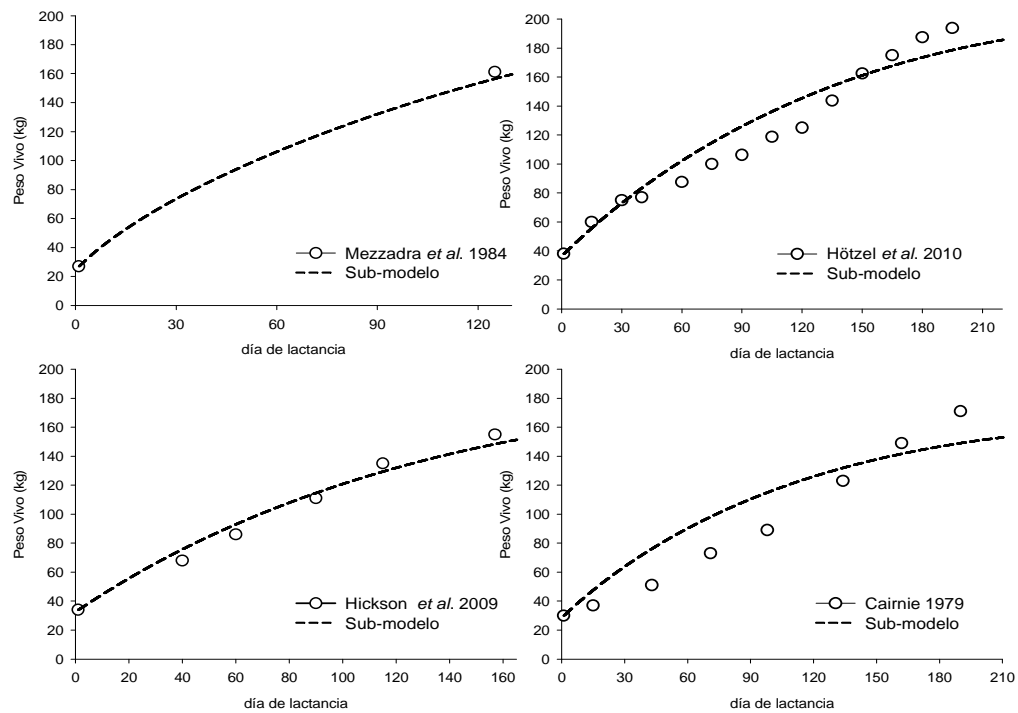


Figura 28: Predicción de la evolución del peso vivo de terneros lactantes por el Sub-Modelo (línea discontinua) y datos de la bibliografía (puntos).

Se compararon mediante análisis de regresión lineal los resultados de consumo de leche y evolución del peso vivo del ternero de ensayos de campo con las simulaciones bajo condiciones similares a las descritas por los autores. Con este análisis se observó un aceptable grado de representatividad de la información suministrada por los autores por parte del Sub-Modelo, lo que puede notarse por los niveles que arrojaron para ambas variables los coeficientes de correlación R^2 y R^2 ajustado. También se testeó el grado de coincidencia entre ambos (reales y simulados) analizando los parámetros de la regresión lineal, donde β_0 no fue diferente de cero y que β_1 no fue diferente de uno ($P < 0,05$) (Figuras 29 y 30).

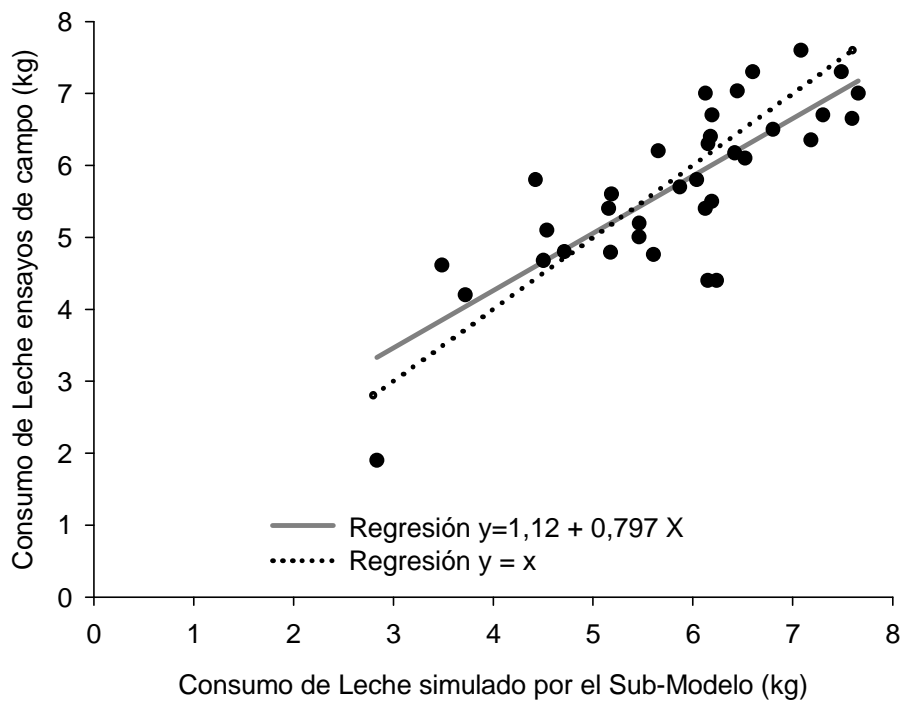


Figura 29: Concordancia entre la predicción del consumo de leche de terneros lactantes por el Sub-Modelo y datos experimentales de la bibliografía. Los puntos representan datos de Bidart *et al.* (1971); Cauhépé (1978); Cairnie (1979) y Hickson *et al.* (2009b) y la línea punteada representa $\beta_1 = 1$.

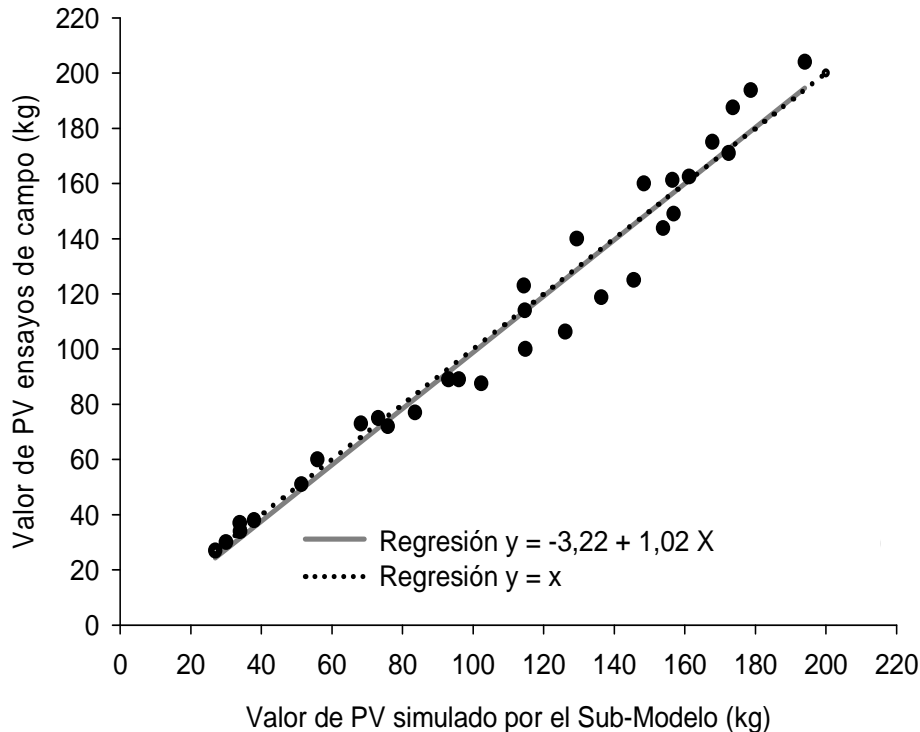


Figura 30: Relación entre el peso vivo de terneros obtenidos por simulación y los datos experimentales de la bibliografía. Los puntos representan datos de Cairnie (1979); Mezzadra *et al.* (1989); Hickson *et al.* (2009b) y Hötzel *et al.* (2010) y la línea punteada representa $\beta_1=1$.

4.2. Impacto productivo y económico del momento de destete y la suplementación en sistemas de cría del Valle Bonaerense del Río Colorado

Una vez desarrollado y evaluado el Sub-Modelo para simulación del par vaca-ternero en el período de lactancia e incorporado en el simulador ganadero SimuGan (Machado *et al.*, 2010), se procedió con la simulación de los 12 experimentos propuestos (T_1 a T_{12}) a nivel establecimiento productivo que combinan distintas edades de destete, niveles de suplementación y carga animal. Los resultados de estas simulaciones se sintetizan en parámetros de interés agronómico los cuales se presentan a continuación.

4.2.1. Tasa de preñez

El porcentaje de preñez de los experimentos con menos insumos, sin uso de silaje (*SIN*) y destete convencional (*DC*), y el de los experimentos con mayor uso de

insumos, destete precoz (**DP**), y suplementación con silaje (**CON**) tuvieron similar comportamiento (Figura 31).

Los porcentajes de parición siguieron el perfil observado en los porcentajes de preñez al tacto, el rango observado fue de 0,8 a 9 % menor al de la preñez.

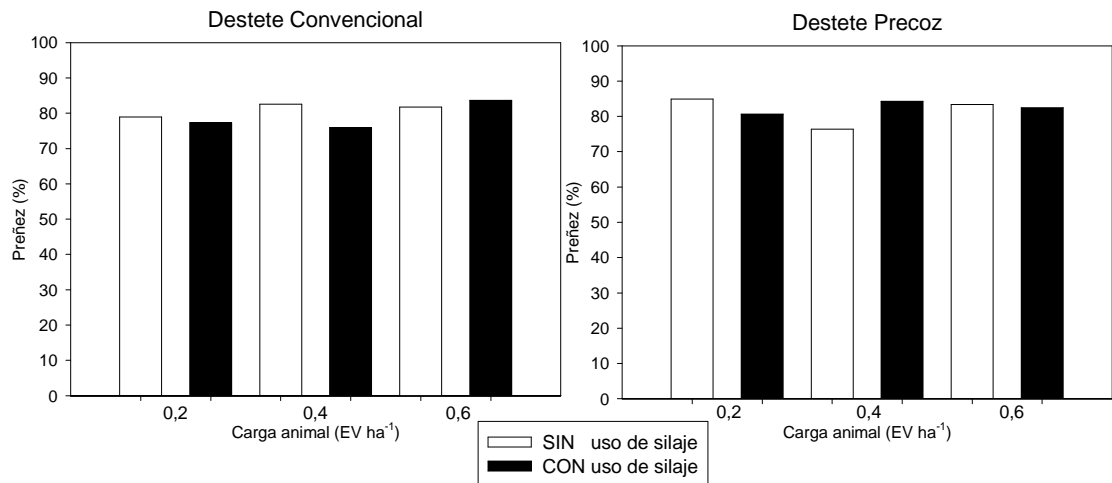


Figura 31: Tasa de preñez media (%) para experimentos con destete convencional, (izquierda) y precoz (derecha) a diferente carga animal y con uso de silaje complementario (negro) o sin uso de silaje (blanco).

4.2.2. Condición corporal

El efecto de los distintos tratamientos se vio reflejado en la variación de la condición corporal de los vientres, respecto al comienzo de la simulación (5 puntos). Todos los efectos de los diferentes factores de manejo evaluados fueron manifiestos en la categoría vacas multíparas y fueron mínimos en la categoría vaquillona (Figuras 32 y 33).

En vacas multíparas los experimentos con **DP** mejoraron la condición corporal (**CC**) la cual se incrementó hasta finalizar el ensayo. Mientras que las vacas multíparas de los experimentos con **DC** mostraron un descenso en la **CC** en el período de servicios (inicio de servicio a tacto) y recuperación de la **CC** entre el tacto y el parto. En referencia al uso de suplemento, la evolución de **CC** fue dependiente de la carga animal. En **CB** y **CM**, las vacas de los rodeos en que se usó alimentación suplementaria (**CON**) tuvieron una evolución de la **CC** similar a los tratamientos sin suplementación (**SIN**). En cambio en **CA** las vacas **CON** mostraron una mejor **CC** al parto que aquellas que no usaron alimentación suplementaria (Figura 32).

Resultados

En las vaquillonas se observó un incremento casi ininterrumpido de la *CC* durante todo el período analizado. Por definición esta categoría no ha tenido cría, por lo tanto no se vio afectada por la lactancia. Las vaquillonas se incorporaron a los correspondientes rodeos (tratamientos) al comenzar el período de servicio. El efecto del uso de alimentación suplementaria en la *CC*, fue dependiente de la carga animal de manera similar a lo observado en vacas multíparas. En *CB* y *CM* no se vio efecto sobre la *CC* mientras que en *CA* se manifestó una caída en la *CC* desde el tacto al parto en los experimentos *SIN* (Figura 33).

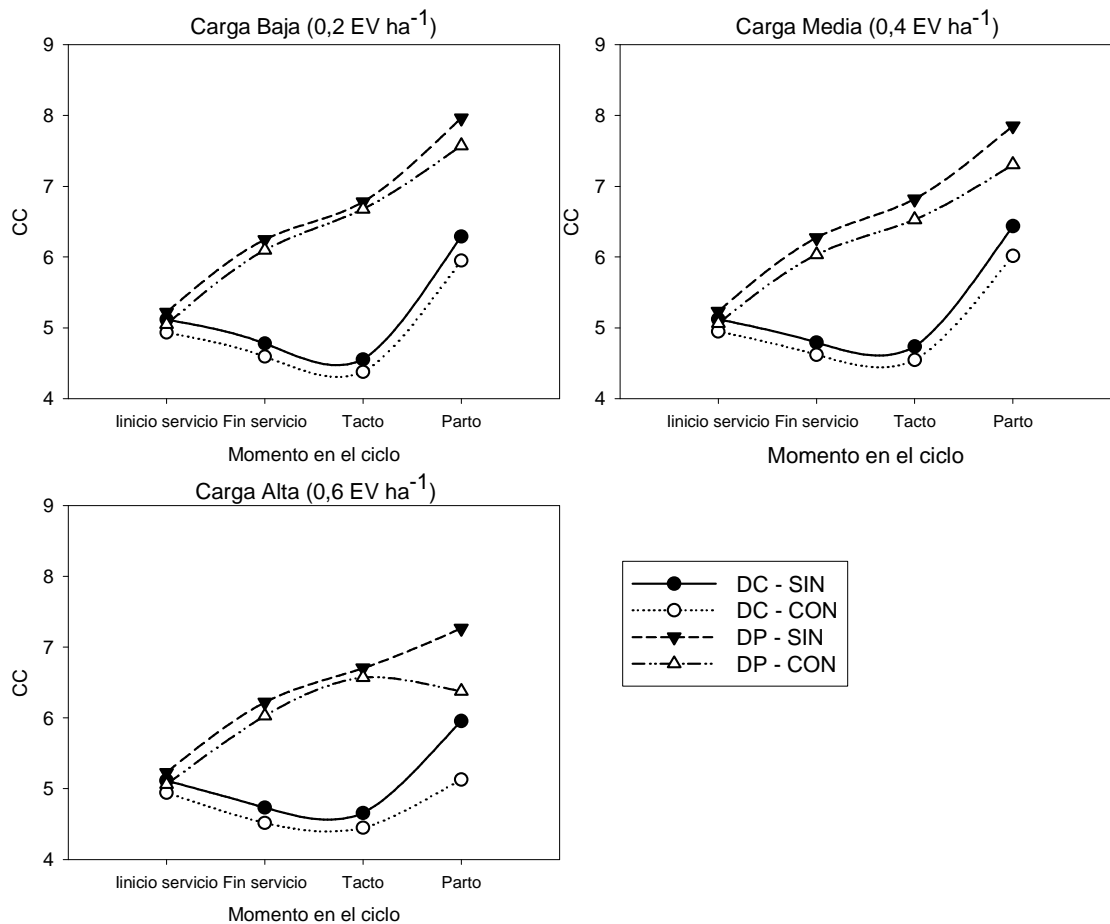


Figura 32: Variación de la condición corporal (*CC*) media, de vacas multíparas, en cargas baja (0,2 EV ha⁻¹), media (0,4 EV ha⁻¹) y alta (0,6 EV ha⁻¹), para experimentos con destete convencional (*DC*), precoz (*DP*), y con uso de silaje complementario (*CON*) y sin uso de silaje (*SIN*).

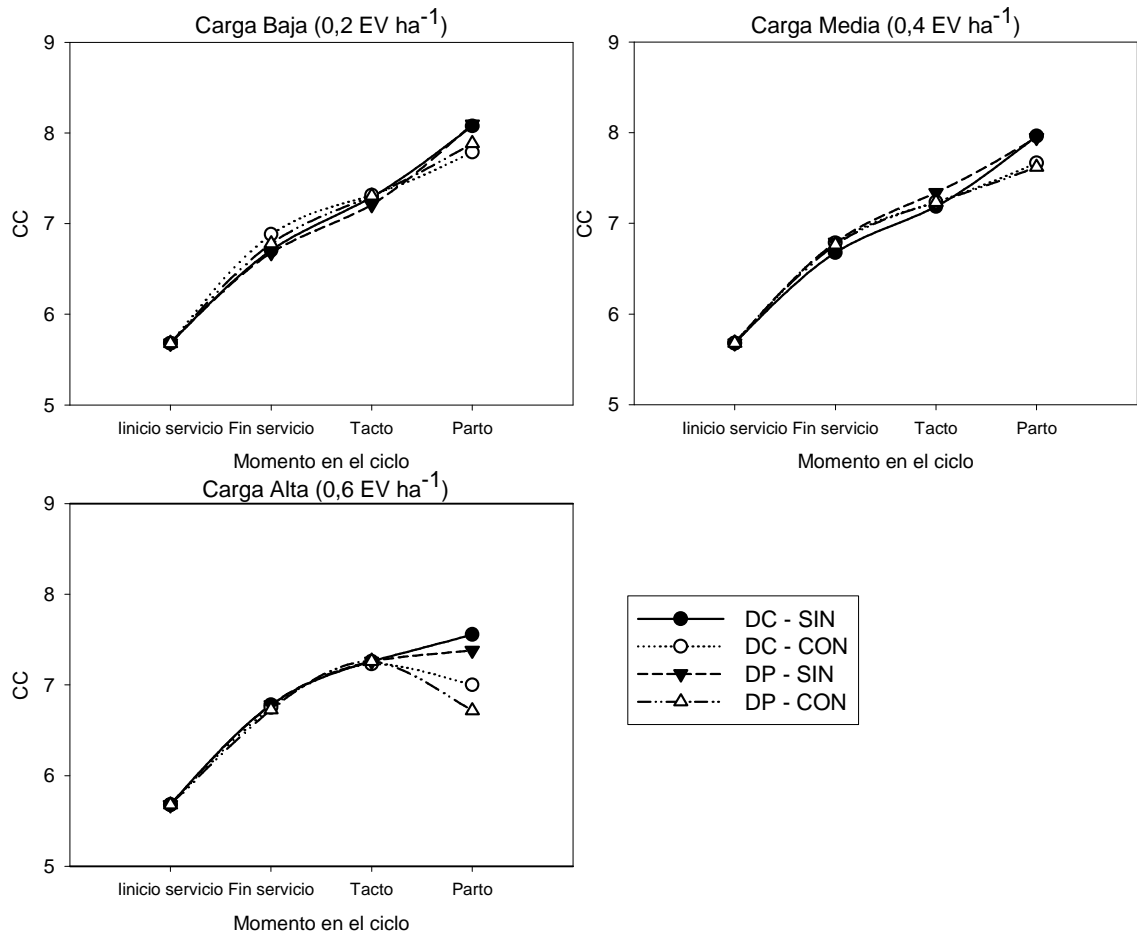


Figura 33: Variación de la condición corporal (CC) media, en cargas baja ($0,2 \text{ EV ha}^{-1}$), media ($0,4 \text{ EV ha}^{-1}$) y alta ($0,6 \text{ EV ha}^{-1}$), de rodeos con destete convencional (DC) o precoz (DP), y con uso de silaje complementario (CON) o sin uso de silaje (SIN).

4.2.3. Variación del peso vivo en terneros y terneras

La variación diaria del peso vivo ($VDPV$) de terneros y terneras no fue afectada por efecto de la carga animal ni por el uso o no de suplemento en sus madres. Las diferencias en $VDPV$ fueron mínimas entre cargas. Sin embargo hubo efecto del tipo de destete, observando en casi todo el período analizado una mayor ganancia de peso en los terneros y terneras con DC (7,8 a 9,2 % mayor), por sobre los terneros y terneras con DP . Hacia el final del período analizado (enero, febrero), momento cercano a la venta, ese comportamiento se revirtió y la $VDPV$ de los terneros y terneras DP superó a los DC (Figura 34). La $VDPV$ media en el período analizado fue de $0,945 \pm 0,2 \text{ kg d}^{-1}$ en DC y $0,872 \pm 0,17 \text{ kg d}^{-1}$ en DP .

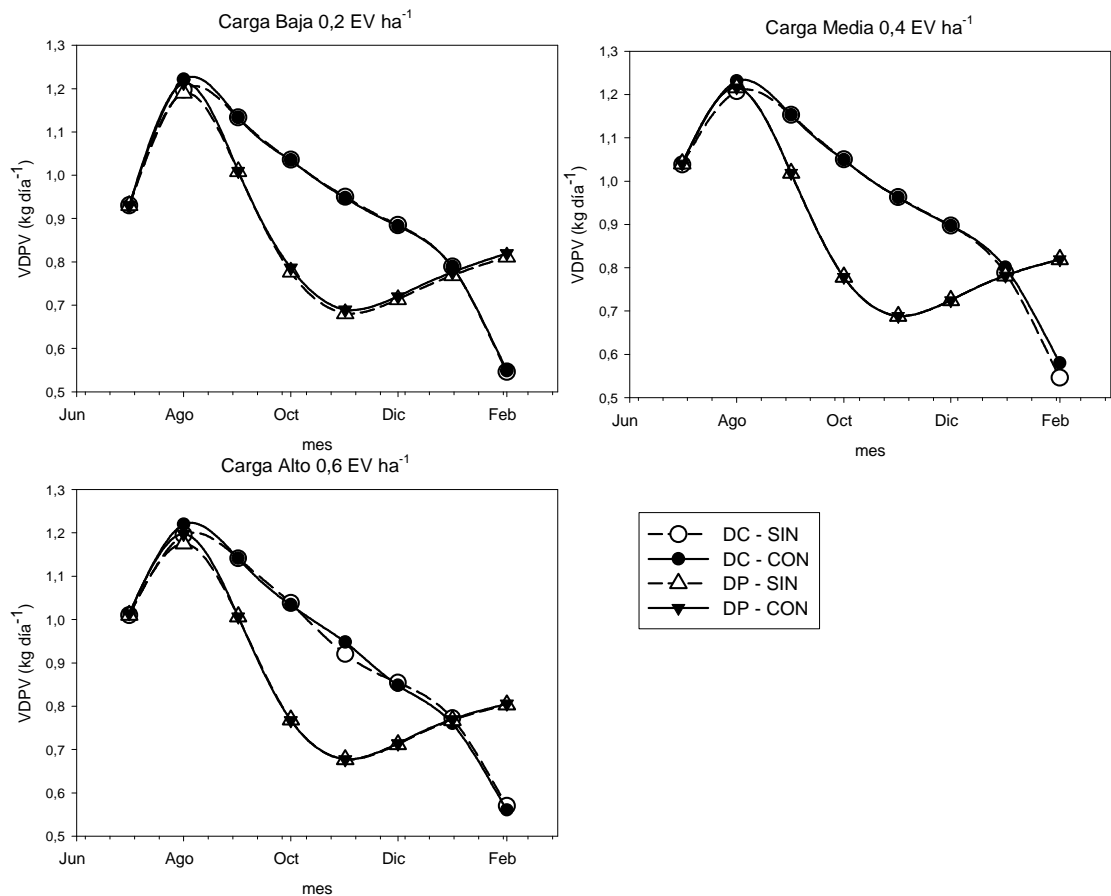


Figura 34: Variación diaria de peso vivo (*VDPV*) de terneros y terneras en cargas baja (0,2 EV ha⁻¹), media (0,4 EV ha⁻¹) y alta (0,6 EV ha⁻¹), para experimentos de destete convencional (*DC*) y precoz (*DP*), con suplementación (*CON*) y sin uso de silaje (*SIN*) en los vientres.

4.2.4. Producción y venta anual de carne

La producción anual de carne en los sistemas de cría vacuna proviene de diferentes categorías animales. Las más importantes tanto por kilogramos como por precio implican terneros, terneras y vacas. Este ensayo reflejó que las *CA* produjeron más carne que las *CM* y estas que las *CB* (Figura 35). Las condiciones de manejo más favorables para las vacas en los distintos experimentos mostraron un efecto aditivo o acumulativo, es decir, los experimentos *CON*, produjeron más que los *SIN* y los experimentos cuyas hembras recibieron *DP* produjeron más que sus equivalentes con *DC*. No obstante, el factor de mayor efecto en la producción de carne fue el nivel de carga (Figura 35).

Resultados

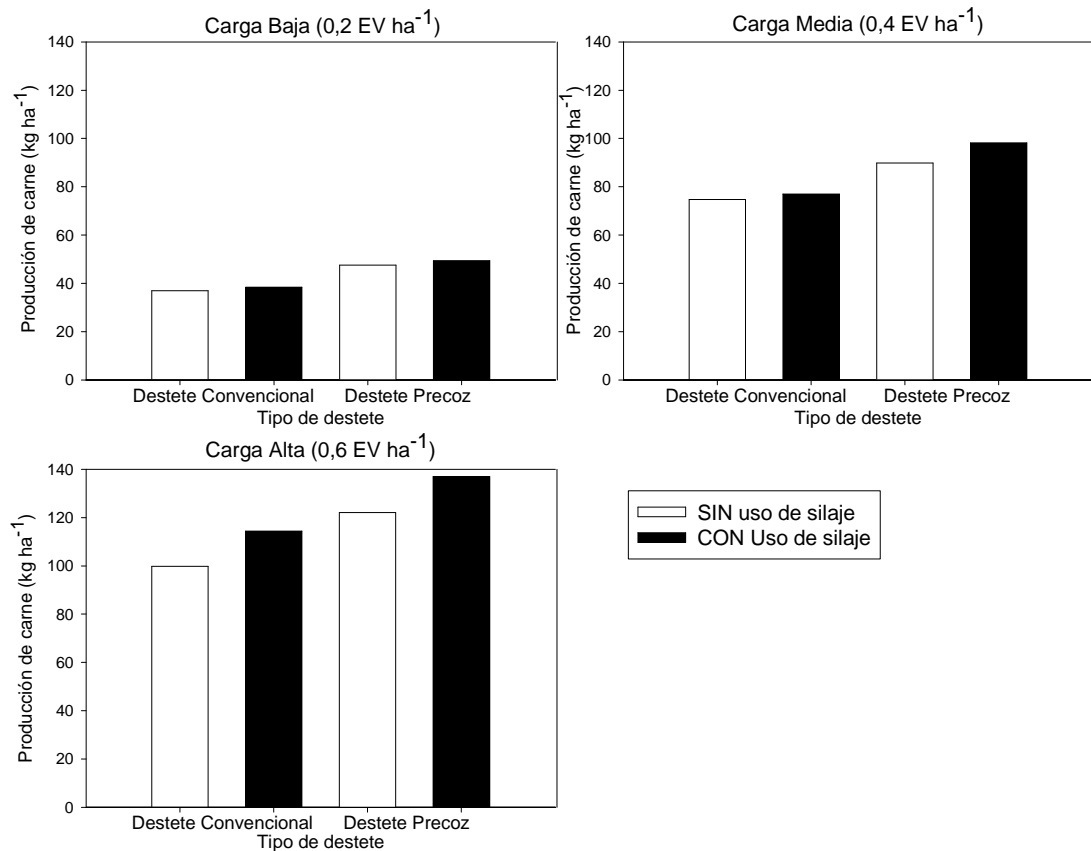


Figura 35: Producción de carne (kg ha⁻¹) en cargas baja, media y alta, para experimentos de destete convencional y precoz, con uso de silaje complementario (negro) o sin uso de silaje (blanco).

En la figura 36, se muestra la producción y venta de carne por unidad de superficie que se registró para cada uno de los experimentos simulados. En esta figura podemos apreciar que no existe proporcionalidad entre producción y venta de carne, aunque la carga animal sigue siendo el factor con mayor efecto. En referencia al momento de destete, los experimentos con **DP** tuvieron una producción media de carne 24,5 % más elevada que los experimentos que incluyeron **DC**. Esta mayor producción de carne en **DP** fue diferente a distintas cargas, superando a sus equivalentes en **DC** por 29 %, 24 % y 21 % en **CB**, **CM** y **CA** respectivamente. Mientras que el efecto de **CON** incrementó la producción media de carne en 7,8 % por sobre los experimentos **SIN**, y este efecto fue más evidente conforme aumentó la carga (4 %, 6 % y 13 % superior al comparar los experimentos **CON** y **SIN** en **CB**, **CM** y **CA** respectivamente). Sin embargo, en líneas generales la venta de carne fue muy similar para ambos tipos de destete al comparar experimentos equivalentes en **DP** y **DC**.

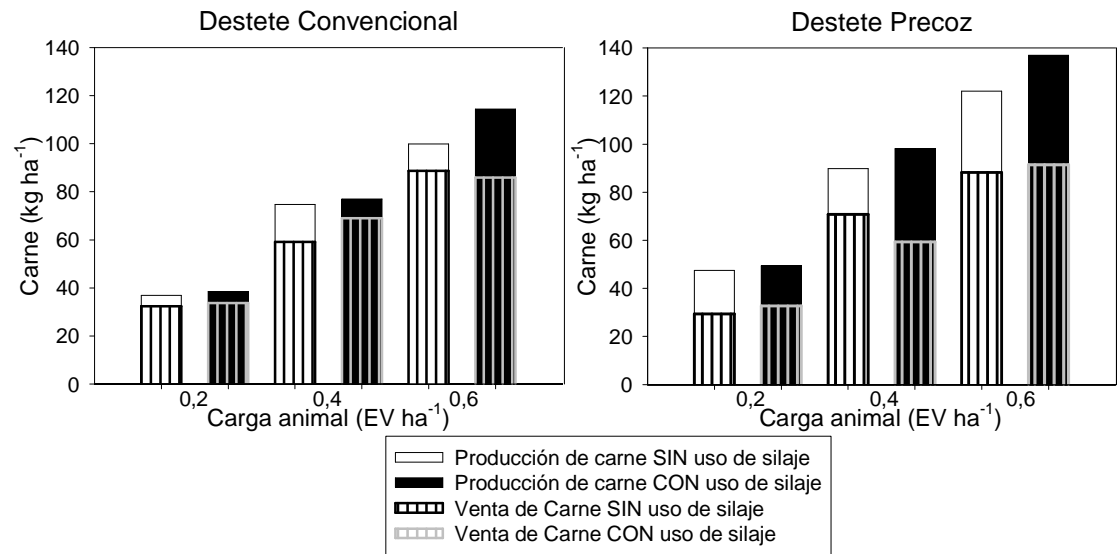


Figura 36: Producción y venta de carne (kg ha^{-1}) para experimentos de destete convencional (izquierda) y precoz (derecha), a diferente carga animal y con uso de silaje complementario (negro) o sin uso de silaje (blanco).

Cuando analizamos la venta de carne por categoría (vacas y terneros) podemos apreciar que los tratamientos tuvieron efectos diferenciales en las categorías vendidas.

La venta de vacas se produce por descarte de hembras (fundamentalmente vacías), por lo tanto es evidente que el efecto de la carga influyó en la venta de carne, (a mayor carga mayor venta, en condiciones similares). En los experimentos analizados, no se observó un beneficio claro por el uso de suplemento o destete precoz respecto de la venta de carne en esta categoría (Figura 37). Al observar el número de vacas vendidas, los rodeos con **DP** tuvieron en promedio un 6,6 % menos y los **CON** un 5,5 % más de ventas (Figura 38), pero existen algunas contradicciones dentro de los resultados observados por lo que el efecto de estos parámetros no es muy claro. Por otro lado, en los rodeos con **DP** se vendieron vacas que en promedio fueron 13,1 % más pesadas que sus equivalentes en **DC** y también puede advertirse, aunque en menor medida, que los experimentos **CON** mejoraron el peso a la venta de las vacas en 2 % por sobre las **SIN** (Figura 39).

Resultados

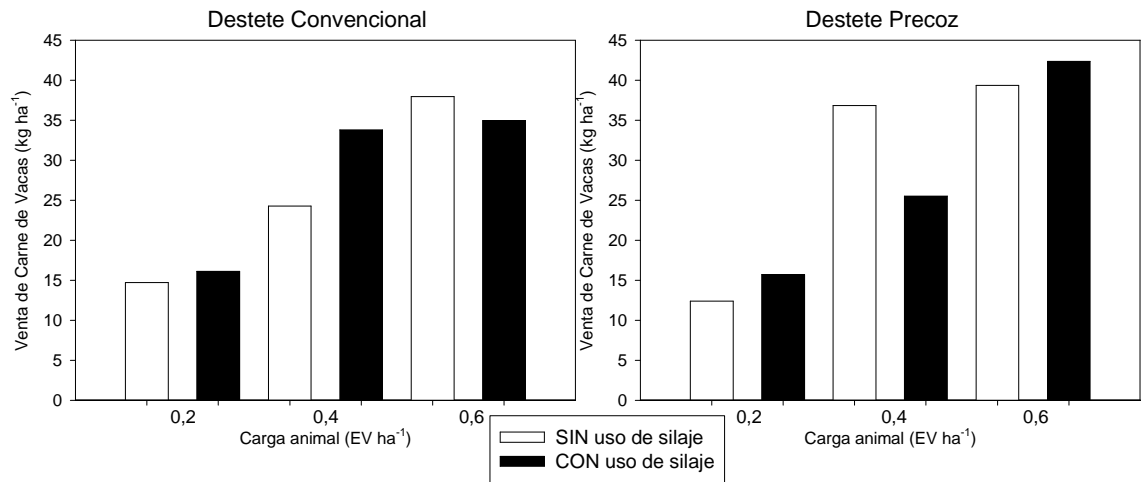


Figura 37: Venta de carne de vacas (kg ha^{-1}) para experimentos con destete convencional (izquierda) y precoz (derecha) a diferente carga animal y con uso de silaje complementario (negro) o sin uso de silaje (blanco).

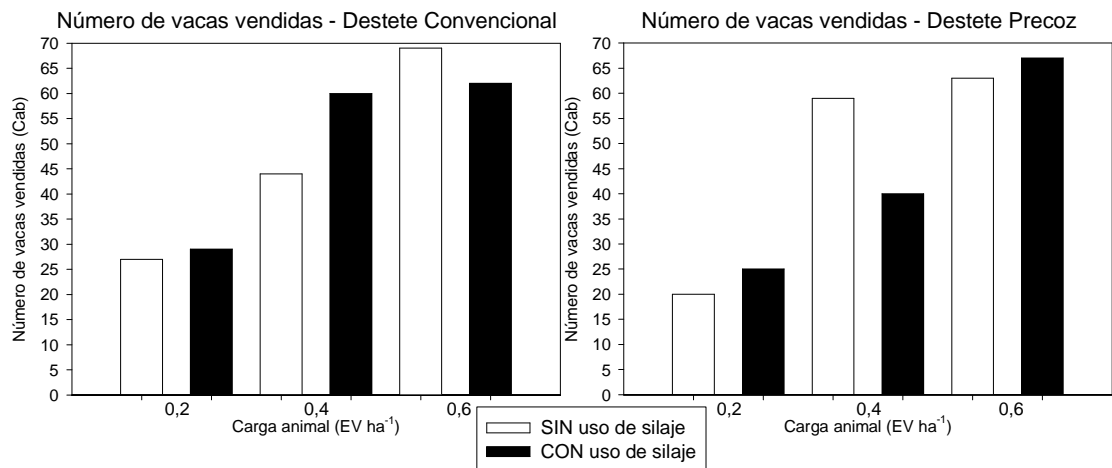


Figura 38: Número de vacas vendidas (Cab) en rodeos con destete convencional, (izquierda) y precoz (derecha) a diferente carga animal, y con uso de silaje complementario (negro) o sin uso de silaje (blanco).

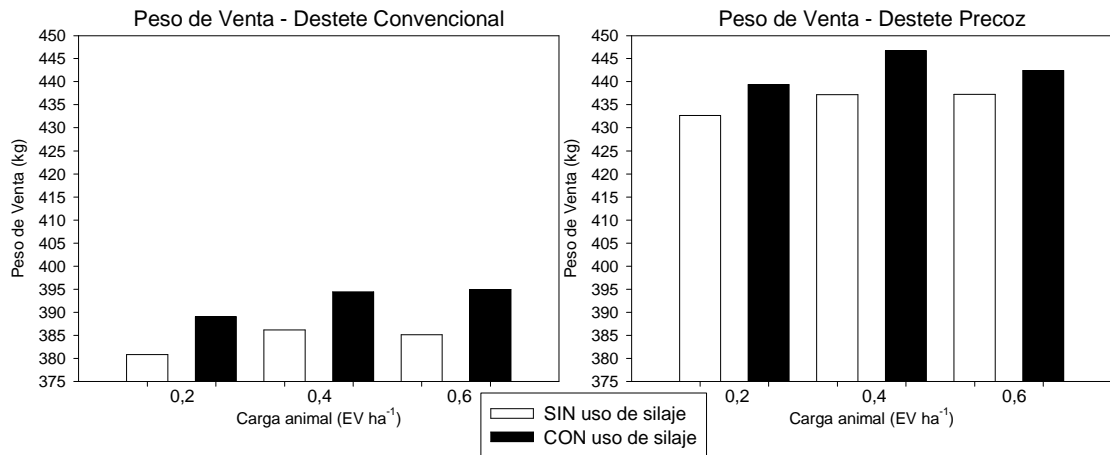


Figura 39: Peso medio de las vacas vendidas (kg) para experimentos con destete convencional (izquierda) y precoz (derecha) a diferente carga animal y con uso de silaje complementario (negro) o sin uso de silaje (blanco).

La venta de carne de terneros y terneras también fue influenciada marcadamente por el efecto de la carga animal, a mayor carga mayor venta (kg ha⁻¹), en condiciones similares (Figura 40).

Desglosando la venta de carne en el número de terneros y terneras vendidos y el peso de los mismos, se observa que los experimentos con **DP** vendieron un mayor número de terneros, en promedio 6,2 % más que los experimentos con **DC** y en relación a la carga animal el número de terneros vendidos en experimentos con **DP** fue 4,8 %, 7,3 % y 6,5 % mayor que sus equivalentes en **DC** para las **CB**, **CM** y **CA** respectivamente (Figura 41). Por su parte los terneros **DC**, se vendieron con mayor peso respecto a los **DP**, el aumento medio fue de 10 % (Figura 42) y esto determinó la mayor venta de carne mencionada anteriormente.

Resultados

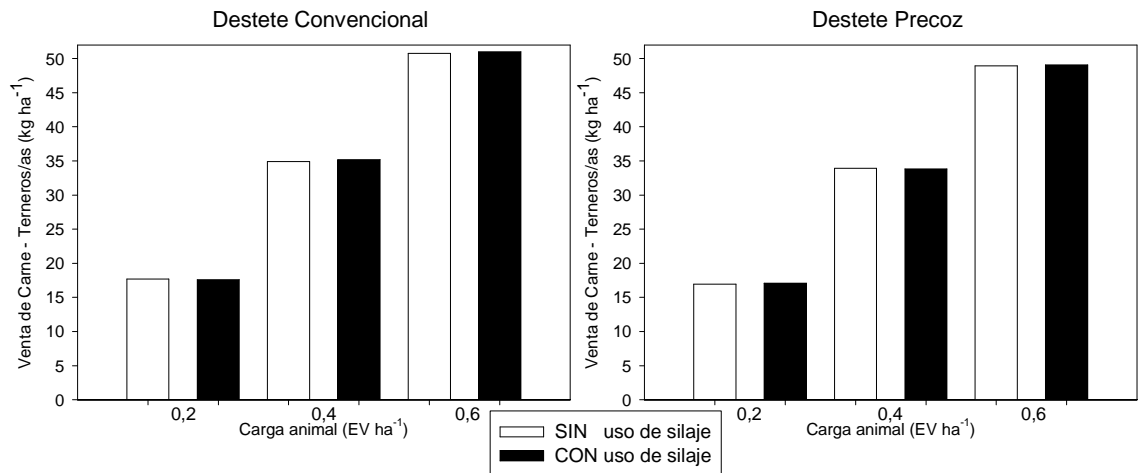


Figura 40: Venta de carne de terneros y terneras (kg ha⁻¹) para experimentos con destete convencional (izquierda) y precoz (derecha), a diferente carga animal y con uso de silaje complementario, (negro) o sin uso de silaje (blanco).

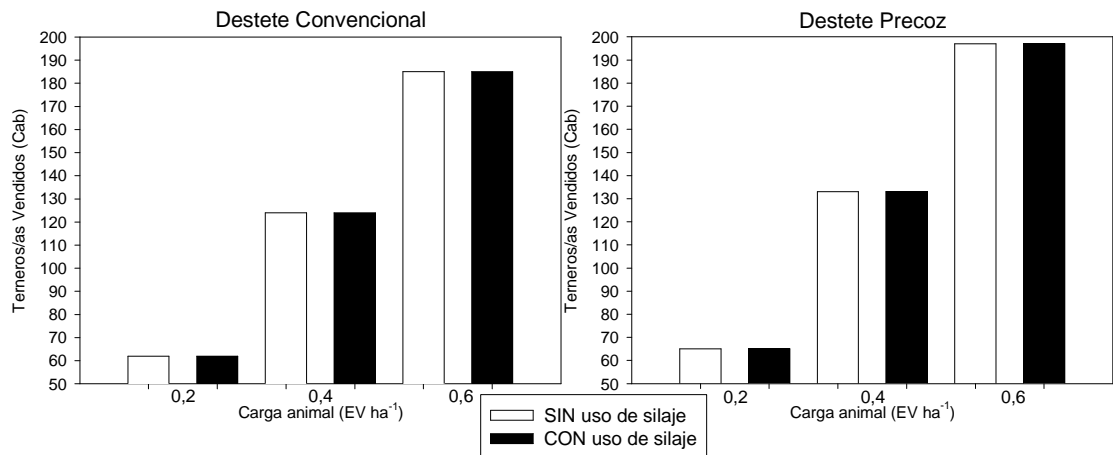


Figura 41: Número de terneros y terneras vendidos (Cab), para experimentos con destete convencional, (izquierda) y precoz (derecha) a diferente carga animal y con uso de silaje complementario, (negro) o sin uso de silaje (blanco).

Resultados

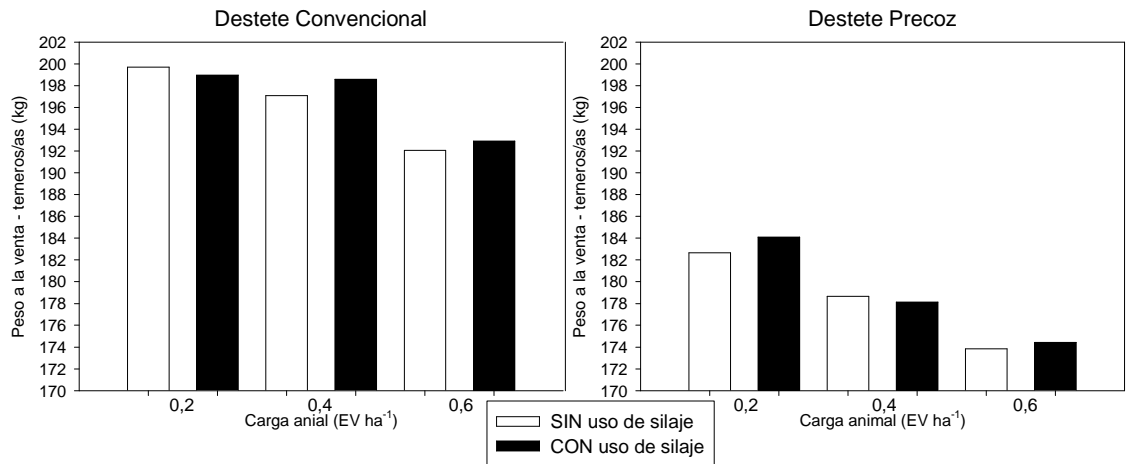


Figura 42: Peso medio de los terneros y terneras vendidos (kg), para experimentos con destete convencional, (izquierda) y precoz (derecha) a diferente carga animal y con uso de silaje complementario, (negro) o sin uso de silaje (blanco).

4.2.5. Indicadores Económicos

En la figura 43 se observa que el incremento de carga maximizó el margen bruto (**MB**) y que el manejo con **DC** y **SIN** logró el mayor **MB**.

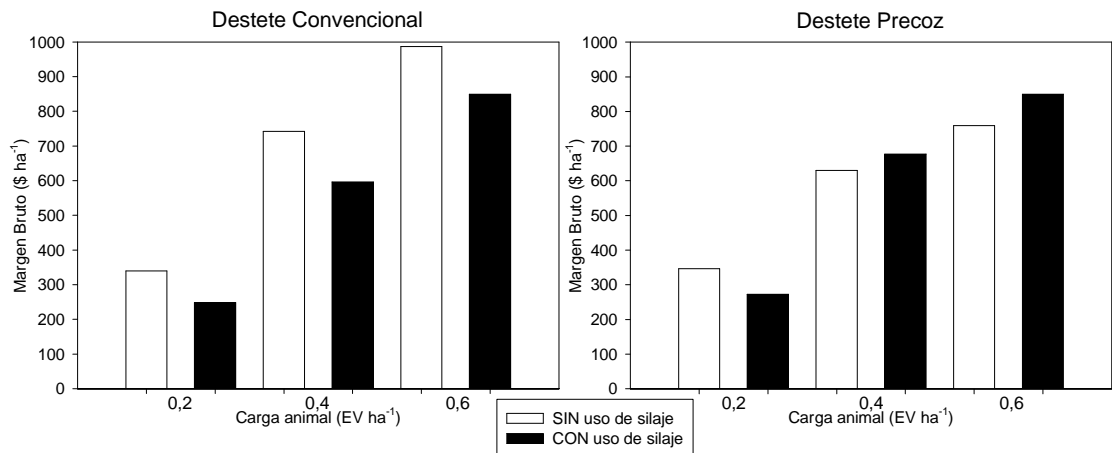


Figura 43: Margen Bruto (**MB**) en \$ ha⁻¹ indexado a mayo 2012, para rodeos con destete convencional (izquierda) y precoz (derecha) a diferente carga animal y con uso de silaje complementario (negro) o sin uso de silaje (blanco).

El **MB** se comportó de manera diferencial según el momento de destete. En los experimentos con **DC** el **MB** disminuyó en promedio un 20,1 % cuando se utilizó suplementación en los vientres (**CON**), esta disminución fue dependiente de la carga animal (13,9 %, 19,5 % y 27 % para **CA**, **CM** y **CB** respectivamente). Entre los rodeos con **DP** el manejo **CON**, en promedio disminuyó el **MB** en un 3,1 %. En este caso el

MB también fue dependiente de la carga animal. En **CA** y **CM** los rodeos **CON** incrementaron el **MB** un 10,7 % y 7 % respectivamente, mientras que en las **CB** que tuvieron un comportamiento inverso el **MB** disminuyó 27 %.

En la figura 44, se observa la rentabilidad productiva (**RP**) obtenida con los distintos manejos.

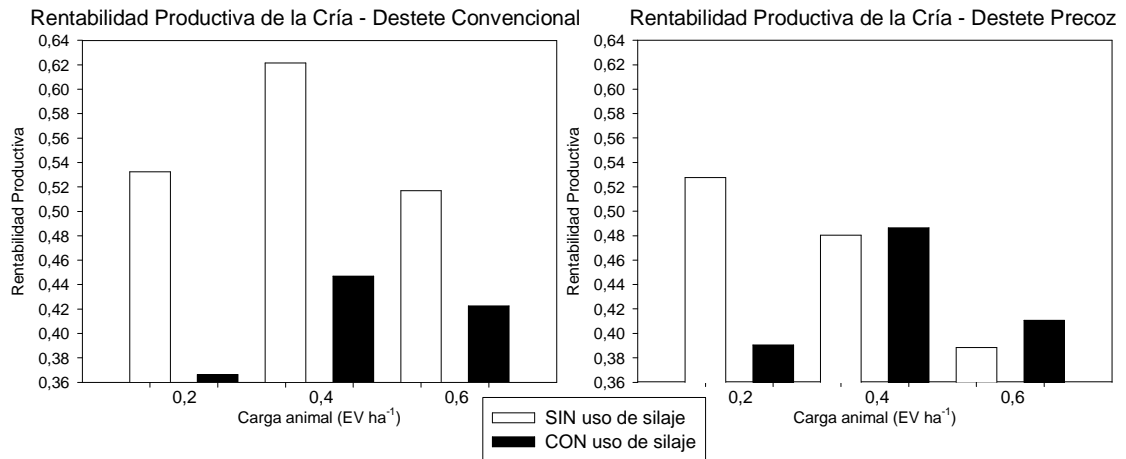


Figura 44: Rentabilidad Productiva (**RP**), para experimentos con destete convencional, (izquierda) y precoz (derecha) a diferente carga animal y con uso de silaje complementario (negro) o sin uso de silaje (blanco).

En general los experimentos con **DC** tuvieron mayor **RP** que sus equivalentes con **DP**, exceptuando los experimentos **DP** y **CON** en **CB** y **CM** que superaron en **RP** a su equivalente en **DC**. En los experimentos con **DC** la **RP** fue máxima cuando las vacas no recibieron alimentación suplementaria (**SIN**), mientras que en los experimentos con **DP** la **RP** tuvo un comportamiento inverso a excepción de la **CB**. Un comportamiento particular se observó en los experimentos con **DP** y **SIN** que mostraron un descenso de la **RP** con el aumento de carga. En el resto de los experimentos las mayores **RP**, se lograron con las **CM**.

5. DISCUSIÓN

5.1. Impacto productivo y económico del momento de destete y la suplementación en sistemas de cría del Valle Bonaerense del Río Colorado

En la búsqueda de mejorar la eficiencia de los sistemas de cría bovina, algunas técnicas se orientan a manejos del par vaca ternero. Uno de los manejos más difundidos es el destete precoz (**DP**), que se aplica a lo largo del país con diferentes modalidades y propósitos (Monje *et al.*, 1996; Kugler *et al.*, 2002; Feldkamp *et al.*, 2005a; Galli *et al.*, 2005).

Existen algunas experiencias positivas con **DP** en la zona de estudio (Kugler *et al.*, 2002; Montico; Rodríguez, 2005; Kugler *et al.*, 2008) sin embargo, la información de estos resultados mayormente no muestran el impacto en los parámetros de producción física y económica a nivel global de la empresa ganadera, y por lo tanto se dificulta la transferencia a otros casos potencialmente asimilables.

La EEA del INTA Hilario Ascasubi es una unidad abocada, entre otras cosas, al desarrollo y adopción de tecnologías en la ganadería en el Valle Bonaerense del Río Colorado (VBRC). Con el objetivo de determinar el impacto de la tecnología del **DP** en condiciones representativas de productores en este territorio, se diseñaron los experimentos cuyo resultado se discutirán a continuación.

Los diferentes experimentos de simulación tuvieron porcentajes de preñez al tacto de alrededor del 80% (Figura 31), similares al 82 % informado por Renquist *et al.* (2006) para vacas multíparas del mismo rango de edad y condición corporal (**CC**) a los observados en esta tesis; así como a los resultados de encuestas a productores del VBRC que expresan como valor promedio y como máximo esperado 70 % y 80 % de destete, respectivamente (Iurman *et al.*, 2009). Por otro lado otros autores (Kugler *et al.*, 2008), en ensayos que proponen mejorar el manejo del pastizal en una región aledaña al VBRC, informaron porcentajes de preñez ligeramente superiores donde el promedios de cuatro ciclos productivos fue 85 % y 90,4 % para vacas **DC** y **DP**, respectivamente.

Los rodeos con destete precoz (**DP**) tuvieron en promedio un 2 % más de preñez, y esta diferencia fue disminuyendo con el aumento de carga, siendo en promedio 4,6 %,

1 % y 0,3 % mayores para los rodeos con **DP** sobre destete convencional (**DC**) en cargas bajas (**CB**), medias (**CM**) y altas (**CA**), respectivamente (Figura 31).

Tal vez, se podría esperar mayores tasas de preñez en los rodeos **DP**, ya que las vacas que se destetaron anticipadamente tuvieron mejor **CC** en la mayor parte del período experimental. No obstante, es probable que no existan diferencias en las tasas de preñez debido a que en todos los casos las vacas tuvieron buena condición de alimentación y la **CC** al parto fue mayor a 5 puntos, condición que asegura altas tasas de preñez (Herd; Sprott, 1996) y que es la **CC** mínima objetivo al parto recomendada en la región (Kugler, 2003). Las vacas de **CC** 7 u 8 probablemente podrían perder algo de **CC** y aún alcanzar buenas tasas de preñez, a condición de que no pierdan **CC** como para llevar la puntuación por debajo de 5 (Herd; Sprott, 1996).

Aunque las condiciones de alimentación pueden ser muy diversas, la relación de la **CC** preparto y preñez puede ayudar a describir una respuesta reproductiva bastante genérica. Selk *et al.* (1988) encontraron que una respuesta cúbica describió la relación entre la tasa de preñez y la **CC** preparto de vacas cuya puntuación de condición se encontraba entre 3 y 7. Kugler (2003) mostró resultados análogos en una región contigua al VBRC, coincidiendo con los porcentajes de preñez obtenidos en los experimentos en el rango de **CC** observadas.

Los resultados muestran que no se encontraron diferencias en la tasa de preñez entre las cargas animales evaluadas en los experimentos. Continanza (2010) tampoco halló diferencias significativas en la tasa de preñez de vacas Angus en módulos de producción a campo, aunque las cargas objetivo probadas fueron mucho mayores, utilizó reglas de decisión que no permitían la pérdida excesiva de **CC**, varió la carga para mantener una biomasa de forraje objetivo y los porcentajes de preñez fueron mayores. Contrariamente los resultados de las simulaciones obtenidos por Späth *et al.* (1984) y Stefanazzi (2012) expresaron una caída curvilínea de la tasa de preñez con el aumento de la carga animal lo cual podría estar asociado a un mayor rango de cargas fijas evaluadas 0,5 a 2 y 0,5 a 0,8 cabezas por hectárea respectivamente.

En los experimentos no se observaron efectos claros del momento de destete en la tasa de preñez, lo cual podría deberse a la buena **CC** de los vientres durante todo el ciclo productivo, como ha sido mostrado previamente por otros autores (Short *et al.*, 1996; Bell *et al.*, 1998; Galindo González *et al.*, 2007) que manejaron el rodeo en buenas condiciones de alimentación y no hallaron efectos del momento de destete en las tasas de preñez. Por otro lado, Myers *et al.* (1999) y Arthington y Kalmbacher (2003) en experimentos de campo con **CC** inicial promedio de 4,2 y 5 respectivamente,

obtuvieron resultados en los que la tasa de preñez mejoró con la disminución del período de amamantamiento. Cabe aclarar que en el último caso se trató de hembras de primero y segundo servicio. Este punto deja en evidencia que la aplicación sistemática de **DP**, sin considerar el estado de **CC** de los vientres, no presentará impacto positivo cuando el estado corporal de los vientres no sea relativamente crítico. Aunque esto ya ha sido mencionado por diferentes autores (Lusby; Parra, 1981; Bishop; Wettemann, 1990), los experimentos de simulación permiten cuantificar las relaciones y por lo tanto establecer relaciones numéricas entre una gran variedad de tratamientos.

La variación del peso vivo (**VDPV**) promedio de los terneros **DP** es un parámetro que varía con los sistemas de manejo. En la bibliografía se encontraron valores que van de 0,270 kg d⁻¹ (Hidalgo *et al.*, 2002) a 1,700 kg d⁻¹ (Lusby *et al.*, 1981); en general la mayoría de los trabajos informan valores superiores a 0,600 kg d⁻¹ (Hidalgo *et al.*, 2002). Las **VDPV** obtenidas en los terneros correspondientes a distintos experimentos de esta tesis estuvieron en promedio entre 0,850 y 0,950 kg d⁻¹ y fueron semejantes a las obtenidas por Jeffery *et al.* (1971a); Kugler *et al.* (2002); McCartney *et al.* (2004) y Blanco *et al.* (2008). La ganancia de peso de los terneros fue superior a las medias reportadas en la bibliografía. Esto reflejaría las buenas condiciones de alimentación para los terneros impuestas en los manejos simulados.

La **VDPV** de terneros fue mayor en los rodeos con **DC** que con **DP** (Figura 34). Si bien con el **DP** se procura que la respuesta productiva de los terneros **DP** sea similar a la de los terneros **DC**, esto no es lo más frecuente (Lusby *et al.*, 1981). Al igual que lo sucedido en los experimentos de esta tesis, la mayoría de los ensayos que se encuentran en la bibliografía muestran que los terneros **DP** presentan una menor ganancia de peso que los terneros al pie de la madre (Hidalgo *et al.*, 2002). Sin embargo, Barker Neef *et al.* (2001); Schoonmaker *et al.* (2001); Kugler *et al.* (2002) y Pordomingo (2002) encontraron una respuesta inversa, donde los terneros **DP** ganaron más peso. En consecuencia, esto pone en relieve la existencia de numerosos factores que influyen sobre la ganancia de peso de los terneros, fundamentalmente la cantidad y valor nutritivo de la oferta forrajera (Wright; Russel, 1987), la producción de leche de las madres (Hidalgo *et al.*, 2002), la edad de la madre (Jeffery *et al.*, 1971b), la raza (Jeffery *et al.*, 1971b; Butson *et al.*, 1980; Arthington; Kalmbacher, 2003; Blanco *et al.*, 2008), la edad del ternero al destete (Pordomingo, 2002) y su relación con el estrés por el destete (Enríquez *et al.*, 2001), entre otros que deberían ser tenidos en cuenta.

Los resultados de los experimentos muestran un comportamiento interesante en cuanto a la **VDPV** donde los terneros **DP** comienzan a aventajar en ganancia de peso a los **DC** a partir de los 180 días de edad aproximadamente. En **DP** por el cambio de pendiente, se puede notar el momento en el que el desarrollo ruminal permite a los terneros una mayor ganancia de peso entre los 90 y 120 días de vida (Figura 34). Este comportamiento coincide con los reportes de Bidart *et al.* (1971); McCartney *et al.* (2004) y Schor *et al.* (2005) en relación a que éste es el momento en que el pasto comienza a tener mayor influencia en el crecimiento de los terneros. Lo cual indica que el modelo representó razonablemente los cambios en la dieta de los terneros.

Este tipo de interrelaciones son las que hacen valioso el aporte de las simulaciones a la investigación ya que de ella pueden derivar estrategias de manejo como por ejemplo destetar a los terneros **DC** anticipadamente o suplementarlos al pie de sus madres en un momento estratégico.

Todos los factores de manejo puestos a prueba que implican un subsidio de energía (Viglizzo, 1986; Altieri, 1999; Sarandón, 2002) al sistema, **DP** y uso de suplemento (**CON**), tuvieron un efecto positivo en la producción de carne. Sin embargo, la carga animal (dentro del rango probado) fue el factor de mayor efecto en la producción de carne (174,5 % entre las caras animales extremas) y el incremento fue decreciente 97,1 % entre 0,2 y 0,4 EV ha⁻¹ y 39,3 % entre 0,4 y 0,6 EV ha⁻¹, y está de acuerdo con Jones; Sandland (1974) y Feldkamp *et al.*, (2005b).

En referencia a los otros factores, el momento de destete (**DP**) tuvo mayor efecto que el uso de suplemento (**CON**) en el aumento de la producción de carne por unidad de superficie, maximizando la producción media de carne en 24,5 % y 7,8 % al compararlos con los rodeos **DC** y sin uso de suplementos (**SIN**), respectivamente.

En los sistemas de producción comercial de cría vacuna, la venta de carne está basada en las categorías terneros, terneras y vacas, por lo que se analizaron en mayor detalle.

En la venta global de carne a diferencia de la producción de carne (Figura 36), se advierte un menor efecto de los factores puestos a prueba; sólo es evidente el efecto de la carga animal. Esto estaría indicando que la mejora en la producción se verá reflejada en mayor peso vivo (**PV**) y mejor **CC** de los animales que se mantienen en el campo pero no se venden. Lo cual implica que la inversión en estos subsidios de energía no se notará en el rédito económico inmediato. De cualquier manera la mayor aplicación de insumos podría tener implicancias positivas a futuro, por ejemplo aumentando las tasas de preñez.

Al analizar las ventas por categorías, se pueden ver algunas diferencias entre ellas. Las ventas de vacas se producen en el caso de que éstas queden vacías, por lo que vender muchos kilos por hectárea indicaría algún problema reproductivo, también debemos tener en cuenta el porcentaje de reposición de hembras programado, que en esta tesis fue de 20 % año⁻¹ para todos los tratamientos, con lo cual las ventas se incrementan con la carga animal. (Figura 36).

Al igual que en la mayoría de los trabajos (Lusby *et al.*, 1981; Galli *et al.*, 2008; Kugler *et al.*, 2008), el momento de destete afectó al peso de las vacas. En este caso también de las que se venden (Figura 39). La supresión de la lactancia resultó en un marcado descenso de la demanda energética (Herd; Sprott, 1996; NRC, 2000; McCartney *et al.*, 2004; Galindo González *et al.*, 2007) que se reflejó en mayor *CC* y *PV* de las vacas. Sin embargo, como vimos antes no se afectó substancialmente la tasa de preñez y por ende no se afectó mayormente el número de vacas vendidas (Figuras 31 y 38).

Los terneros y las terneras son las categorías objetivo para la venta en los sistemas de cría vacuna, por lo que es deseable vender muchos kilos por hectárea. En la venta de terneros y terneras también el efecto de la carga animal influyó marcadamente sobre la venta de carne, siendo el factor que más incidió en la venta (Figura 40).

A mayor carga, dentro de las puestas a prueba, mayor fue la cantidad de kilos de terneros y terneras vendidos en condiciones similares. Podría esperarse que la relación carga animal y venta de carne de terneros y terneras tenga un comportamiento curvilíneo, donde los kilos vendidos aumentan con el aumento de carga hasta llegar a un óptimo luego del cual se produce un descenso como el descrito por Continanza (2010), pero no se observó en los resultados presentados ya que se decidió no explorar cargas excesivamente elevadas.

El número medio de terneros/as vendidos fue 6,2 % mayor en los rodeos *DP* en comparación con los *DC* (Figura 41). Esta condición se asocia a la mayor tasa de preñez que generó un menor número de terneras para reposición de hembras reproductoras, como se ha reportado en otros casos (Kugler *et al.*, 2002; Galindo González *et al.*, 2007; Kugler *et al.*, 2008). No obstante, la diferencia en el número de terneras que se destinaron a reposición entre experimentos de *DP* y *DC*, no fue tan marcada.

Se notó una mayor venta de carne de terneros y terneras en los rodeos *DC*, aunque la diferencia fue leve. Al analizar en profundidad vemos que esta mayor venta de carne por unidad de superficie (kg ha⁻¹) se debe al mayor peso de los terneros

correspondientes a rodeos **DC**, condición que a sido descrita en la bibliografía (Hidalgo *et al.*, 2002). Sin embargo, existen casos con la relación inversa. Se ha visto que es de suma importancia la calidad de la dieta que reciban los terneros en la ganancia de peso en **DP** o **DC** indistintamente (Kugler *et al.*, 2002) y siendo la categoría objetivo de los sistemas de cría es importante tener en cuenta su desempeño productivo.

En esta tesis se analizaron establecimientos productivos en situaciones normales para la zona de estudio, con manejo y aplicación de tecnología superiores a la media. Como plantean Chapman *et al.* (2008a), la mejora de los sistemas de producción superiores siempre representa un desafío mayor.

La carga animal fue el parámetro que más influyó en el Margen Bruto (**MB**) de los experimentos de simulación al igual que en las simulaciones de Romera *et al.* (2008) y Stefanazzi (2012), por sobre los otros factores puestos a prueba (edad de destete y uso de suplemento en vientres).

Probablemente por las bajas cargas puestas a prueba no se observó el comportamiento descrito por Späth *et al.* (1984); Romera *et al.* (2008); Continanza (2010) y Stefanazzi (2012) donde el **MB** desciende con las cargas más altas. Sin embargo, como se mencionó antes las **CA** muestran indicios de degradación (baja disponibilidad) en el forraje, los cuales indican que éstas presentarían dificultad para ser sostenidas en el tiempo.

En nuestros experimentos la aplicación de **DP** no permitió mejorar la productividad marcadamente. El **DP** es una técnica recomendada en la zona de estudio (Kugler *et al.*, 2002; Montico; Rodríguez, 2005; Garcilazo *et al.*, 2009; Lauric; Marinissen, 2009) y se ha expresado su conveniencia económica (Pelta, 2011; Torres Carbonell *et al.*, 2012). Sin embargo, estas observaciones surgen de la aplicación de esta técnica, particularmente en situaciones de emergencia, donde sí mejoró la productividad. Es probable que ensayando otras condiciones la aplicación de esta técnica cambie su efecto.

El **MB** comparado entre momentos de destete tuvo un comportamiento diferencial. En los rodeos **DC** el **MB** fue mayor cuando no se suplementó (**SIN**) a las hembras, es decir, que los costos del suplemento (**CON**) no fueron compensados con mayor producción que se tradujera en ingresos. Esto sugiere un incremento decreciente por unidad de insumo aplicado (Parish; Dillon, 1955; Tilman *et al.*, 2002). Asimismo, se debe tener en cuenta que la efectividad del uso de insumos es proporcional a la calidad del ambiente donde se apliquen (Altieri; Nicholls, 2000). En los rodeos **DP**,

exceptuando los de **CB**, el **MB** fue mayor cuando se suplementó (**CON**) a las vacas, aunque la diferencia con las **SIN** no fue tan marcada, evidenciando que en sistemas más intensivos el uso de insumos mantiene e incluso mejora el **MB** por aumentar la producción, a semejanza de la función de producción de Cobb-Duglas (Dawson; Lingard, 1982) que se adapta a sistemas más intensificados.

Cuando se comparan situaciones productivas que implican diferentes escalas, en este caso carga animal, el **MB** suele ser favorable a las **CA** como lo han expresado Ponssa *et al.* (2007) y ese fue el caso en estos experimentos. En los sistemas de cría se destaca la inmovilización de capital hacienda. La Rentabilidad productiva (**RP**) es una herramienta que permite hacer las comparaciones equilibrando las diferencias de escala (cargas), ya que esta tiene en cuenta el capital invertido en la actividad productiva de tal manera que al aumentar la carga aumentará el capital invertido disminuyendo la rentabilidad de cada \$ invertido.

Usando a la **RP** para comparar entre alternativas productivas se hace evidente que las opciones con menor uso de insumos, es decir **DC** y **SIN**, son las alternativas que maximizan la renta por unidad de moneda invertida. Además la **CM** sería la mejor opción (Figura 44). Este resultado coincide con la opción más recomendada a los productores ganaderos en el VBRC, y es probable que esté indicando cierto grado de equilibrio entre la productividad biológica, la sustentabilidad de la producción y la productividad económica, tal como lo plantean Viglizzo y Roberto (1998).

5.2. Modelo vaca-ternero

Para mejorar la representación del modelo SimuGan (Machado *et al.*, 2010) en referencia a aspectos relacionados con la lactancia (par vaca-ternero) se desarrolló un Sub-Modelo que luego se incorporó en el mismo.

La producción potencial de leche durante el posparto de bovinos para carne, se representó mediante la forma de la curva de lactancia para diversas condiciones de manejo y tipos de animales mediante la ecuación [1]. Los resultados obtenidos de las curvas de lactancia representadas con el Sub-Modelo (Figura 13) son muy similares a curvas de lactancia de vacas de cría de muy diferente potencial en condiciones extensivas informadas en la bibliografía. Las curvas de lactancia de vacas de razas británicas de alta producción lechera representadas por el Sub-Modelo se asemejan a las presentadas por Jenkins y Ferrell (1984) y Marston *et al.* (1992), mientras que la representación de las curvas de lactancia de vacas de razas británicas de mediana

producción, son similares a las obtenidas por Mezzadra *et al.* (1989). Las diferencias en potencial productivo son máximas en el pico de lactancia (**PL**), y disminuyen avanzada la lactancia, coincidiendo con los resultados obtenidos por Belcher y Frahm (1979); Jenkins y Ferrell (1984) y Marston *et al.* (1992).

Se constató la flexibilidad de la ecuación [1] propuesta por Tedeschi y Fox (2009) a partir de la curva de Wood (Wood, 1967), para representar el potencial de producción de leche, ya que el Sub-Modelo pudo construir de manera diferencial la curva de lactancia de animales de diferentes potenciales productivos y condiciones de manejo (Figura 1). Esto es consistente con lo expuesto por Congleton y Everett (1980); Papajcsik y Boderó (1988); Rook *et al.* (1993); Friggens *et al.* (1999) y Oliri *et al.* (1999), que consideran a la curva de Wood una de las funciones más adecuada para representar la curva de lactancia en diversas situaciones.

El Sub-Modelo para producción láctea fue construido intentando contemplar las posibles diferencias en las características de los animales y el manejo de los mismos en referencia a la lactancia, a partir de la forma básica de la curva de producción láctea agregando ajustes por características de los animales como la edad y otros que describen el genotipo, **MPDL**, **PL**, **DPL**, **Fb** y raza. Estos factores son de gran importancia para caracterizar a los animales, tal como lo demuestra Jeffery *et al.* (1971b) quienes determinaron por regresión múltiple la importancia de la raza de la vaca en la variabilidad de la producción de leche.

El Sub-Modelo tuvo la capacidad de representar el efecto de la edad de la vaca en la producción de leche (**PDL**). En plena coincidencia con lo señalado por Dawson *et al.* (1960); Melton *et al.* (1967); Jeffery *et al.* (1971b); Boggs *et al.* (1980) y Baker y Boyd (2003), la **PDL** se incrementó hasta la sexta lactancia, se mantuvo algunos años y luego declinó con la edad de la vaca (Figura 14).

En el Sub-Modelo las ecuaciones [11 a 13] permitieron representar la variabilidad en la composición de la leche, mediante tres parámetros (**P_{g_l}**, **P_{p_l}** y **t**) que modelan el mérito genético de las vacas de manera independiente de su edad y de la influencia del ternero lactante. En coincidencia, Melton *et al.* (1967); Mondragon *et al.* (1983) y Bailey *et al.* (1991) sugieren que la composición porcentual de la leche no se modifica con la edad de la vaca de cría. No obstante, Melton *et al.* (1967) y Bailey *et al.* (1991) advirtieron que las cantidades absolutas (kg) de los distintos componentes de la leche varían al modificarse la **PDL** con la edad de la vaca. Por otra parte Bailey *et al.* (1991) no observaron modificaciones en la composición de la leche dependientes del ternero

cuando se comparó la relación entre ésta y el consumo de leche (C_l) o la variación diaria de peso vivo ($VDPV$) de terneros.

La influencia de la composición de la leche en la demanda de energía que tiene la vaca cuando está amamantando, quedó representada en el Sub-Modelo demostrando su sensibilidad (Figuras 15 y 16). En el rango de grasa en leche explorado, el cambio en los requerimientos de energía fue de 28,5 % entre los extremos, mientras que en el rango de potencial de producción de leche, el cambio fue de 67,3 % entre los extremos; manifestando que el potencial de producción de leche es el parámetro que más incidencia tiene en la demanda de energía para la vaca, lo cual está de acuerdo con lo expresado en NRC (2000).

En el Sub-Modelo se agregaron una serie de ecuaciones [16 a 27] del modelo de Fox *et al.* (1988) que permiten representar la capacidad de movilizar reservas para producir leche que tienen las vacas, de acuerdo al estado corporal y su edad (Figura 17). La importancia de tener en cuenta esta funcionalidad fue determinada por Boggs *et al.* (1980) quienes expresaron que cuando el nivel de nutrientes es inadecuado, la vaca intenta mantener su **MPDL** a expensas de reservas corporales, lo cual puede perjudicar el desempeño reproductivo. Esta incorporación fue un avance para el modelo SimuGan (Machado *et al.*, 2010), que de esta manera puede representar mejor los efectos de la lactancia en las hembras que amamantan un ternero.

En el Sub-Modelo se incorporó un mecanismo de regulación de la lactancia que tiene en cuenta la síntesis y muerte de las células secretoras de leche en la ubre, basado en el modelo de Blanc *et al.* (2000) que liga la **PDL** con el C_l . Otros modelos (Neal; Thornley, 1983; Faverdin *et al.*, 2011) usaron módulos similares para regular la síntesis láctea pero agregaron más complejidad al tomar en cuenta las hormonas intervinientes en la lactancia. El modelo propuesto por Faverdin *et al.* (2011) sólo tiene en cuenta la cantidad de células secretoras y su regulación (síntesis y muerte) para simular la forma de la curva de lactancia, pero la cantidad de células secretoras no está relacionada con la **PDL** ni con el mérito genético de las vacas imposibilitando representar distintos tipos de animales, a diferencia del Sub-Modelo que si lo hace.

Los ajustes incorporados a este Sub-Modelo lo hacen más flexible que el modelo preexistente. El Sub-Modelo posibilita representar desplazamientos o acortamientos de la producción láctea debidos a las variaciones en el tiempo de las condiciones ambientales y de manejo, tales como las reportadas por Cairnie (1979) y Butson y

Berg (1984). Estos autores sugieren que la curva de lactancia real de vacas de cría en pastizales probablemente demanda ser más flexible que la de vacas lecheras, debido a que se requiere una mayor flexibilidad en la producción de leche como respuesta a las cambiantes condiciones de alimentación. Además el Sub-Modelo es capaz de representar una disminución en la persistencia de la lactancia como consecuencia de malas condiciones de alimentación para las vacas de cría. Esta condición también fue informada por varios autores (Jenkins; Ferrell, 1984).

El parámetro que más afectó al C_l fue el **MPDL** (Figuras 22, 23 y 25), lo cual coincide con los resultados de Gleddie y Berg (1968) y Mininck *et al.* (2001). El segundo factor que afectó al C_l fue el PV_l . En coincidencia, Totusek *et al.* (1973); Boggs *et al.* (1980); Mininck *et al.* (2001) y Grings *et al.* (2008) que relacionaron altos C_l con el mayor PV_l y Lusby *et al.* (1976); Garrett (1980); NRC (1987) y Gradiz *et al.* (2007) que relacionaron el PV_l con la capacidad de ingestión del ternero lactante (CI_l) o potencial de C_l .

En vacas de mediana y alta producción de leche simuladas con el Sub-Modelo, el ternero no hizo uso del total de leche disponible en la ubre (Figura 18), expresando la diferencia entre el potencial de producción de leche de la vaca y el C_l del ternero. Esta diferencia también fue informada por Fiems *et al.* (2008), es una propiedad importante que el Sub-Modelo puede reflejar a través de la ecuación [28] la cual toma en cuenta el PV_l y **MPDL**. Tal como observaron Hatfield *et al.* (1989) cuando el C_l es menor al potencial de producción de leche de la madre, las vacas producen leche de acuerdo a su potencial hasta satisfacer el C_l de su ternero (Figura 21) destinando la energía excedente a recomposición de tejidos corporales.

El Sub-Modelo mostró sensibilidad del C_l a la digestibilidad del forraje (**DigF**) al igual que lo informado por Holloway *et al.* (1975a, b); Lusby *et al.* (1976); Boggs *et al.* (1980); Wright y Russel (1987) y Wright *et al.* (1990). No obstante, el efecto de este parámetro no fue muy notorio. Observar esta relación no es simple, ya que como informan Baker *et al.* (1976) diversos factores interactúan para definir el C_l y pueden existir algunos efectos confundidos, tales como la **VDPV** del ternero, la edad del ternero, la caída natural de la **PDL** y otros. Por ejemplo, es esperable que terneros que pastorean en forrajes de buena calidad tengan un menor C_l , pero en general estos terneros tienen una mayor ganancia de peso, con lo cual en el tiempo aumentan el consumo de forraje (C_f) y también el C_l .

La sensibilidad del Sub-Modelo se manifestó en el tiempo representando el tamaño del ternero y su desarrollo ruminal. Los resultados demostraron el efecto de la *DigF* sobre el C_l (Figura 22) y están en concordancia con los resultados de Lusby *et al.* (1976); Wyatt *et al.* (1977) y Boggs *et al.* (1980) que determinaron que entre los 2 y 6 meses de edad el C_l tiene un efecto negativo sobre el C_f y con los resultados de Bidart *et al.* (1971) y Cairnie (1979) en referencia a que el C_l pasa a un plano secundario a partir de los 4 o 5 meses de edad de los terneros.

Las diferencias en el consumo de leche, debidas al peso vivo del ternero al nacimiento (PV_n) que fueron simuladas y presentadas en la figura 23 fueron mínimas. Sin embargo, Melton *et al.* (1967); Marston *et al.* (1992) y Miller *et al.* (1999) mencionan al PV_n como uno de los factores que incide en el consumo de leche y por ende en la producción de leche de la vaca. Marston *et al.* (1992) encontraron una relación directa entre el PV_n y la producción total de leche (*PTL*) de vacas británicas. Asimismo, Rutledge *et al.* (1971) y Boggs *et al.* (1980) reportaron que los terneros más grandes estimulan a sus madres a producir más leche.

Al comparar los resultados obtenidos por el Sub-Modelo con los de Marston *et al.* (1992) se observa que las diferencias debidas al PV_n fueron considerables. Marston *et al.* (1992) observaron que el aumento de 1 kg en el PV_n correspondió a un cambio en la *PTL* de $19,2 \pm 8,6$ kg en Angus y $8,6 \pm 6,9$ kg en Simental, mientras que en el ejemplo simulado, un aumento de 1 kg en el PV_n de ganado Angus, correspondió a un cambio en la *PTL* de 0,6 a 3,6 kg. Al profundizar en la comparación del ejemplo simulado con el trabajo de Marston *et al.* (1992), se encuentran algunos factores que amplían la diferencia. En ese trabajo se utilizaron animales de mayor PV_n y las vacas tuvieron mayor *PTL* respecto de los representados con el Sub-Modelo. En virtud de esto, se hicieron algunas corridas complementarias con el Sub-Modelo (datos no mostrados) que probaron diferentes efectos del PV_n de acuerdo a otros parámetros como calidad de la dieta, *CC* de las vacas, frame, biotipo dentro de la raza y duración de la lactancia, obteniendo diferencias de hasta 38,5 kg en la *PTL* al aumentar 1 kg en el PV_n para una lactancia de 210 días.

La ecuación [33] del Sub-Modelo que calcula el consumo de materia seca de forraje por el ternero (CMS_f) no incluye la edad del mismo. No obstante, la edad del ternero estaría representada en el Sub-Modelo por el peso vivo del ternero lactante (PV_l). De esta forma se contempla la importancia de la edad del ternero respecto a la relación C_f

- C_l que se expresó en varios experimentos (Cauhépé, 1978; Cairnie, 1979; Holloway *et al.*, 1982; Wright; Whyte, 1989). Butson y Berg (1984) expresaron que el PV_l es un buen parámetro para describir al CMS_f del ternero.

La disponibilidad y estructura de la pastura que pastorean los terneros tiene importantes efectos sobre el consumo de los terneros (Wright; Russel, 1987; Wright *et al.*, 1990; Gekara *et al.*, 2001). No fue necesario incluir en la ecuación [33] del Sub-Modelo ni estos factores ni la interacción de éstos con la calidad (ED_f o $DigF$) que ha sido mencionada como significativa (Wright; Russel, 1987; Grings *et al.*, 1996) ya que estaban contemplados en el modelo de pastoreo del simulador SimuGan (Machado *et al.*, 2010).

La capacidad de compensar la falta de leche incrementando el C_f se observó en las simulaciones con el Sub-Modelo (Figura 19) y está documentada en la bibliografía (Baker *et al.*, 1976; Ansotegui *et al.*, 1991). Este comportamiento del C_f estuvo relacionado con la calidad del mismo, tal como lo mencionan Grings *et al.* (1996). Se advierte sobre todo en la primera etapa de vida del ternero, y es más notable en los forrajes de mayor calidad. De esta manera quedan representadas las limitaciones físicas que impone el forraje de inferior calidad al C_f . Observaciones similares sobre el C_f y su relación con la calidad fueron mencionadas por Holloway *et al.* (1982).

La ecuación [33] del Sub-Modelo representa la calidad del forraje mediante la $DigF$ que estaría afectando también el $MPDL$ incidiendo en el C_f del ternero lactante por dos vías, la $DigF$ en sí y la relación $C_f - C_l$. En un análisis análogo Butson y Berg (1984) mencionaron que la calidad de forraje afectó la PDL de la vaca y el C_l del ternero.

Un modelo de C_f similar al utilizado en esta tesis fue planteado por Jouven *et al.* (2008) quienes para su cálculo tienen en cuenta el PV_l y la curva de Gompertz ajustada como modelo de crecimiento (Gomperzt, 1825; Winsor, 1932). Por simplicidad ese modelo no tiene en cuenta la interacción entre $C_f - C_l$, por lo que no es capaz de representar lo expuesto por Holloway *et al.* (1982); Butson y Berg (1984) y Grings *et al.* (1996). Como propuesta superadora, la relación $C_f - C_l$ fue tomada en cuenta por el Sub-Modelo propuesto en esta tesis con el objetivo de poder representar diferentes condiciones ambientales y de manejo del ganado.

5.3. Simulación del par vaca-ternero con el Sub-Modelo

Dado que los modelos de simulación son representaciones simplificadas de la realidad, los resultados deben interpretarse en términos relativos y no absolutos, mediante la comparación de resultados del modelado de escenarios alternativos (Romera, 2004; Stefanazzi, 2012; Zabala, 2012).

La validación de modelos consiste en establecer la aptitud y precisión de las predicciones sobre un amplio rango de condiciones simuladas. El hecho de que un modelo permita predecir apropiadamente sobre un conjunto de circunstancias no significa que esté validado. Sin embargo, cuanto más amplio sea el rango donde el modelo tenga un buen comportamiento, mayor será la confianza en lo adecuado de sus conceptos y parámetros, y más útiles sus predicciones. La validación depende de la existencia de resultados precisos y una descripción completa de las condiciones experimentales en las que el modelo es sensible (Black *et al.*, 1993).

La concordancia observada entre los resultados descriptos en la bibliografía (Bidart *et al.*, 1971; Cauhépe, 1978; Cairnie, 1979; Hickson *et al.*, 2008) y la predicción resultante de la simulación con el Sub-Modelo para C_l se consideran adecuadas (Figura 27 y 29). De la misma manera se observó una concordancia muy buena al comparar los experimentos de campo (Cairnie, 1979; Mezzadra *et al.*, 1989; Hickson *et al.*, 2008; Hötzel *et al.*, 2010) con las predicciones del Sub-Modelo para el PV_l , una variable que resulta de la interacción de muchas otras e integra diversas partes del Sub-Modelo (Figura 28 y 30).

Teniendo en cuenta las limitaciones del Sub-Modelo para representar sistemas completos de producción, y que muchos parámetros fueron supuestos por la falta de información para la descripción del ambiente, animales y manejo en los experimentos citados, situación que según Tess y Kolstad (2000) es frecuente en los experimentos de campo por la complejidad asociada a los sistemas de producción agropecuarios; se considera que las predicciones del Sub-Modelo sobre aspectos de la lactancia y consumo de leche y forraje por los terneros son adecuadas a los fines que se pretende en esta tesis (Figuras 27, 28, 29 y 30).

La adecuada concordancia encontrada entre los resultados de las simulaciones y los resultados de experimentos de campo, seguramente está relacionada con el esfuerzo por caracterizar lo mejor posible las condiciones ambientales y de manejo

descriptas en los citados trabajos. Al respecto Black *et al.* (1993) expresan que una descripción precisa de la situación que se está simulando es fundamental para permitir obtener predicciones fiables.

La innovación del Sub-Modelo desarrollado en esta tesis, radica en que hizo hincapié en mejorar el modelado de la relación vaca-ternero y las interacciones de los procesos representados, lo cual facilitó interpretaciones biológicas según el contexto medioambiental, tales como determinar a qué edad del ternero la leche es más o menos importante para la ganancia de peso, cuantificar el efecto de la succión láctea en la condición corporal de las vacas, o la relación $C_f - C_l$ en los terneros.

El Sub-Modelo permite representar las bases conceptuales que definen el manejo de la lactancia y los factores que la afectan. Por tal motivo, se considera una instancia de avance respecto a los modelos que se han enfocado sólo en la producción de leche (Beever *et al.*, 1991; Rook *et al.*, 1993; Dijkstra *et al.*, 1997), y a los modelos para simulación que algunos investigadores locales (Späth, 1984; Feldkamp, 2004; Romera, 2004) trataron en sus trabajos de tesis sobre la temática lactancia y consumo de leche y forraje de los terneros lactantes.

Existen muchos puntos en común en las estructuras para simulación de las investigaciones mencionadas con el Sub-Modelo propuesto en esta tesis. Adhiriendo a los criterios de Tess y Kolstad (2000), en la medida de lo posible, en este trabajo se ha tratado de mejorar la representación del desempeño de los animales utilizando un enfoque mecanicista, con la convicción de que los modelos mecanicistas permiten mejores simulaciones en una amplia gama de circunstancias que los modelos empíricos.

El Sub-Modelo desarrollado representa la integración de una gran cantidad de investigaciones científicas en una herramienta de investigación complementaria para el estudio del funcionamiento de los sistemas de producción de carne, y que ha mostrado una aceptable representación de los datos de campo disponibles (Figuras 29 y 30).

La mejora realizada permitirá estudiar a futuro el **DP** en combinación con diferentes alternativas técnicas tales como, la aplicación estratégica a categorías como vacas CUT y vaquillonas, el uso de verdeos de invierno, explorar nuevas fechas de servicios o acortamientos de los mismos, biotipos animales diferentes, efectos de la suplementación a terneros, condiciones ambientales extremas, cambio/riesgo climático, etc.

5.4. Dificultades y fortalezas de la modelación para el diseño y estudio de sistemas productivos

En esta tesis se plantean ensayos de simulación debido a que la producción agropecuaria es un proceso dinámico afectado por factores que interaccionan entre sí como lo expresan Ruiz y Oregui (2001), tales como el clima y el mercado que están más allá de las posibilidades de control de quienes manejan las unidades de producción (Pearson; Ison, 1997; Verburg *et al.*, 2004; Martin *et al.*, 2013). Sin embargo, como criterio general, se ha hecho un esfuerzo de evaluación de las predicciones del modelo con los datos de campo disponibles.

En este trabajo se utilizó un simulador disponible a nivel campo o empresa, SimuGan (Machado *et al.*, 2010), con entidad en un sitio Web y contempla diferentes reglas de manejo para hacerlo más flexible (ver en anexo más detalles de estructura y funcionamiento). El mismo ha sido utilizado recientemente por Stefanazzi (2012) en un trabajo de tesis que exploró alternativas tecnológicas demandadas por explotaciones ganaderas comerciales de la zona de Laprida, donde se le agregó la funcionalidad del uso diferido de verdeos de verano. En este trabajo se le mejoró la representación biológica de la lactancia y el consumo de forraje y leche de los terneros.

El contar con una herramienta que genera información completa e integral facilita la investigación y extensión en los sistemas ganaderos. Por ejemplo, Chapman *et al.* (2008a, b y 2011) tuvieron que utilizar tres softwares diferentes para llevar a cabo una investigación mediante simulaciones, lo que implicó varios pasos de simulación para poder concretar el análisis (modelado de la producción forrajera, de la producción lechera y del desempeño económico por separado), lo cual implica riesgos en la falta de retroalimentación entre los modelos y más trabajo en la configuración de escenarios, carga de datos y riesgos de incompatibilidades.

Otros aspectos como la toma de decisiones para la adopción de tecnología por los productores no fueron abordados en esta tesis. Sin embargo, el modelo integral cuenta con potencialidad para afrontar esta interesante temática en futuras intervenciones, y el hecho que esté disponible por internet (Web) evita las dificultades de acceso al modelo, y que dé resultados diferentes de acuerdo a la versión del mismo, como sucede en sistemas de escritorio.

Resulta dificultoso modelar la toma de decisiones ya que en la abstracción que involucra el planteo de modelos matemáticos, se puede perder la relevancia de las

prácticas de manejo en el mundo real. Esta dificultad también fue notada por Verburg *et al.* (2004) y Woodward *et al.* (2008). Además algunos temas importantes que influyen en la adopción de tecnologías por los productores, como los niveles de habilidades prácticas, los objetivos de la familia, las limitaciones culturales, los hábitos, los cambios de cosmovisión, los valores, los intereses y decisiones son difíciles de representar en un modelo informático tal como lo expresa en su trabajo Edwards-Jones (2006). En este sentido, la modelación participativa permite ampliar la visión de la problemática que incide en la toma de decisiones como lo enuncian Martin *et al.* (2011) y Machado y Berger (2012). Queda expuesta entonces, la necesidad del trabajo interdisciplinario a la hora de explorar los sistemas de producción agropecuarios; Ruiz y Oregui (2001) y Verburg *et al.* (2004) también han expresado la necesidad de la interdisciplina. Estos son aspectos que deberán ser tenidos en cuenta en futuras investigaciones de los sistemas de producción en las que este modelo puede contribuir.

El desarrollo del Sub-Modelo surgió como necesidad a partir de algunas preguntas concretas que el territorio estudiado (VBRC) demandaba. No obstante, las mejoras propuestas intentaron ser amplias y universales para que el simulador pueda ser utilizado en distintas situaciones.

En referencia a lo expuesto, compartimos lo expresado por Chapman *et al.* (2008b) en cuanto a que los programas de investigación tienen una clara oportunidad para abordar los vacíos de conocimiento expuestos por las simulaciones que actúan como hipótesis cuantitativas (que pueden contener la inclusión provisoria de valores de parámetros) para poner en evidencia y ayudar al diseño de experimentos de campo complementarios.

6. CONCLUSIONES

1. Se logró desarrollar un Sub-Modelo capaz de representar aceptablemente la producción láctea y el consumo de leche y forraje por los terneros, con el consecuente efecto en variables productivas de vientres y crías.
2. El destete precoz sistemático no mejoró el resultado productivo (venta de carne) en comparación con el destete convencional. Si bien el destete precoz mejoró el peso de las vacas vendidas y las tasas de preñez, con el consecuente aumento en el número de terneros/as vendidos, disminuyó el peso de los terneros/as a venta y las mejoras mencionadas no fueron suficientes para incrementar el resultado económico de los de sistemas de cría vacuna de alta carga animal en el VBRC.
3. El uso de silaje de sorgo como alimentación suplementaria *otoño-invernal* en las vacas de cría en general, mejoró levemente el resultado productivo pero no el económico de los sistemas de cría simulados en el Valle Bonaerense del Río Colorado.
4. Las cargas altas mostraron los mayores índices productivos y mejores márgenes brutos, pero también se encontraron indicios que señalan que no pueden ser sostenidas en el tiempo, además las cargas medias presentaron las mejores rentabilidades productivas, lo que indica que las cargas óptimas estarían alrededor de la considerada como cargas medias.

7. BIBLIOGRAFÍA

- AACREA. 1990. Normas para medir los resultados económicos de las empresas agropecuarias. Convenio AACREA - Banco Río, Buenos Aires, Argentina. 80 p.
- ABDELSAMEI, A.H.; FOX, D.G.; TEDESCHI, L.O.; THONNEY, M.L.; KETCHEN, D.J.; STOUFFER, J.R. 2005. The effect of milk intake on forage intake and growth of nursing calves. *Journal of Animal Science*. 83: 940-947.
- ABRAHAM, E.M.; GUEVARA, J.C.; CANDIA, R.J.; SORIA, N.D.; DISTEL, R. 2010. Informe preliminar de la comisión IADISA/CERZOS sobre la situación en el Suroeste de la provincia de Buenos Aires, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. 33 p.
- AFIP. 2012. Sistema Tributario Argentino. [en línea] <http://www.afip.gob.ar/futCont/otros/sistemaTributarioArgentino/#a> [consulta: 10 noviembre 2012]
- AGAMENNONI, R.; RIVAS, J.; PRIOLETTA, S.; KRÜGER, H.; ENRRIQUE, M. 2006. Rotaciones para sistemas de producción con cebolla en el Valle Bonaerense del Río Colorado. INTA, Hilario Ascasubi, 16 p.
- ALTIERI, M.A. 1999. Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. Altieri, Miguel A., Montevideo, Uruguay. 325 p.
- ALTIERI, M.A.; NICHOLLS, C.I. 2000. Agroecología Teoría y práctica para una agricultura sustentable. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, México D.F., México. 257 p.
- ANDERSON, D.L.; BONVISSUTO, G.L.; BRIZUELA, M.A.; CHIOSSONE, G.; CIBILS, A.F.; CID, M.S.; FELDMAN, I.; FERNÁNDEZ GRECCO, R.C.; KUNST, C.; OESTERHELD, M.; OLIVA, G.E.; PARUELO, J.M.; PEINETTI, H.R.; VILLAGRA, E.S. 2011. Perspectives on Rangeland Management Education and Research in Argentina. *Rangelands*. 33(1): 2-12.
- ANDERSON, K.L.; NAGARAJA, T.G.; MORRILL, J.L. 1987. Ruminal metabolic development in calves weaned conventionally or early. *Journal of Dairy Science*. 70(5): 1000-1005.
- ANDERSON, V.L.; JOST, L.; DINKEL, C.A.; BROWN, M.A. 1983. Prediction of daily total digestible nutrient requirement of beef cows in northern climates. *Journal of Animal Science*. 56: 271-279.
- ANSOTEGUI, R.P.; HAVSTAD, K.M.; WALLACE, J.D.; HALLFORD, D.M. 1991. Effects of milk intake on forage intake and performance of suckling range calves. *Journal of Animal Science*. 69: 899-904.
- ANTONELLI, D. 2010. Superficie sembrada para silaje de maíz y sorgo en Villarino coordinada por APROVIS. INTA. Hilario Ascasubi, Buenos Aires, Argentina, APROVIS.

- ARTHINGTON, J.D.; KALMBACHER, R.S. 2003. Effect of early weaning on the performance of three-year-old, first-calf beef heifers and calves reared in the subtropics. *Journal of Animal Science*. 81(5): 1136-1141.
- BAILEY, C.B.; LAWSON, J.E. 1981. Estimated water and forage intakes in nursing range calves. *Canadian Journal of Animal Science*. 61(2): 415-421.
- BAILEY, D.R.C.; GILBERT, R.P.; BEAUCHEMIN, K.A.; PETITCLERC, D. 1991. Effects of creep feeding and breed composition on growth of heifer calves and milk production of their dams. *Canadian Journal of Animal Science*. 71(3): 621-627.
- BAKER, J.F.; BOYD, M.E. 2003. Evaluation of age of dam effects on maternal performance of multilactation daughters from high- and low-milk EPD sires at three locations in the southern United States. *Journal of Animal Science*. 81: 1693-1699.
- BAKER, J.F.; BOYD, M.E.; BROWN, A.H.; FRANKE, D.E.; THOMPSON, C.E. 2003. Evaluation of maternal performance of daughters from high and low milk EPD sires. *Journal of Animal Science*. 81: 1406-1413.
- BAKER, R.D.; LE DU, L.P.; BAKER, J.M. 1976. Milk-fed calves 1. The effect of milk intake upon the herbage intake and performance of grazing calves. *Journal of Agricultural Science*. 87(1): 187-196.
- BARIONI, L.G.; DAKE, C.K.G.; PARKER, W.J. 1999. Optimizing rotational grazing in sheep management systems. *Environment International*. 25(6/7): 819-825.
- BARKER NEEF, J.M.; BUSKIRK, D.D.; BLACKT, J.R.; DOUMIT, M.E.; RUST, S.R. 2001. Biological and economic performance of early-weaned Angus steers. *Journal of Animal Science*. 79(11): 2762-2769.
- BARRENA, P.G. 2010. Evaluación de materiales de maíz para silo. Campaña 2009-10.
<http://www.corforiocolorado.gov.ar/archivos/evaluacionmaterialesmaizsilo2009-2010.pdf> [consulta: 15 mayo 2011]
- BARTLE, S.J.; MALES, J.R.; PRESTON, R.L. 1984. Effect of energy intake on the postpartum interval in beef cows and the adequacy of the cow's milk production for calf growth. *Journal of Animal Science*. 58(5): 1068-1074.
- BASSI, T.; MIÑÓN, D.P.; GIORGETTI, H., D. 2009. Efectos de la sequía en la ganadería bovina en el noreste patagónico: Análisis de la situación actual y perspectivas. Período 2001-2009. Ediciones INTA. 27 p.
- BEAL, W.E.; NOTTER, D.R.; AKERS, R.M. 1990. Techniques for estimation of milk yield in beef cows and relationships of milk yield to calf weight gain and postpartum reproduction. *Journal of Animal Science*. 68: 937-943.
- BEEVER, D.E.; ROOK, A.J.; FRANCE, J.; DHANOA, M.S.; GILL, M. 1991. A review of empirical and mechanistic models of lactational performance by the dairy cow. *Livestock Production Science*. 29: 115-130.

- BELCHER, C.G.; FRAHM, R.R. 1979. Productivity of two-year-old crossbred cows producing three-breed cross calves *Journal of Animal Science*. 49(5): 1195-1206.
- BELL, D.J.; SPITZER, J.C.; BURNS, G.L. 1998. Comparative effects of early weaning or once-daily suckling on occurrence of postpartum estrus in primiparous beef cows. *Theriogenology*. 50(5): 707-715.
- BELLOWS, R.A.; SHORT, R.E.; RICHARDSON, G.V. 1982. Effects of sire, age of dam and gestation feed level on dystocia and postpartum reproduction. *Journal of Animal Science*. 55: 18-27.
- BIDART, J.B.; VERDE, L.; BARBIERO, S. 1971. Relación entre el consumo de leche y el crecimiento hasta el destete de terneros Aberdeen Angus. *Producción Animal*. 2: 27-31.
- BISHOP, D.K.; WETTEMANN, R.P. 1990. Body energy reserves influence the onset of luteal activity after early weaning of beef cows. *Animal Science Research Report*. (MP-129): 327-329.
- BLACK, J.L.; DAVIES, G.T.; FLEMING, J.F. 1993. Role of computer simulation in the application of knowledge to animal industries. *Australian Journal of Agricultural Research*. 44(3): 541-555.
- BLANC, F.; AGABRIEL, J.; SABATIER, P. 2000. Modelling Interactions between cow milk yield and growth of its suckling calf. En: McNamara, J.P.; J., F.; E., B.D. (eds.) *Modelling Nutrient Utilization in Farm Animals*. CAB Publishing. Wallingford, Oxon, UK.pp. 211-226.
- BLANCO, M.; VILLALBA, D.; RIPOLL, G.; SAUERWEIN, H.; CASASÚS, I. 2008. Effects of pre-weaning concentrate feeding on calf performance, carcass and meat quality of autumn-born bull calves weaned at 90 or 150 days of age. *Animal*. 2(5): 779-789.
- BOGGS, D.L.; SMITH, E.F.; SCHALLES, R.R.; BRENT, B.E.; CORAH, L.R.; PRUITT, R.J. 1980. Effects of milk and forage intake on calf performance. *Journal of Animal Science*. 51: 550-553.
- BROESDER, J.T.; JUDKINS, M.B.; KRYSL, L.J.; GUNTER, S.A.; BARTON, R.K. 1990. Thirty or sixty percent milk replacer reduction for calves: effects on alfalfa hay intake and digestibility, digestive kinetics and ruminal fermentation. *Journal of Animal Science*. 68: 2974-2985.
- BROWN, M.A.; LALMAN, D.L. 2010. Milk yield and quality in cows sired by different beef breeds. *The Professional Animal Scientist*. 26: 393-397.
- BRYANT, J.R.; LOPEZ VILLALOBOS, N.; HOLMES, C.W.; PRYCE, J.E.; PITMAN, G.D.; DAVIS, S.R. 2007. The effect of level of feeding, genetic merit, body condition score and age on biological parameters of a mammary gland model. *Animal*. 1: 175-183.

- BURGES, J.C.; ROMERA, A.J. 2003. Condición corporal, nivel nutricional y fertilidad de vacas paridas en otoño. *Revista Argentina de Producción Animal*. 23: 304-306.
- BUSKIRK, D.D.; LEMENAGER, R.P.; HORSTMAN, L.A. 1992. Estimation of net energy requirements (NEm and NE delta) of lactating beef cows. *Journal of Animal Science*. 70: 3867-3876.
- BUTSON, S.; BERG, R.T. 1983. Factors influencing lactation performance of range beef and dairy-beef cows. *Canadian Journal of Animal Science*. 64: 267-277.
- BUTSON, S.; BERG, R.T. 1984. Factors influencing lactation performance of range beef and dairy-beef cows. *Canadian Journal of Animal Science*. 64: 267-277.
- BUTSON, S.; BERG, R.T.; HARDIN, R.T. 1980. Factors influencing weaning weights of range beef and dairy-beef calves. *Canadian Journal of Animal Science*. 60: 727-742.
- CABRERA, A.L. 1971. Territorios fitogeográficos de la República Argentina. *Sociedad Argentina de Botánica*. 1-2. 50 p.
- CACHO, O.J.; FINLAYSON, J.D.; BYWATER, A.C. 1995. A Simulation Model of Grazing Sheep: II. Whole Farm Model. *Agricultural Systems*. 48(1): 27-50.
- CACHO, O.J.; BYWATER, A.C.; DILLON, J.L. 1999. Assessment of production risk in grazing models. *Agricultural Systems*. 60: 87-98.
- CAIRNIE, A.G. 1979. Producción Láctea en Vacas Aberdeen Angus en Pastura Natural y en Pasto Llorón. *Revista de Investigación Agropecuaria*. 14(2): 45-76.
- CARCEDO ORALLO, J.A.; ALONSO TONILLO, A.; MENAJOVSKY BARBIERO, J.R.; ÁLVAREZ VERZEROLI, C.F. 2007. Efecto del destete precoz de terneras sobre su fertilidad, en sistemas de carne con entore a los dos años. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 16(1): 13-17.
- CAUHÉPÉ, M.A. 1978. Consumo de leche y de forraje por terneros cruza criados al pie de sus madres en condiciones de pastoreo continuo. *Producción Animal*. 6: 406-413.
- CICCIOLI, N.H.; WETTEMANN, R.P.; SPICER, L.J.; LENTS, C.A.; WHITE, F.J.; KEISLER, D.H. 2003. Influence of body condition at calving and postpartum nutrition on endocrine function and reproductive performance of primiparous beef cows. *Journal of Animal Science*. 81: 3107-3120.
- CLUTTER, A.C.; NIELSEN, M.K. 1987. Effect of level of beef cow milk production on pre and postweaning calf growth. *Journal of Animal Science*. 64: 1313-1322.
- COBBY, J.M.; LE DU, L.P. 1978. On fitting curves to lactation data. *Animal Production*. 26(2): 127-133.
- COCIMANO, M.; LANGE, A.; MENVILLE, E. 1975. Estudio sobre equivalencias ganaderas. *Producción Animal*. 4: 161-190.

- CONGLETON, W.R.; EVERETT, R.W. 1980. Application of the incomplete gamma function to predict cumulative milk production. *Journal of Dairy Science*. 63(1): 109-119.
- CONTINANZA, F.G. 2010. Productividad física y resultados económicos en un sistema de cría manejado según el estado de las pasturas bajo diferentes niveles de carga animal. *Tesis de Maestría*. Programa de posgrado en Ciencias Agrarias. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarce, Buenos Aires, Argentina. 121 p.
- COPROSA 2009 Sistema de seguimiento y evolución de las campañas de vacunación antiaftosa. Cantidad de bovinos vacunados por departamento y categoría. Segunda campaña 2002 al 2009. [En línea] <http://www.senasa.gov.ar/contenido.php?to=n&in=673&io=7320> [consulta: 12 mayo 2011]
- CHAPMAN, D.F.; KENNY, S.N.; LANE, N. 2011. Pasture and forage crop systems for non-irrigated dairy farms in southern Australia: 3. Estimated economic value of additional home-grown feed. *Agricultural Systems*. 104: 589-599.
- CHAPMAN, D.F.; KENNY, S.N.; BECA, D.; JOHNSON, I.R. 2008a. Pasture and forage crop systems for non-irrigated dairy farms in southern Australia. 1. Physical production and economic performance. *Agricultural Systems*. 97: 108-125.
- CHAPMAN, D.F.; KENNY, S.N.; BECA, D.; JOHNSON, I.R. 2008b. Pasture and forage crop systems for non-irrigated dairy farms in southern Australia. 2. Inter-annual variation in forage supply, and business risk. *Agricultural Systems*. 97: 126-138.
- DAWSON, P.J.; LINGARD, J. 1982. Management bias and returns to scale in a Cobb-Douglas production function for agriculture. *European Review of Agricultural Economics*. 9(1): 7-24.
- DAWSON, V.M.; COOK, A.C.; BRADFORD KNAPP, J. 1960. Milk production of beef Shorthorn cows. *Journal of Animal Science*. 19: 502-508.
- DICOSTANZO, A.; MEISKE, J.C.; PLEGGÉ, S.D. 1991. Characterization of energetically efficient and inefficient beef cows. *Journal of Animal Science*. 69: 1337-1348.
- DIJKSTRA, J.; FRANCE, J.; DHANOA, M.S.; MAAS, J.A.; HANIGAN, M.D.; ROOK, A.J.; BEEVER, D.E. 1997. A model to describe growth patterns of the mammary gland during pregnancy and lactation. *Journal of Dairy Science*. 80: 2340-2354.
- DONNELLY, J.R.; SIMPSON, L.S.; MOORE, A.D.; FREER, M.; DOVE, H. 2002. Forage-livestock models for the Australian livestock industry. En: Ahuja, L.R.; Liwang, M.; Howell, T.A. (eds.) *Agricultural system models in field research and technology transfer*. Lewis Publisher. Boca Raton, Florida, Estados Unidos de Norte América. pp. 9-32.

- EDWARDS-JONES, G. 2006. Modelling farmer decision-making: concepts, progress and challenges. *Animal Science*. 82(6): 783-790.
- ENRÍQUEZ, D.; HÖTZEL, M.J.; UNGERFELD, R. 2001. Minimising the stress of weaning of beef calves: a review. *Acta Veterinaria Scandinavica*. 53(1): 28-36.
- FATHI NASRI, M.H.; FRANCE, J.; ODONGO, N.E.; LÓPEZ, S.; BANNINK, A.; KEBREAB, E. 2008. Modelling the lactation curve of dairy cows using the differentials of growth functions. *Journal of Agricultural Science*. 146(3): 633-641.
- FAVERDIN, P.; BARATTE, C.; DELAGARDE, R.; PEYRAUD, J.L. 2011. GrazIn: a model of herbage intake and milk production for grazing dairy cows. 1. Prediction of intake capacity, voluntary intake and milk production during lactation. *Grass and Forage Science*. 66(1): 29-44.
- FELDKAMP, C.R. 2004. Cow - calf operation in Argentina : a systems approach to intervention assessment. *PhD Thesis*. Livestock Ecology, Humboldt University of Berlin, Berlin, Alemania. 205 p.
- FELDKAMP, C.R.; SCHWARTZ, H.J.; UDO, H. 2005a. Influencia del manejo sobre el comportamiento de los sistemas de cría.4. Suplementación de vaquillonas, destete precoz y carga animal. *Revista Argentina de Producción Animal*. 25(1): 313-314.
- FELDKAMP, C.R.; SCHWARTZ, H.J.; UDO, H. 2005b. Influencia del manejo sobre el comportamiento de los sistemas de cría. 3. Carga animal. *Revista Argentina de Producción Animal*. 25(1): 312-313.
- FERRELL, C.L.; JENKINS, T.G. 1985. Cow type and the nutritional environment: Nutritional aspects. *Journal of Animal Science*. 61: 725-741.
- FIEMS, L.O.; VAN CAELENBERGH, W.; DE CAMPENEERE, S.; DE BRABANDER, D.L. 2008. Effect of dam factors on milk intake and performance of Belgian Blue suckling calves. *Animal*. 2(1): 135-140.
- FITZGERALD, A.C.; ANNEN-DAWSON, E.L.; BAUMGARD, L.H.; COLLIER, R.J. 2007. Evaluation of continuous lactation and increased milking frequency on milk production and mammary cell turnover in primiparous Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 90: 5483-5489.
- FOX, D.G.; SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D. 1988. Adjusting nutrient requirements of beef cattle for animal and environmental variations. *Journal of Animal Science*. 66: 1475-1495.
- FREETLY, H.C.; CUNDIFF, L.V. 1998. Reproductive performance, calf growth, and milk production of first-calf heifers sired by seven breeds and raised on different levels of nutrition. *Journal of Animal Science*. 76: 1513-1522.
- FRIGGENS, N.C.; EMMANS, G.C.; VEERKAMP, R.F. 1999. On the use of simple ratios between lactation curve coefficients to describe parity effects on milk production. *Livestock Production Science*. 62: 1-13.

- GALINDO GONZÁLEZ, S.; ARTHINGTON, J.D.; YELICH, J.V.; HANSEN, G.R.; LAMB, G.C.; DE VRIES, A. 2007. Effects of cow parity on voluntary hay intake and performance responses to early weaning of beef calves. *Livestock Science*. 110(1-2): 148-153.
- GALLI, I.; MONJE, A.; VITTONI, S.; SANPEDRO, D.; BUSTO, C. 2005. Destete Precoz en Cría Vacuna. Manual para la toma de decisiones y ejecución de la técnica. Artes Gráficas Yusty S.R.L., Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina, 85 p.
- GALLI, I.; TEIRA, G.; PERLO, F.; BONATO, P.; TISSOCO, O.; MONJE, A.; VITTONI, S. 2008. Animal performance and meat quality in cull cows with early weaned calves in Argentina. *Meat Science*. 79(3): 521-528.
- GARCILAZO, G.; BARBAROSSA, R.; ANGELICCHIO, C.; BOLLA, D.; SPECIALE, C.; ALVARADO, P. 2009. Destete precoz, bases prácticas. *Comunicaciones*. 19(62): 20-24.
- GARRETT, W.N. 1980. Energy utilization by growing cattle as determined in 72 comparative slaughter experiments. En: European Association of Animal Production (eds.) *Energy metabolism. Studies in the agricultural and food sciences*. Butterworths & Co. Cambridge. pp. 3-7.
- GEKARA, O.J.; PRIGGE, E.C.; BRYAN, W.B.; SCHETTINI, M.; NESTOR, E.L.; TOWNSEND, E.C. 2001. Influence of pasture sward height and concentrate supplementation on intake, digestibility, and grazing time of lactating beef cows. *Journal of Animal Science*. 79(3): 745-752.
- GEORGE, P.D. 1984. A deterministic model of net nutrient requirements for the beef cow. *Dissertation*. Cornell University, Ithaca, NY. 740 p.
- GIORGETTI, H.D.; MONTENEGRO, O.A.; RODRIGUEZ, G.D.; BUSO, C.A.; MONTANI, T.; BURGOS, M.A.; FLEMMER, A.C.; TORIBIO, M.B.; HORVITZ, S.S. 1997. The comparative influence of past management and rainfall on range herbaceous standing crop in east-central Argentina: 14 years of observations. *Journal of Arid Environments*. 36(4): 623-637.
- GLEDDIE, V.M.; BERG, R.T. 1968. Milk production in range beef cows and its relationship to calf gain. *Canadian Journal of Animal Science*. 48: 323-333.
- GOMPERZT, B. 1825. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 115: 513-583.
- GRADIZ, L.; SUGIMOTO, A.; UJIHARA, K.; FUKUHARA, S.; KAHN, A.K.; HIROOKA, H. 2007. Beef cow-calf production system integrated with sugarcane production: Simulation model development and application in Japan. *Agricultural Systems*. 94: 750-762.

- GRINGS, E.E.; ROBERTS, A.J.; GEARY, T.W.; MACNEIL, M.D. 2008. Milk yield of primiparous beef cows from three calving systems and varied weaning ages. *Journal of Animal Science*. 86: 768-779.
- GRINGS, E.E.; SHORT, R.E.; MAC NEIL, M.D.; HAFERKAMP, M.R.; ADAMS, D.C. 1996. Efficiency of production in cattle of two growth potentials on northern great plains rangelands during spring-summer grazing. *Journal of Animal Science*. 74(10): 2317-2326.
- HATFIELD, P.G.; CLANTON, D.C.; ESKRIDGE, K.M.; SANSON, D.W. 1989. Forage intake by lactating beef cows differing in potential for milk production. *Journal of Animal Science*. 67: 3018-3027.
- HERD, D.B.; SPROTT, L.R. 1996. Body condition, nutrition and reproduction of beef cows. The Texas A&M University System • College Station, Texas. B-1526. 11 p.
- HICKSON, R.E.; KENYON, P.R.; LÓPEZ-VILLALOBOS, N.; MORRIS, C.A. 2008. Effects of liveweight gain during pregnancy of 15-month-old Angus heifers on dystocia and birth weight, body dimensions, estimated milk intake and weaning weight of the calves. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 51(2): 171-180.
- HICKSON, R.E.; LÓPEZ-VILLALOBOS, N.; KENYON, P.R.; MORRIS, S.T. 2009a. Effect of liveweight gain of pregnant 15-month-old Angus heifers on the milk intake of their first calves and the liveweight of their first and second calves. *Animal Production Science*. 49(2): 112-120.
- HICKSON, R.E.; KENYON, P.R.; LÓPEZ-VILLALOBOS, N.; MORRIS, C.A. 2009b. Effects of liveweight gain of 15-month-old Angus heifers during the first trimester of pregnancy on liveeight and milk intake of their calves. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 52: 39-46.
- HIDALGO, L.G.; CALLEJAS, S.S.; CAUHÉPÉ, M.A.; OTERO, M.J. 2002. Efecto del destete precoz sobre la ganancia de peso de los terneros y sus madres. *ITEA*. 98(3): 347-354.
- HOLLOWAY, J.W.; BUTTS, W.T.; WORLEY, T.L. 1982. Utilization of forage and milk energy by Angus calves grazing fescue or fescue-legume pastures. *Journal of Animal Science*. 55: 1214-1223.
- HOLLOWAY, J.W.; STEPHENS, D.F.; WHITEMAN, J.V.; TOTUSEK, R. 1975a. Efficiency of production of 2- and 3-year-old Hereford, Hereford x Holstein and Holstein cows. *Journal of Animal Science*. 41(3): 855-867.
- HOLLOWAY, J.W.; STEPHENS, D.F.; WHITEMAN, J.V.; TOTUSEK, R. 1975b. Performance of 3-year-old Hereford, Hereford x Holstein and Holstein cows on range and in drylot. *Journal of Animal Science*. 40(1): 114-125.
- HÖTZEL, M.J.; UNGERFELD, R.; QUINTANS, G. 2010. Behavioural responses of 6-month-old beef calves prevented from suckling: influence of dam's milk yield. *Animal Production Science*. 50(10): 909-915.

- IURMAN, D. 2010. Sistemas Agropecuarios de Villarino y Patagones. Análisis y Propuestas. INTA - Hilario Ascasubi, Hilario Ascasubi, Argentina. 31 p.
- IURMAN, D.; MARINISSEN, J.; CASTOLDI, F.; MOSCIARO, M.; TOSI, J.C.; LARREGUY, V.; PERLO, A.; AGAMENNONI, R.; PEREZ PIAZZARRO, J.; GARCÍA, D. 2009. Sistemas agropecuarios de Villarino y Patagones: Análisis y propuestas. INTA - Hilario Ascasubi, Mar del Plata, Argentina. 30 p.
- JEFFERY, H.B.; BERG, R.T.; HARDIN, R.T. 1971a. Factors influencing milk yield of beef cattle. *Canadian Journal of Animal Science*. 51(3): 551-560.
- JEFFERY, H.B.; BERG, R.T.; HARDIN, R.T. 1971b. Factors affecting preweaning performance in beef cattle. *Canadian Journal of Animal Science*. 51(3): 561-577.
- JENKINS, T.G.; FERRELL, C.L. 1984. A note on lactation curves of crossbred cows. *Animal Production*. 39(3): 479-482.
- JENKINS, T.G.; FERRELL, C.L. 1992. Lactation characteristics of nine breeds of cattle fed various quantities of dietary energy. *Journal of Animal Science*. 70: 1652-1660.
- JONES, J.R.; SANDLAND, R.L. 1974. The relation between animal gain and stocking rate; derivation of the relation from the results of grazing trials. *Journal of Agricultural Science*. 83: 335-342.
- JOUVEN, M.; AGABRIEL, J.; BAUMONT, R. 2008. A model predicting the seasonal dynamics of intake and production for suckler cows and their calves fed indoors or at pasture. *Animal Feed Science and Technology*. 143: 256-279.
- KAHN, H.E.; LEHRER, A.R. 1984. A dynamic model for the simulation of cattle herd production systems: Part 3. Reproductive performance of beef cows. *Agricultural Systems*. 13(3): 143-159.
- KUGLER, N., Ed. 2003. La condición corporal de la vaca de cría. Ediciones INTA, Viedma, Argentina, 21 p.
- KUGLER, N.; GIORGETTI, H.; RODRÍGUEZ, G.; CECCHI, G.; MONTENEGRO, O. 2002. Destete convencional y destete precoz en el norte de la Patagonia. Ediciones INTA, Viedma, Río Negro, Argentina, 32 p.
- KUGLER, N.; GIORGETTI, H.D.; RODRIGUEZ, G.D.; CECCHI, G.; MONTENEGRO, O.A.; BUSSO, C.A. 2008. Cow performance in conventional versus early weaning herds in North Patagonia, Argentina. *Rangelands*. 30(1): 12-16.
- LAMOND, D.R. 1970. The influence of undernutrition on reproduction in the cow. *Animal Breeding Abstracts*. 38: 359-372.
- LANDETE CASTILLEJOS, T.; GALLEGO, L. 2000. Technical note: The ability of mathematical models to describe the shape of lactation curves. *Journal of Animal Science*. 78: 3010-3013.

- LAURIC, M.A.; MARINISSEN, A.N. 2009. Análisis productivo-económico de un caso de destete precoz en el sudoeste bonaerense. <http://inta.gob.ar/documentos/analisis-productivo-economico-de-un-caso-de-destete-precoz-en-el-sudoeste-bonaerense/> [consulta: 21 julio 2013]
- LE DU, L.P.; MAC DONALD, A.J.; PEART, J.N. 1979. Comparison of two techniques for estimating the milk production of suckler cows. *Livestock Production Science*. 6: 277-281.
- LUCANERA, G.; CASTELLANO, A.; BARBERO, A. 2010. Banco de datos socioeconómicos de la zona de CORFO - Rio Colorado. Estimación del producto bruto agropecuario regional, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. 28 p.
- LUCANERA, G.; CASTELLANO, A.; BARBERO, A. 2011. Banco de datos socioeconómicos de la zona de CORFO - Rio Colorado. Estimación del producto bruto agropecuario regional, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. 28 p.
- LUSBY, K.S.; PARRA, A.A. 1981. Effects of early weaning on calf performance and on reproduction in mature cows. *Animal Science Research Report*.(MP108): 64-68.
- LUSBY, K.S.; STEPHENS, D.F.; TOTUSEK, R. 1976. Effects of milk intake by nursing calves on forage intake on range and creep intake and digestibility in drylot. *Journal of Animal Science*. 43(5): 1066-1071.
- LUSBY, K.S.; WETTEMANN, R.P.; TURMAN, E.J. 1981. Effects of early weaning calves from first-calf heifers on calf and heifer performance. *Journal of Animal Science*. 53(5): 1193-1197.
- M.A.A. 2010. Programa provincial de producción de ganados y carnes. Documento Final. [en línea] http://www.maa.gba.gov.ar/dir_ganaderia/componente/PRODUCCION_DE_GANADOS_Y_CARNES.pdf [consulta: 24 agosto 2010]
- MACHADO, C.F. 2004. Field and modelling studies of the effects of herbage allowance and maize grain feeding on animal performance in beef cattle finishing systems. *PhD Thesis*. Institute of Veterinary, Animal and Biometrical Sciences (IVABS), Massey University, Palmerston North, New Zealand. 259 p.
- MACHADO, C.F.; BERGER, H. 2012. Uso de modelos de simulación para asistir decisiones en sistemas de producción de carne. *Revista Argentina de Producción Animal*. 32(1): 87-105.
- MACHADO, C.F.; BERGER, H.; MORRIS, S.T.; HODGSON, J. 2008. Evaluation of beef cattle finishing simulation model for intake and live weight gain prediction under different herbage and maize grain allowances. *Proceedings of International Grassland Conference, China*. pp 273.

- MACHADO, C.F.; CATALANO, R.; FERRAGUT, S.; ARROQUI, M.; MANGUDO, P.A. 2009. Avances en el diseño y desarrollo de una calculadora reproductiva de cría bovina ("Repro-calc") para el apoyo de la docencia, la extensión y la investigación. I Congreso Argentino de Agroinformática, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina, 24 y 25 de Agosto. pp 31-39.
- MACHADO, C.F.; MORRIS, S.T.; HODGSON, J.; ARROQUI, M.A.; MANGUDO, P.A. 2010. A web-based model for simulating whole-farm beef cattle systems. *Computers and Electronics in Agriculture*. 74: 129-136.
- MARINISSEN, J.; GARCIA, J.M. 2007. Evaluación de Cultivares. En: Zamora, M.S.; Melin, A.A. (eds.) *Sorgo en el sur*. INTA. Buenos Aires. pp. 62.
- MARINISSEN, J.; ORIONTE, S.; GARCIA, J.M. 2009. Calidad Nutricional. En: Carrasco, N.; Melin, A.A.; Zamora, M.S.; Marinissen, J. (eds.) *Sorgo en el sur*. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. pp. 19-22.
- MARSTON, T.T.; SIMMS, D.D.; SCHALLES, R.R.; ZOELLNER, K.O.; MARTIN, L.C.; FINK, G.M. 1992. Relationship of milk production, milk expected progeny difference, and calf weaning weight in angus and simmental cow-calf pairs. *Journal of Animal Science*. 70(11): 3304-3310.
- MARTIN, G.; MARTIN-CLOUAIRE, R.; DURU, M. 2013. Farming system design to feed the changing world. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 33(1): 131-149.
- MARTIN, G.; THEAU, J.P.; THEROND, O.; MARTIN-CLOUAIRE, R.; DURU, M. 2011. Diagnosis and simulation: a suitable combination to support farming systems design. *Crop & Pasture Science*. 62(4): 328-336.
- MARTÍNEZ, M.F.; ARELOVICH, H.M.; WEHRHAHNE, L.; TORREA, M.B.; MARINISSEN, J. 2006. Rendimiento de materia seca y grano en cultivares de Avena sativa. [en línea] *Revista Argentina de Producción Animal* <www.inta.gov.ar/ascasubi/info/indices/tematica/panimal.htm> [consulta: 15 octubre 2010]
- MCCALL, D.G.; SHEATH, G.H. 1994. The role of system research in animal science. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*. 54: 417-422.
- MCCALL, D.G.; BISHOP-HURLEY, G.J. 2003. A pasture growth model for use in a whole-farm dairy production model. *Agricultural Systems*. 76: 1183-1205.
- MCCARTNEY, D.; BASARAB, J.A.; OKINE, E.K.; BARON, V.S.; DEPALME, A.J. 2004. Alternative fall and winter feeding systems for spring calving beef cows. *Canadian Journal of Animal Science*. 84(3): 511-522.
- MCMEEKAN, C.P.; WALSH, M.J. 1963. The inter-relationships of grazing method and stocking rate in the efficiency of pasture utilisation by dairy cattle. *Journal of Agricultural Science*. 61: 147-166.

- MELTON, A.A.; RIGGS, J.K.; NELSON, L.A.; CARTWRIGHT, T.C. 1967. Milk production, composition and calf gains of Angus, Charolais and Hereford cows. *Journal of Animal Science*. 26: 804-809.
- MEZZADRA, C.; PACIARONI, R.; VULICH, S.; VILLARREAL, E.; MELUCCI, L. 1989. Estimation of milk consumption curve parameters for different genetic groups of bovine calves. *Animal Production*. 49(1): 83-87.
- MILLER, S.P.; WILTON, J.W.; PFEIFER, W.C. 1999. Effects of milk yield on biological efficiency and profit of beef production from birth to slaughter. *Journal of Animal Science*. 77: 344-352.
- MINICK, J.A.; BUCHANAN, D.S.; RUPERT, S.D. 2001. Milk production of crossbred daughters of high- and low-milk EPD Angus and Hereford bulls. *Journal of Animal Science*. 79: 1386-1393.
- MONDRAGON, I.; WILTON, J.W.; ALLEN, O.B.; SONG, H. 1983. Stage of lactation effects, repeatabilities and influences on weaning weights of yield and composition of milk beef cattle. *Canadian Journal of Animal Science*. 63: 751-761.
- MONJE, A.R.; HOFER, C.C.; GALLI, I.O. 1996. Destete precoz en cría vacuna. Manejo de terneros al destete. Recomendaciones prácticas, Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina, 22 p.
- MONTAÑO BERMUDEZ, M.; NIELSEN, M.K.; DEUTSCHES, G.H. 1990. Energy requirements for maintenance of crossbred beef cattle with different energetic potential for milk. *Journal of Animal Science*. 68: 2279-2288.
- MONTICO, M.L.; RODRÍGUEZ, M.G. 2005. Los terneros de destete precoz en los campos de invernada del Valle Bonaerense del Río Colorado. <http://www.corforiocolorado.gov.ar/archivos/desteteprecoz.pdf> [consulta: 21 julio 2013]
- MORLEY, F.H.W. 1972. A system approach to animal production. What is it about? *Proceedings of the Australian Society of Animal Production (SAUS)*. 9(1): 1-9.
- MYERS, S.E.; FAULKNER, D.B.; IRELAND, F.A.; PARRETT, D.F. 1999. Comparison of three weaning ages on cow-calf performance and steer carcass traits. *Journal of Animal Science*. 77: 323-329.
- NEAL, H.D.S.C.; THORNLEY, J.H.M. 1983. The lactation curve in cattle: A mathematical model of the mammary gland. *Journal of Agricultural Science Cambridge*. 101: 389-400.
- NEVILLE, W.E. 1974. Comparison of energy requirements of non-lactating and lactating Hereford cows and estimates of energetic efficiency of milk production. *Journal of Agricultural Science*. 38: 681-686.
- NEVILLE, W.E.; WARREN, E.P.; GRIFFEY, W.A. 1974. Estimates of age effects on milk production in Hereford cows. *Journal of Animal Science*. 38(1): 1-5.

- NRC, Ed. 1987. Predicting feed intake of food-producing animals. The National Academies Press, Washington, D.C., Estados Unidos de Norte América, 96 p.
- NRC, Ed. 1996. Nutrient requeriments of beef cattle. National Academy Press, Washington, D.C., Estados Unidos de Norte América, 232 p.
- NRC, Ed. 2000. Nutrient requirements of beef cattle. National Academies Press, Washington, D.C., Estados Unidos de Norte América, 248 p.
- OLORI , V.E.; BROTHERSTONE, S.; HILL, W.G.; MCGUIRK, B.J. 1999. Fit of standard models of the lactation curve to weekly records of milk production of cows in a single herd. *Livestock Production Science*. 58(1): 55-63.
- PAPAJCSIK, I.A.; BODERO, J. 1988. Modelling lactation curves of Friesian cows in a subtropical climate. *Animal Production*. 47: 201-207.
- PARISH, R.M.; DILLON, J.L. 1955. Recent Applications of the Production Function in Farm Management Research. *Review of Marketing and Agricultural Economics*. 23(4): 213-235.
- PEARSON, C.J.; ISON, R.L. 1997. *Agronomy of grassland systems*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 222 p.
- PELTA, H. 2011. Destete precoz ¿y luego qué? <http://inta.gob.ar/documentos/destete-precoz-bfy-luego-que/> [consulta: 21 julio 2013]
- PEZZOLA, A.; WINSCHER, C.; SÁNCHEZ, R. 2004. Estudio multitemporal de la degradación del monte nativo en el partido de Patagones - Buenos Aires. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina, 11 p.
- PONSSA, E.; RODRÍGUEZ, G.A.; SÁNCHEZ ABREGO, R. 2007. Relaciones entre la tasa de preñez y la dinámica del rodeo de un sistema de cría bovina. Evaluación física y económica. [en línea] http://www.produccionbovina.com/informacion_tecnica/cria/110-relacion.pdf [consulta: 25 julio 2012]
- PORDOMINGO, A.J. 2002. Early weaning and length of supplementation effects on beef calves. *Journal of Range Management*. 55(4): 327-335.
- RANDEL, R.D. 1990. Nutrition and postpartum rebreeding in cattle. *Journal of Animal Science*. 68: 853-862.
- REARTE, D. 2007. La producción de carne en la Argentina. [en línea] http://www.inta.gov.ar/balcarce/carnes/ProdCarneArg_esp.pdf [consulta: 16 agosto 2010]
- REARTE, D. 2010. Situación actual y prospectivas de la producción de carne vacuna. [en línea] http://anterior.inta.gov.ar/balcarce/carnes/SituacionActual_Prostpectiva_Produccion_carnevacuna.pdf [consulta: 27 agosto 2012]

- RENQUIST, B.J.; OLTJEN, J.W.; SAINZ, R.D.; CALVERT, C.C. 2006. Effects of age on body condition and production parameters of multiparous beef cows. *Journal of Animal Science*. 84: 1890–1895.
- RENZI, J.P.; CANTAMUTTO, M.A. 2008. Producción de forraje de *Vicia villosa* Roth y *Vicia sativa* L. en siembras puras y en mezcla con *Avena sativa* L. *Revista Argentina de Producción Animal*. 28(1): 412-413.
- ROMERA, A.J. 2004. Simulation of cow-calf systems in the Salado Region of Argentina. *PhD Thesis*. Institute of Veterinary, Animal and Biometrical Sciences, Massey University, Palmerston North, New Zealand. 174 p.
- ROMERA, A.J.; MORRIS, S.T.; HODGSON, J.; STIRLING, W.D.; WOODWARD, S.J.R. 2004. A model for simulating rule-based management of cow-calf systems. *Computers and Electronics in Agriculture*. 42: 67-86.
- ROMERA, A.J.; BURGESS, J.C.; MORRIS, S.T.; HODGSON, J.; WOODWARD, S.J.R. 2008. Modelling spring and autumn calving systems in beef herds of the Salado region of Argentina. *Livestock Science*. 115(1): 62-72.
- ROOK, A.J.; FRANCE, J.; DHANOA, M.S. 1993. On the mathematical description of lactation curves. *Journal of Agricultural Science*. 121(1): 97-102.
- RUIZ, R.; OREGUI, L. 2001. El enfoque sistémico en el análisis de la producción animal: revisión bibliográfica. *Investigación Agropecuaria: Producción y Sanidad Animal*. 16(1): 26-61.
- RUTLEDGE, J.J.; ROBINSON, O.W.; AHLSCHEDE, W.T.; LEGATES, J.E. 1971. Milk yield and its influence on 205-day weight of beef calves. *Journal of Animal Science*. 33(3): 563-567.
- SÁNCHEZ, R.M.; PEZZOLA, N.A.; CEPEDA, J.V. 1998. Caracterización edafoclimática del área de influencia del INTA E.E.A. Hilario Ascasubi: Partidos de Villarino y Patagones Pcia. de Buenos Aires. [en línea] Boletín de divulgación N°18 [consulta: 17 julio 2010]
- SARANDÓN, S.J. 2002. El agroecosistema: un sistema natural modificado. En: Sarandón, S.J. (eds.) *Agroecología: El camino hacia una agricultura sustentable*. Ediciones Ciencias Americanas. La Plata, Buenos Aires, Argentina. pp. 119-134.
- SCHOONMAKER, J.P.; FLUHARTY, F.L.; LOERCH, S.C.; TURNER, T.B.; MOELLER, S.J.; WULF, D.M. 2001. Effect of weaning status and implant regimen on growth, performance, and carcass characteristics of steers. *Journal of Animal Science*. 79(5): 1074-1084.
- SCHOR, A.; GUIBELALDE, G.; GRIGERA NAÓN, J.J. 2005. Efecto de la fecha de destete sobre la performance de vientres y terneros. *Revista Argentina de Producción Animal*. 25(3-4): 179-188.
- SELK, G.E.; WETTEMANN, R.P.; LUSBY, K.S.; OLTJEN, J.W.; MOBLEY, S.L.; RASBY, R.J.; GARMENDIA, J.C. 1988. Relationships among weight change,

- body condition and reproductive performance of range beef cows. *Journal of Animal Science*. 66(12): 3153-3159.
- SEVILLA, G.; PASINATO, A.; GARCIA, J.M. 2001. Curvas de crecimiento de forrajeras templadas irrigadas. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 9(2): 91-98.
- SHORT, R.E.; BELLOWS, R.A.; MOODY, E.L.; HOWLAND, B.E. 1972. Effects of suckling and mastectomy on bovine postpartum reproduction. *Journal of Animal Science*. 34: 70-74.
- SHORT, R.E.; GRINGS, E.E.; MCNEIL, M.D.; HEITSCHMIDT, R.K.; HAFERKAMP, M.R.; ADAMS, D.C. 1996. Effects of time of weaning, supplement, and sire breed of calf during the fall grazing period on cow and calf performance. *Journal of Animal Science*. 74(7): 1701-1710.
- SOWELL, B.F.; WALLACE, J.D.; BRANINE, M.E.; HUBBERT, M.E.; FREDRICKSON, E.L.; BOWMAN, J.G.P. 1996. Effects of restricted suckling on forage intake of range calves. *Journal Range Management*. 49(4): 290-293.
- SPÄTH, E.J.A. 1984. Calving date and hypomagnesaemic tetany in beef cattle. *PhD Thesis*. Department of Veterinary Clinical Sciences, University of Melbourne, Melbourne, Australia. 319 p.
- SPÄTH, E.J.A.; MORLEY, F.H.W.; WHITE, D.H. 1984. A computer model of a self-replacing beef herd. *Animal Production in Australia*. 15: 597-600.
- STEFANAZZI, I.N. 2012. Modelación de la respuesta productiva y económica de sistemas de cría vacuna. Incorporación de sorgo diferido. *Tesis de Maestría*. Área de producción y Sanidad Animal - Programa de posgrado de ciencias agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarce, Buenos Aires, Argentina. 61 p.
- TEDESCHI, L.O.; FOX, D.G. 2009. Predicting milk and forage intake of nursing calves. *Journal of Animal Science*. 87: 3380-3391.
- TEDESCHI, L.O.; FOX, D.G.; SAINZ, R.D.; BARIONI, L.G.; RAPOSO DE MEDEIROS, S.; BOIN, C. 2005. Mathematical models in ruminant nutrition. *Scientia Agricola*. 62(1): 76-91.
- TESS, M.W.; KOLSTAD, B.W. 2000. Simulation of cow-calf production systems in a range environment: I. Model development. *Journal of Animal Science*. 78: 1159-1169.
- TILMAN, D.; CASSMAN, K.G.; MATSON, P.A.; NAYLOR, R.; POLASKY, S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*. 418: 671-677.
- TORRES CARBONELL, C.A.; MARINISSEN, A.N.; LAURIC, M.A. 2012. Estrategias de extensión: Diseño de unidades demostrativas reales en campos de productores para mejorar la producción y sustentabilidad en regímenes semiáridos (Sudoeste Bonaerense). <http://inta.gob.ar/documentos/estrategias->

[de-extension-diseno-de-unidades-demostrativas-reales-en-campos-de-productores-para-mejorar-la-produccion-y-sustentabilidad-en-regimenes-semiaridos-sudoeste-bonaerense/](#) [consulta: 21 julio 2013]

- TOTUSEK, R.; ARNETT, D.W.; HOLLAND, G.L.; WHITEMAN, J.V. 1973. Relation of estimation method, sampling interval and milk composition to milk yield of beef cows and calf gain. *Journal of Animal Science*. 37(1): 153-158.
- VERBURG, P.H.; SCHOT, P.P.; DIJST, M.J.; VELDKAMP, A. 2004. Land use change modelling: current practice and research priorities. *GeoJournal*. 61(4): 309-324.
- VETHARANIAM, I.; DAVIS, S.R.; UPSDELL, M.; KOLVER, E.S.; PLEASANTS, A.B. 2003. Modeling the effect of energy status on mammary gland growth and lactation. *Journal of Dairy Science*. 86: 3148-3156.
- VIGLIZZO, E.F. 1986. Agroecosystems stability in the argentine pampas. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 16(1): 1-12.
- VIGLIZZO, E.F.; ROBERTO, Z.E. 1998. On Trade-Offs in Low-Input Agroecosystems. *Agricultural Systems*. 56(2): 253-264.
- WILLIAMS, G.L. 1990. Suckling as a regulator of postpartum rebreeding in cattle: A review. *Journal of Animal Science*. 68: 831-852
- WINSOR, C.P. 1932. The Gompertz curve as a growth curve. *Proceedings of the National Academy of Science*. 18(1): 1-8.
- WOOD, P.D.P. 1967. Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature*. 216: 164-165.
- WOOD, P.D.P. 1977. The biometry of lactation. *Journal of Agricultural Science Cambridge*. 88: 333-339.
- WOODWARD, S.J.R.; ROMERA, A.J.; BESKOW, W.B.; LOVATT, S.J. 2008. Better simulation modelling to support farming systems innovation: Review and synthesis. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 51: 235-252.
- WRIGHT, I.A.; RUSSEL, J.F. 1987. The effect of sward height on beef cow performance and on the relationship between calf milk and herbage intake. *Animal Production*. 44(3): 363-370.
- WRIGHT, I.A.; WHYTE, T.K. 1989. Effects of sward surface height on the performance of continuously stocked spring-calving beef cows and their calves. *Grass and Forage Science*. 44: 259-266.
- WRIGHT, I.A.; WHYTE, T.K.; OSORO, K. 1990. The herbage intake and performance of autumn calving beef cows and their calves when grazing continuously at two sward heights. *Animal Production*. 51(1): 85-92.
- WYATT, R.D.; GOULD, M.B.; TOTUSEK, R. 1977. Effects of Single vs Simulated Twin Rearing on Cow and Calf Performance. *Journal of Animal Science*. 45(6): 1409-1414.

YAVAS, Y.; WALTON, J.S. 2000. Induction of ovulation in postpartum suckled cows: a review. *Theriogenology*. 54: 1-23.

ZABALA, C.D. 2012. Modelación del uso de silajes en sistemas ganaderos de ciclo completo. *Tesis de Grado*. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarce, Buenos Aires, Argentina. 39 p.

8. APÉNDICE

8.1. Descripción general del funcionamiento del simulador SimuGan

El programa SimuGan se implementó en Java, OpenLazlo (www.openlaszlo.org) y Spring Framework (www.springframework.org). Espacialmente, el modelo opera a nivel de parcelas de pastoreo dentro de potreros y animales dentro de rodeos. El modelo está estructurado en tres módulos o subsistemas principales, uno biofísico, uno de reglas de manejo (decisión) y uno económico (Figura I).

En el subsistema biofísico los componentes modelados por SimuGan son: crecimiento de pastura, consumo de pastura, silaje y grano, composición de la dieta, crecimiento animal, reproducción, asignación de alimento, ensilado, compra y venta de animales. Además, trabaja en un esquema de pastoreo rotativo, donde el consumo, el cambio de peso vivo y la respuesta reproductiva son resultados de la simulación. El consumo de forraje y energía son estimados diariamente a partir de las características de la pastura, disponibilidad de lámina, tallo y muerto, suplementos (si los hubiera) y características del animal, demanda metabólica y capacidad digestiva. El desempeño animal es estimado para cada animal individualmente basado en el consumo de energía metabolizable (NRC, 1996).

El módulo de reglas de manejo es el encargado de la aplicación de acciones sobre el uso de los potreros y sobre los animales o el rodeo en su conjunto, de acuerdo con criterios definidos preliminarmente por el usuario. El subsistema económico permite la evaluación de las estrategias procesando indicadores económicos, financieros, e impositivos.

Se accede al simulador a través de una página web (<http://simugan.vet.unicen.edu.ar>) con un nombre de usuario y una clave suministrada por el administrador. Los resultados se obtienen a través de salidas web con formato de planilla Microsoft Excel® (Figura I).

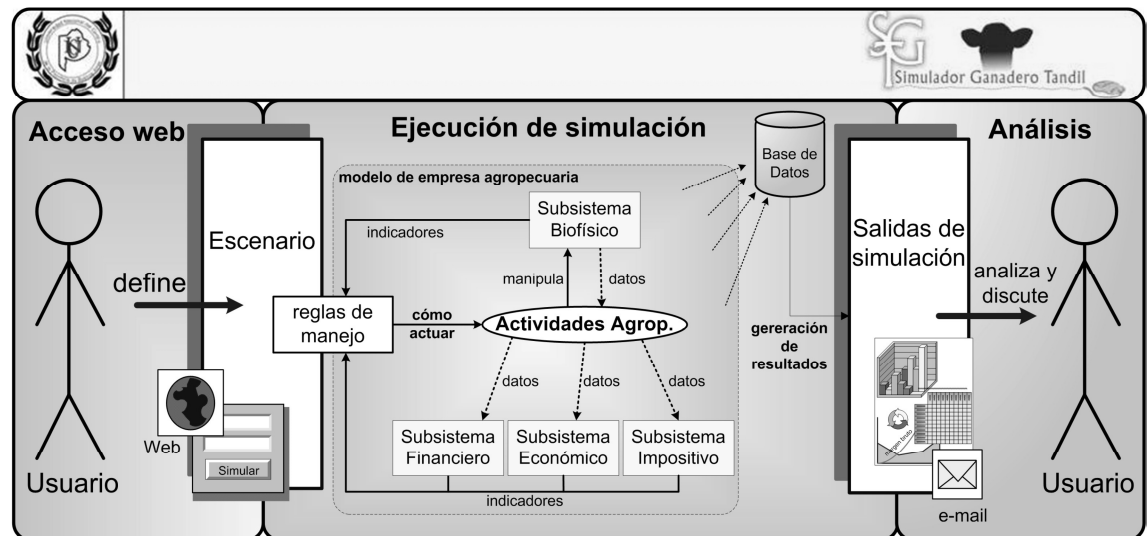


Fig. I: Estructura del modelo de simulación SimuGan (Machado et al., 2010).

8.2. Subsistema biofísico

En el subsistema biofísico, se dispone de un modelo que representa los mecanismos involucrados en la dinámica del crecimiento de las pasturas a partir de datos climáticos diarios (McCall; Bishop-Hurley, 2003). Como dicho modelo no está calibrado para las diversas condiciones pastoriles de la región, el submodelo de crecimiento forrajero funciona alternativamente con parámetros obtenidos de tasas de acumulación aérea de forraje locales ajustadas por la biomasa forrajera existente basado en Barioni *et al.* (1999), lo cual significa una ventaja comparativa del uso del simulador. Además, se requiere como dato de entrada un valor inicial de masa de forraje (kg MS ha^{-1}) que se compone por las masas de lámina, vaina y tallo además del material muerto. Esta división es importante para una adecuada representación de las condiciones de la pastura y de las consecuencias de diferentes manejos. La dinámica de la tasa de acumulación de forraje, para cada parcela pastoreada dentro de cada potrero del establecimiento, surge de la tasa de crecimiento bruto, del consumo y del proceso de senescencia sobre la masa de hojas, tallos y finalmente la descomposición del material muerto no consumido (Figura II). La calidad del forraje es tratada separadamente en lámina, tallo y muerto, tanto la proporción de verde y muerto o lámina y tallo implícitamente afectan la calidad del forraje (Machado, 2004).

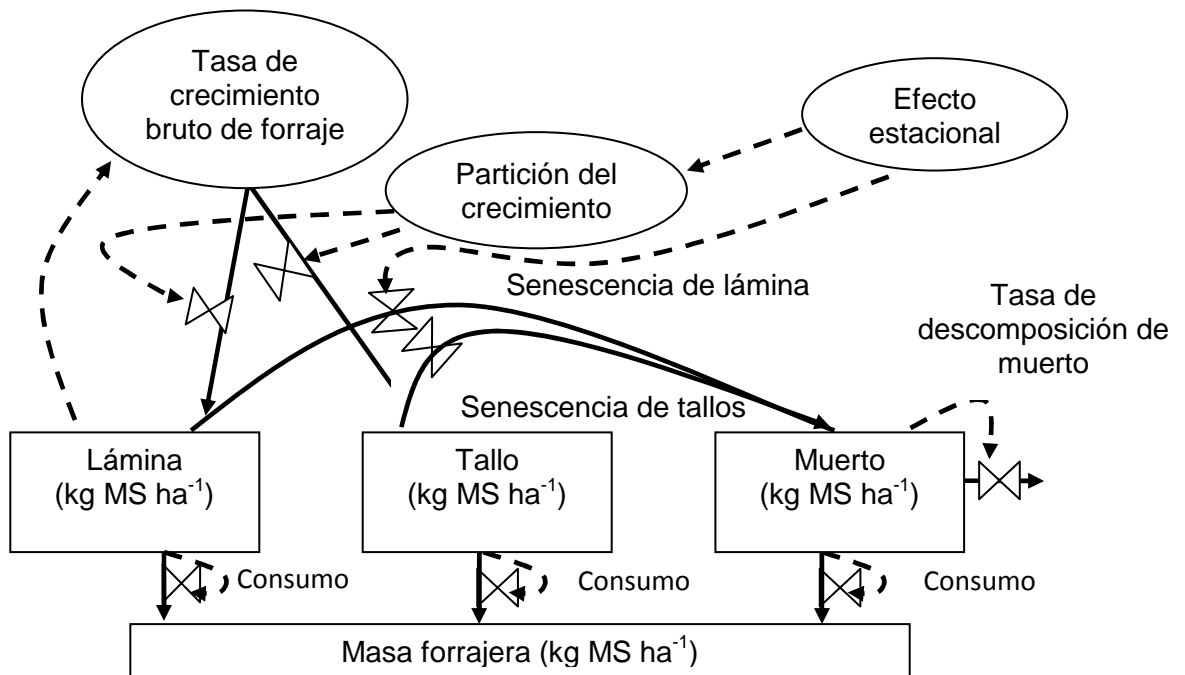


Fig. II: Dinámica de la acumulación de pastura usado en el simulador adaptado de Barioni *et al.* (1999).

La superficie de pastoreo está constituida por parcelas dentro de potreros. Para cada potrero, la cantidad inicial de masa de lámina, tallo y muerto y la masa acumulada de forraje deben ser datos introducidos por el usuario. Adicionalmente, se debe especificar el uso del suelo mediante la definición de una rotación en la que participarán cada uno de los potreros. El tamaño de las parcelas de pastoreo es internamente calculado por el modelo para un día en función del peso de los animales, de la biomasa aérea de forraje y la asignación forrajera.

El subsistema biofísico dispone de otro modelo que representa el desempeño animal y que actualiza el peso vivo de cada animal diariamente. A partir del consumo diario de energía metabolizable (Figura II) se calcula la ganancia o pérdida de peso dependiendo del balance nutricional asociado a las características de animal.

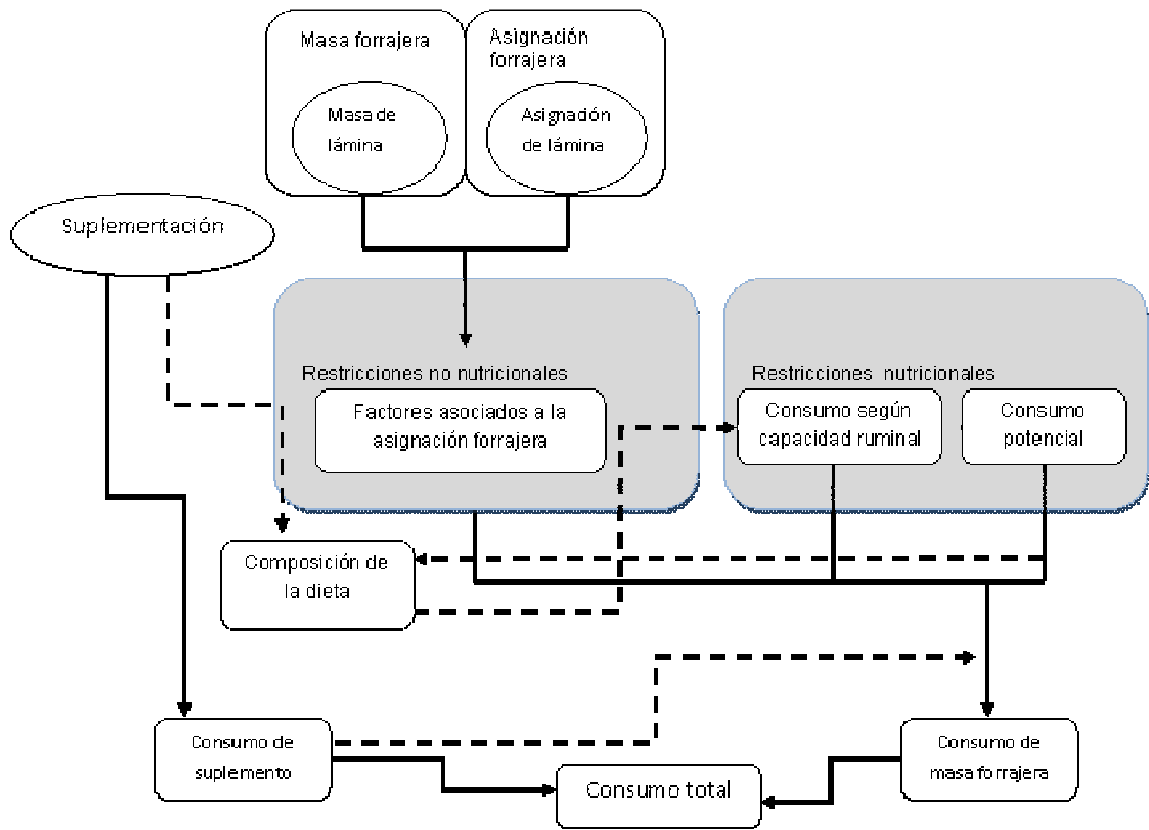


Fig. III: Esquema general de cómo se estiman e integran las diferentes restricciones al consumo en el simulador (líneas continuas indican los flujos, líneas de puntos indican la influencia) adaptado de Machado (2004).

El consumo forrajero de los animales es función de la masa forrajera y de la asignación forrajera (Machado *et al.*, 2008). El consumo de forraje por animal se calcula a partir del consumo potencial (NRC, 1996), el llenado ruminal y las limitaciones asociadas a disponibilidad de forraje (Figura 3). El consumo potencial está asociado al tamaño del animal (peso normal del animal para su edad actual) y a la condición corporal. El llenado ruminal es estimado a partir del límite de la capacidad digestiva calculado en base a la capacidad ruminal, el peso vivo del animal y la digestibilidad del forraje. Las limitaciones del consumo asociadas a la disponibilidad de forraje fueron asumidas en función de la disponibilidad de masa foliar (NRC, 1996). Es importante enfatizar que a pesar de que el consumo de forraje es particularmente limitado por la disponibilidad foliar en la parcela, la asignación diaria de forraje está basada en la materia seca por cada 100 kg de peso vivo (kg MS cada 100 kg peso vivo⁻¹ d⁻¹). Esto significa que una disponibilidad de forraje dada produce diferentes

valores de consumo de forraje, composición de la dieta y desarrollo animal dependiendo de las características de la pastura.

Los requerimientos de mantenimiento, gestación y lactancia de los animales están basados en las ecuaciones del National Research Council (1996) y el exceso de energía consumida es destinado a crecimiento y/o aumento de peso, o en caso de déficit moviliza reservas corporales y modifica el peso y la condición corporal de los animales (Figura IV).

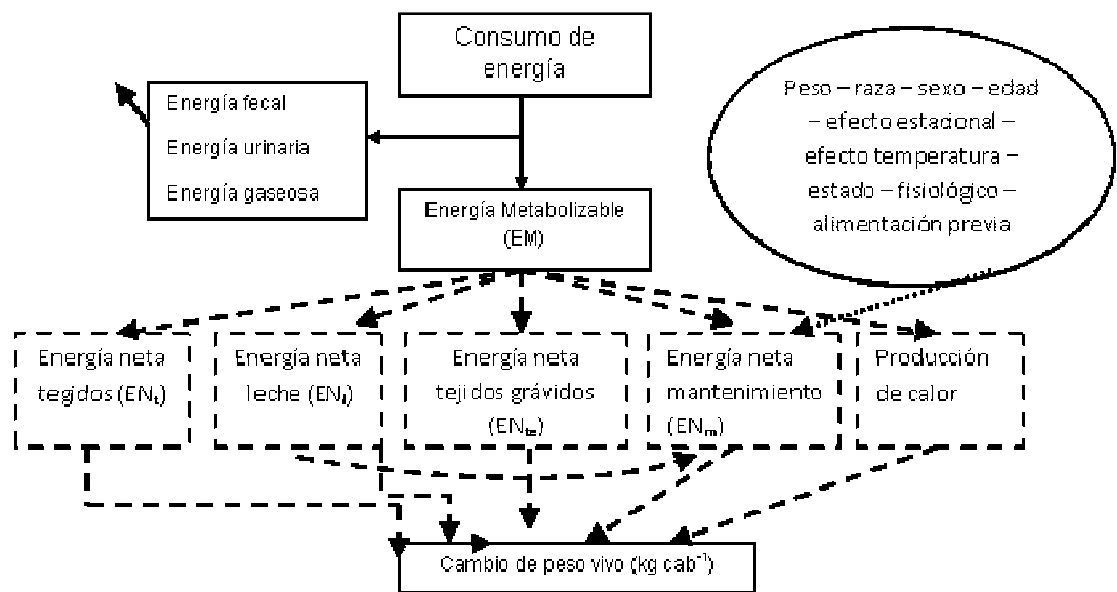


Fig. IV: Distribución de la partición del consumo de energía (NRC, 1996).

Los rodeos están constituidos por grupos de individuos. Se debe ingresar la cantidad inicial de cabezas de animales, el peso, la raza, la edad, el sexo y la condición corporal para formar los rodeos y/o subrodeos. El modelo expresa la carga en dos unidades: cabezas ha^{-1} y kg peso vivo $ha^{-1} d^{-1}$. La asignación de forraje se aplica sobre el rodeo como unidad. Los valores de asignación para cada mes son especificados por el usuario. Al inicio del pastoreo el modelo asigna el potrero con la mayor masa forrajera disponible dentro de los potreros permitidos para el rodeo. Una vez elegido el potrero para comienzo del pastoreo, el modelo usa el dato de asignación de forraje proporcionado por el usuario, calcula el peso vivo del rodeo y crea una parcela de pastoreo del tamaño necesario para cumplir con la asignación de forraje definida en función de la masa forrajera y animal. Esto es repetido diariamente hasta que todo el potrero es completamente pastoreado.

En el aspecto reproductivo la preñez de las vacas es resultado del cambio de peso vivo de cada hembra, de la condición corporal y del tiempo posparto hasta el primer celo (Figura V). Las pérdidas de preñez entre concepción y parto están dadas por distribuciones de probabilidad de acuerdo a los días de preñez aplicadas individualmente a cada vaca. Las fechas de entore y de destete deben ser indicadas por el usuario y la reposición puede ser definida por el usuario como un porcentaje fijo o la suma del descarte y la mortandad, y el modelo elige las hembras de mayor edad y peso. La condición corporal de cada animal se calcula a partir del peso de referencia estándar, el peso actual y la edad de cada animal.

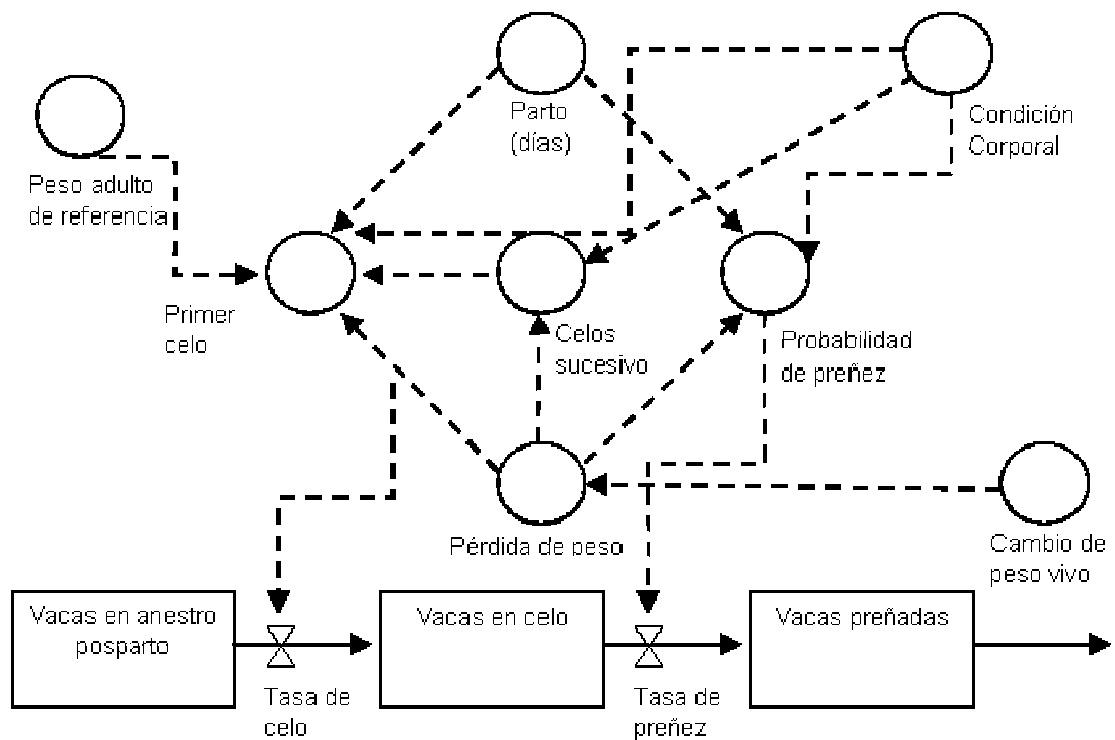


Fig. V: Factores y estructura del modelo reproductivo de Machado *et al.* (2009) basado en Kahn y Lehrer (1984).

Durante el pastoreo diario, el simulador conserva la información de cada franja de cada potrero individualmente, actualizando diariamente la masa de lámina, tallo y muerto. Por lo tanto, aunque el dato de entrada de tasa de crecimiento de cada recurso sea la misma para todo el potrero, la tasa real de crecimiento es individual de cada franja (Figura II). Del mismo modo, la masa aérea de forraje de cada potrero es la ponderación de los valores de cada franja del mismo.

También, el modelo ofrece la opción de ingresar datos relacionados con la conservación de forraje. El usuario debe proveer información sobre el periodo, la disponibilidad de masa forrajera a la que se desee realizar la conservación y la masa forrajera remanente después de realizado el corte. Si se cumplen las condiciones establecidas para que la conservación tenga lugar (bajo la forma de una regla de reserva forrajera), el modelo selecciona el potrero disponible para pastoreo con la mayor masa forrajera y que no tenga animales en ese momento para el corte correspondiente.

8.3. Reglas de manejo

Las reglas de manejo incorporan un sistema de monitoreo de la disponibilidad de masa forrajera (reglas de control de la masa forrajera) que permite hacer cambios en los valores de asignación en función de la masa forrajera promedio del establecimiento. Esta regla actúa como un sensor del nivel forrajero del campo total. Otra regla monitorea el peso vivo de los animales en relación a pesos objetivo predefinidos como base para ajuste de los planteos a simular. Además, tiene reglas como ofrecer otra oportunidad de servicio a las vacas y la posibilidad de hacer destete precoz en base a una condición corporal definida.

En la práctica, se define una estrategia, se comienza con ella y luego la misma regla monitorea en los procedimientos cíclicos de manejo una desviación del plan debido a la variación del ambiente. Por ejemplo, si los dos aspectos a monitorear son la desviación de la disponibilidad de forraje esperada y la desviación del peso vivo objetivo, estos son chequeados semanal y mensualmente, respectivamente, para evaluar la magnitud de la desviación y corregir los valores correspondientes al ajuste propuesto por la regla definida. Es importante destacar que el simulador puede obtener toda esa información de monitoreo diariamente, pero en las reglas, el monitoreo de las variables medidas es realizado a tiempos posibles para un establecimiento real. Las reglas de manejo pueden ser diseñadas por el usuario para ajustar las variables de acuerdo a estrategias de pastoreo pre-definidas y acciones de contingencia como la confección de silaje, la compra o venta de animales y el ajuste de la suplementación.

8.4. Subsistema económico

Este subsistema genera y muestra los resultados económicos, financieros e impositivos del sistema. Para la actualización de precios utiliza una planilla electrónica tipo MS Excel®, en la que el usuario puede modificar el valor de los animales y los precios de los insumos y servicios, guardarla independientemente y ponerla a disposición del simulador. Se calculan indicadores como el margen bruto, rentabilidad, resultado operativo, pasivo y activo (detalle de caja y banco) basados en la metodología para evaluaciones económicas y financieras aplicada en Argentina por la Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (AACREA, 1990). Además, tiene una componente impositiva que utiliza la reglamentación nacional de la Administración Federal de Ingresos Públicos (AFIP, 2012).

8.5. Ejecución del modelo

El modelo ejecuta el subsistema biofísico y el de reglas de manejo automáticamente, y adicionalmente se puede elegir simular los subsistemas económico y/o impositivo.

El modelo no exige una secuencia definida para la carga de datos. Se puede comenzar por cualquiera de los compartimentos definidos en cualquier botón en la pantalla de carga (Figura 6). Los datos que se ingresan se refieren al período de simulación e incluyen el listado de cultivos y rendimientos, información sobre el clima, el crecimiento del forraje y la calidad de los recursos forrajeros, el uso del suelo (potreros) en rotaciones, la cantidad y tamaño de los potreros, las características de los animales, la asignación de alimento, los precios, la confección y uso de reservas forrajeras, los suplementos y las estrategias de destete (precoz o anticipado). En la parte de cultivos y rindes, no existen mecanismos que simulen el crecimiento de estos. Se toman los valores puntuales de rendimientos ingresados. Se continúa sucesivamente hasta completar la entrada de datos para crear el planteo productivo económico que se desea simular, los planteos se pueden guardar, recuperar y modificar. Luego se ejecuta la simulación, los resultados quedan disponibles para su descarga desde la página web o son enviados por el simulador a través de un correo electrónico que contiene un archivo adjunto en forma de una planilla Microsoft Excel que incluye datos simulados, gráficos prearmados e informe de eventos.



Fig. VI: Aspecto general de la pantalla con los botones para carga de datos.

8.6. Datos y valores usados en las simulaciones

Tabla I: Calendario Sanitario

Tratamiento	Descripción
AFTOSA	Se vacuna dos veces por año todos los animales. 1º dosis (vacas, vaquillonas, reposición, terneros, toros). 2º vacunación (<i>idem</i> todos los animales existente).
MANCHA Y GANGRENA	1º dosis en última semana de septiembre, 2º dosis noviembre, 3º dosis un mes antes de destete (hacer coincidir con vacunación antibrucélica en terneras). La categoría que se vacuna: ternero/a (se puede vacunar en cualquier edad, pero lo ideal es luego de los 3 meses de vida por interferir los anticuerpos calostrales).
CARBUNCLO	Vacunar antes del servicio. Nunca vacunar vacas gestantes con más de 5-6 meses de gestación (peligro de provocar abortos). Vacunar vacas, vaquillonas, toros y reposición de más de 12 meses de edad.
BRUCELOSIS (prevención)	Vacunar 1 mes antes del destete. Única dosis en la vida de la ternera (entre 4 y 7 meses de edad). Puede usarse el momento para dar la tercera dosis de mancha en simultáneo.
DIARREA NEONATAL	Neonatos: si se ven signos de diarrea, identificar, hidratar con sales, medicar, repetir tratamiento a las 24 hs Vacunación materna: vaquillona de 1º servicio (dos dosis, mayo y 2º en julio, la última dosis 20 días antes de la fecha de inicio de parto estimada). Vaca adulta: una dosis un mes antes del parto.
Control de PARÁSITOS INTERNOS	Al momento de destetar todos los terneros/a (Ivermectina). En junio repetir en la reposición (Levamisoles), y repetir en primavera. Evaluar con muestreo si fuere necesario.

Continúa...

Tratamiento	Descripción
Enfermedades reproductivas, IBR, DVB, Leptospira	1° dosis 45 días previo al servicio y 2° dosis 15 días previa al servicio
Complejo vitamínico/mineral	Sólo a los terneros destetados precozmente. 1° dosis en el momento del destete y 2° dosis a los 60 días.
Viral destete	Sólo a los terneros destetados precozmente. 1° dosis al destete, 2° dosis a los 30 días.
Tacto Rectal	Se aplica a la totalidad de hembras entoradas, para detectar preñez. La fecha designada para los tactos según fecha de servicios es el día 28 de febrero.

Tabla II: Costos insumos veterinarios, vacunas (\$ ds⁻¹), antiparasitarios (\$ cc⁻¹) y tacto (\$ cab⁻¹). (Fuente Revista Marca Líquida N°214 al 225)

Mes Sanidad	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J
Aftosa	4,10							4,10				
Mancha y Gangrena			0,67		0,73		0,80					
Carbunco			0,32									
Brucelosis							2,33					
Diarrea Neonatal	1,93										3,53	
Ivermectina¹								0,14				
Levamisol²			0,04									0,04
Enfermedades Reproductivas		2,89	2,89									
Complejo Vitamínico/mineral		1,69	1,69	2,00	2,00	2,00	2,20					
Viral Destete		3,07	3,07	3,52	3,52	3,52						
Tacto rectal								13,0				

¹ Dosis: 1cm³/50 kg PV

² Dosis: 1 cm³/10 kg PV

Tabla III: Gastos de estructura (\$ mes⁻¹) o total anual (\$ año⁻¹).

		J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	Total anual	Fuente
Personal	Encargado	2412	2387	2363	2342	3015	2988	3700	3663	3621	3580	3544	3579	37194	Fuente Revista Marca Líquida (N°214 al 225)
		1880	1861	1842	1825	2351	2329	2884	2856	2823	2791	2763	2790	28996	Fuente Revista Marca Líquida (N°214 al 225)
Seguros														2340	Fuente Comunicación personal (Iurman 2012)
Patentes														3640	Fuente Comunicación personal (Iurman 2012)
Comunicaciones														4200	Fuente Comunicación personal (Iurman 2012)
Gastos por maquinarias	Seguros													1690	Fuente Comunicación personal (Iurman 2012)
	Combustibles y lubricantes													11700	Fuente Comunicación personal (Iurman 2012)
Asesor Contable		387	383	379	376	372	369	365	413	409	404	400	404	4662	Fuente Comunicación personal (Iurman 2012)
Impositivos	Impuesto inmobiliario													1560	Fuente Comunicación personal (Iurman 2012)
	Retención de ganancias													3000	Fuente Comunicación personal (Iurman 2012)
	Mantenimiento de redes viales													1800	Fuente Comunicación personal (Iurman 2012)

8.6.1. Insumos utilizados

Tabla IV: Costos promedio de alimentos comprados (\$ kg MS⁻¹)

Alimento - Tipo	Precio (\$ kg MS ⁻¹)	Fuente
Balanceado destete precoz	1,30	Com. Personal (Inchausti 2012)
Heno de Alfalfa	0,56	CACF 2012 ³
Silaje de Sorgo	0,43	CACF 2012

Tabla V: Costo de los insumos y labores necesarios para la implantación de pasturas

Insumo	Momento (DDC)	Precio (\$ kg ⁻¹)	Cantidad (kg ha ⁻¹)
Semilla de festuca	65	11,15	5,00
Semilla de Agropiro	65	11,78	15,00
Labor		Valor (UTA)	Cantidad (UTA ha ⁻¹)
Cinzel con rastra 1º pasada	30	185,58	1,00
Cinzel con rastra 2º pasada	60	185,58	0,80
Rastra de disco doble acción	60	185,58	0,60
Siembra fina con rastra y rolo	65	185,58	0,65

³ CACF: Cámara Argentina de Contratistas Forrajeros. <http://www.ensiladores.com.ar/>

8.6.2. Precios de los animales (Compras – Ventas)

Tabla VI: Valor promedio de las categorías animales para todo el período simulado (\$ kg⁻¹) y desvío estándar (DS).

Categoría Animal	\$ kg⁻¹	DS	Fuente
Vaca rodeo general	6,29	0,35	Agro Series - AACREA
Vaca CUT	5,1	0,5	Agro Series - AACREA
Vaca preñada	6,29	0,35	Agro Series - AACREA
Vaquillona	9,51	0,67	Agro Series - AACREA
Vaquillona preñada	9,51	0,67	Agro Series - AACREA
Toro	18,62	2,72	DeGanados S.A.
Ternero destete	12,58	0,83	Agro Series - AACREA
Tenera destete	12,25	0,73	Agro Series - AACREA
Toro compra	18,62	2,72	DeGanados S.A.
Toro venta	6,95	0,74	Mercado de Liniers S.A.
Vaquillona primer servicio	9,51	0,67	Agro Series - AACREA
Vaca vacía	5,1	0,5	Agro Series - AACREA
Vaquillona vacía	9,51	0,67	Agro Series - AACREA
Vaquillona descarte pre-servicio	9,51	0,67	Agro Series - AACREA
Vaca CUT abortada	4,84	0,63	Agro Series - AACREA
Vaca CUT destetada	5,1	0,5	Agro Series - AACREA
Vaca sin ternero al inicio de servicio	6,29	0,35	Agro Series - AACREA