

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**COMPARACIÓN DE MODELOS DE ESTIMACIÓN Y
FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCCIÓN DE LECHE EN
GANADO DE CARNE EN CONDICIONES PASTORILES**

por

María IEWDIUKOW GODIÑO

TESIS presentada como uno de los
requisitos para obtener el título de
Magíster en Ciencias Agrarias
Opción Ciencias Animales

MONTEVIDEO
URUGUAY
2019

Tesis aprobada por el tribunal integrado por Ing. Agr. PhD. Laura Astigarraga, Ing. Agr. PhD. Alejandro La Manna y Ing. Agr. PhD. Olga Ravagnolo, el 05 de febrero de 2019. Autora: Ing. Agr. María Iewdiukow. Directora Ing. Agr. PhD. Graciela Quintans, Co-director Ing. Agr. PhD. José Ignacio Velazco.

AGRADECIMIENTOS

A mi tutora Ing. Agr. (PhD.) Graciela Quintans y co-tutores Ing. Agr. (PhD.) José Ignacio Velazco e Ing. Agr. (PhD.) Mario Lema por su invaluable guía no solo en la realización de este trabajo sino también en mi formación como profesional.

A los integrantes de los tribunales de seminarios y defensa final de tesis Ing. Agr. (PhD.) Ignacio Aguilar, Ing. Agr. (PhD.) Laura Astigarraga, Ing. Agr. Oscar Bentancur, Ing. Agr. (PhD.) Virginia Beretta, Ing. Agr. Msc. Alberto Casal, Ing. Agr. (PhD.) Alejandro La Manna, Ing. Agr. (PhD.) Olga Ravagnolo por las correcciones y sugerencias para mejorar el análisis del presente trabajo.

A la DMTV. (PhD.) Georgett Banchemo la revisión y comentarios del primer artículo de la tesis.

Al Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Estación Experimental Treinta y Tres, por el apoyo económico y por la posibilidad de utilizar sus instalaciones para realizar el trabajo. A todo el personal de INIA Treinta y Tres, especialmente al Sr. Juan Luis Acosta por su ayuda a la hora de reunir la información para construir la base de datos y a la Lic. Belky Mesones por su colaboración con los materiales bibliográficos.

A mi familia, amigos y compañeros que siempre estuvieron presentes durante este proceso.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	VII
SUMMARY	VIII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1. FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCCIÓN DE LECHE	2
1.1.1. <u>Nutrición y condición corporal</u>	2
1.1.1.1. Componentes de la leche	5
1.1.2. <u>Paridad o edad de la madre</u>	7
1.1.3. <u>Raza o biotipo</u>	8
1.1.4. <u>Efecto del amamantamiento</u>	9
1.2. PRODUCCIÓN DE LECHE Y CRECIMIENTO DE LOS TERNEROS	10
1.3. MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE ..	12
1.4. CURVAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE	13
1.4.1. <u>Producción de leche en ganado de carne</u>	17
1.5. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	19
1.6. BASE DE DATOS	19
1.6.1. <u>Información de la vaca y el parto</u>	20
1.6.2. <u>Información del ternero</u>	21
1.6.3. <u>Fecha de ordeño y producción de leche</u>	21
1.6.4. <u>Descripción del protocolo de ordeño</u>	22
1.7. ESTRUCTURA DEL TRABAJO DE TESIS	22
2. <u>COMPARISON OF THREE METHODS TO ESTIMATE MILK PRODUCTION PARAMETERS IN MULTIPAROUS BEEF COWS ON RANGELANDS</u>	23
2.1. ABSTRACT	23
2.2. INTRODUCTION	24
2.3. MATERIALS AND METHODS	25

	Página
2.3.1. <u>Location and general description</u>	25
2.3.2. <u>Database</u>	25
2.3.3. <u>Statistical analysis</u>	26
2.4. RESULTS AND DISCUSSION	28
2.5. IMPLICATIONS	32
2.6. CONFLICTS OF INTEREST	32
2.7. ACKNOWLEDGEMENTS	33
2.8. LITERATURE CITED	33
3. <u>CONTRASTING BODY CONDITIONS SCORE AT CALVING ON MILK PRODUCTION, CALVES GROWTH AND REPRODUCTION OF GRAZING BEEF COWS</u>	37
3.1. ABSTRACT	37
3.2. INTRODUCTION	38
3.3. MATERIALS AND METHODS	39
3.3.1. <u>Location and general description</u>	39
3.3.2. <u>Database</u>	39
3.3.3. <u>Statistical analysis</u>	40
3.4. RESULTS	41
3.5. DISCUSSION	45
3.6. CONFLICTS OF INTEREST	49
3.7. REFERENCES	49
4. <u>DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES</u>	54
4.1. DISCUSIÓN GENERAL	54
4.2. IMPLICANCIAS	61
5. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	62
6. <u>ANEXOS</u>	72
6.1. DESCRIPCIÓN DE LOS EXPERIMENTOS QUE INTEGRAN LA BASE DE DATOS	72

6.2. TEN YEARS-DATA OF MILK PRODUCTION IN BEEF CATTLE UNDER SOUTH AMERICAN GRAZING CONDITIONS: PRELIMINARY ANALYSIS	73
6.3. CURVAS DE LACTANCIA EN VACAS DE CRÍA EN PASTOREO: DIEZ AÑOS DE INFORMACIÓN. COMUNICACIÓN	74
6.3.1. <u> Materiales y Métodos </u>	74
6.3.2. <u> Resultados y Discusión </u>	75
6.3.3. <u> Conclusiones </u>	76
6.3.4. <u> Bibliografía </u>	77
6.4. MILK PRODUCTION IN GRAZING BEEF CATTLE IN URUGUAY: INFLUENCE OF COW PARITY	77
6.5. MILK PRODUCTION IN GRAZING BEEF CATTLE IN URUGUAY: INFLUENCE OF TWO CONTRASTING BODY CONDITION SCORE AT CALVING	78
6.6. VALORACIÓN DE TRES MODELOS PARA ESTIMAR LA PRODUCCIÓN DE LECHE EN VACAS DE CARNE SOBRE CAMPO NATURAL	80
6.7. COMPARACIÓN DE FUNCIONES SPLINES MEDIANTE LOS CRITERIOS DE AKAIKE (AIC) Y BAYESIANO (BIC)	81

RESUMEN

El objetivo del primer trabajo fue estimar la curva de lactancia de vacas de cría en condiciones pastoriles. Para el análisis se seleccionaron vacas multíparas, razas británicas, paridas en primavera y manejadas sobre campo natural (n=99). La producción de leche se estimó a los 15 días postparto y luego mensualmente hasta el destete (180 días), en base a un mismo protocolo de ordeño mecánico directo previa inyección de oxitocina. La producción total de leche fue caracterizada empleando los modelos de Wood (WD) y de Wilmink (WIL) y funciones splines. La comparación de modelos se realizó mediante el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}) y el error cuadrático medio (ECM). En la comparación de la forma de la curva se utilizaron intervalos de confianza (95%IC). Los valores de R^2_{adj} fueron 0,55; 0,54 y 0,53 y los valores de ECM fueron 2,54; 2,59 y 2,47 para WD, WIL y splines, respectivamente. La producción total de leche estimada fue de 1277, 1255 y 1195 kg para los modelos de WD, WIL y splines, respectivamente. El pico de producción fue a los 32, 25 y 36 días postparto con una producción de 8,74; 8,21 y 8,40 kg para WD, WIL splines, respectivamente. No se encontraron diferencias entre las variables de la curva (95%IC). Los modelos de Wood y Wilmink presentaron un buen ajuste de los datos de producción de leche y esto fue validado por los splines. El objetivo del segundo trabajo fue estimar el efecto de dos condiciones corporales al parto ($\leq 3,5$ u; BAJA y ≥ 5 u; ALTA) sobre la producción de leche de vacas de cría manejadas sobre campo natural. Se seleccionaron para el análisis 93 vacas cruce británicas. La producción de leche fue estimada siguiendo el mismo protocolo del trabajo anterior y fue analizada utilizando splines cúbicos con 4 nodos equidistantes. La producción total de leche fue estimada en 823 and 1170 kg para BAJA y ALTA, respectivamente. El peso de los terneros al nacer y al destete fue mayor ($P < 0.05$) en ALTA en comparación con BAJA ($37,9 \pm 0,5$ vs. $33,7 \pm 0,6$ kg y $217 \pm 4,0$ vs. $155,8 \pm 3,6$ kg), respectivamente. Las vacas en ALTA produjeron un 42 % más de leche que las de BAJA y esto se vio reflejado en el peso al destete de los terneros.

Palabras clave: curvas de lactancia, vacas de cría, modelos paramétricos, reservas corporales, campo natural.

**COMPARISON OF ESTIMATION MODELS AND FACTORS THAT
AFFECT MILK PRODUCTION OF BEEF COWS UNDER CONDITIONS
SUMMARY**

The aim of the first study was to characterize the lactation curve applying three different models in multiparous beef cows under grazing conditions. Milk production data from ninety-nine British crossbred multiparous cows managed on native pastures was analyzed. Lactation was assessed between 15 days postpartum and then monthly until weaning (180 days postpartum) using a milking machine after an oxytocin injection. Total milk production and lactation curve were characterized using Wood (WD) and Wilmink (WIL) models and both compared with Splines functions. The comparison was made applying adjusted coefficient of determination (R^2_{adj}) and mean square error (MSE). The shape of the curves was compared applying a 95% confidence interval (95% CI) constructed for each day of lactation. Estimated milk production for the lactation period was 1277, 1255 and 1195 kg for WD, WIL and CS5, respectively. Milk peak was predicted to happen at 32, 25 and 36 days postpartum with a production of 8.74, 8.21 and 8.40 kg for WD WIL and CS5, respectively. Wood and Wilmink models presented an accurate fit of the milk production curve based on analyzed data and that was confirmed by the splines. The aim of the second work was to estimate the effect of LOW (≤ 3.5 u) and HIGH (≥ 5 u) cow BCS (scale 1 to 8 u) at calving on milk production of grazing beef cows. Ninety-three British crossbred cows were analyzed. Milk yield was estimated monthly until weaning applying the same protocol. Milk yield was analyzed with cubic splines with 4 equally spaced knots. Total milk production was 823 and 1170 kg for LOW and HIGH, respectively. Calves LW at birth was higher ($P < 0.05$) in HIGH than in LOW (37.9 ± 0.5 vs. 33.7 ± 0.6 kg), also at weaning calves in HIGH weighed more than in LOW (217 ± 4.0 vs. 155.8 ± 3.6 kg). Cows that calved in HIGH produced 42 % more milk in the entire lactation period and that was reflected on calves weaning LW.

Keywords: beef cattle, lactation models, milk yield, body reserves, parametric models, rangeland.

1. INTRODUCCIÓN

El rubro ganadero tiene gran incidencia en la economía de Uruguay representando un 76 % de la superficie productiva del país con un total de 42.114 explotaciones ganaderas. Por su parte, 73% de la superficie ganadera está integrada por explotaciones criadoras y de ciclo completo (DIEA - MGAP, 2017).

En general la cría se desarrolla sobre campo natural el cual representa el 88% de la superficie total ganadera (DIEA – MGAP, 2017) del país y se caracteriza por poseer una oferta de forraje variable a lo largo del año y altamente dependiente de las condiciones climáticas. El mismo presenta una estacionalidad marcada con producciones de forraje máximas en primavera y verano y mínimas en invierno (Bermúdez y Ayala, 2005a), coincidiendo con la etapa final de gestación e inicio de parto. La producción nacional promedio anual de forraje fue estimada en 3425 kg MS/ha con una digestibilidad de la materia orgánica de 53, 57 y 58% y proteína cruda de 11, 9 y 8 % para invierno, primavera y verano, respectivamente (Bermúdez y Ayala, 2005b).

La cría es un ciclo biológico de larga duración que, como proceso, implica un elevado costo de energía requerida para mantenimiento. Por esta razón la cría se convierte en un proceso de baja eficiencia energética. Existe una correlación positiva entre la producción de leche y los requerimientos de mantenimiento (Montaño-Bermudez *et al.*, 1990). La eficiencia de los sistemas de cría se puede definir como la habilidad de transformar los nutrientes en kg de terneros destetados (Jenkins y Ferrell, 1992). La tasa de procreo y el peso al destete de los terneros son los dos indicadores más utilizados para medirla y pueden ser incrementados en estos sistemas mediante diferentes medidas de manejo.

Al aumentar el peso al destete disminuye el costo energético por kg de ternero, es decir que mejora la eficiencia energética, se requiere menos energía metabolizable por kg producido (Di Marco, 2006). El peso al destete es influenciado por la producción de leche existiendo numerosos trabajos que evidencian altas correlaciones entre estas variables durante la etapa de amamantamiento (Gleddie y Berg, 1968; Totusek *et al.*, 1973).

Dada la alta incidencia que tiene la producción de leche en los costos energéticos de las vacas, es importante también cuantificar como incide en el estado corporal de las mismas y la relación entre requerimientos de mantenimiento, lactación y gestación. Además, evaluar su influencia en el desempeño reproductivo posterior, especialmente en los momentos en que el forraje es limitado (último tercio de gestación-parto) es relevante. La principal causa de la baja tasa de procreo de los rodeos de cría del país es el prolongado anestro posparto, según Short *et al.* (1990) los factores principales que afectan la duración del anestro posparto son la nutrición y el amamantamiento.

La producción de leche en bovinos para carne ha sido estudiada y documentada tanto en trabajos internacionales (Gleddie y Berg, 1968; Totusek *et al.* 1973; Beal *et al.*, 1990) como nacionales (Gioia y Licha, 2008; Quintans *et al.*, 2010; Espasandín *et al.*, 2016). Sin embargo, la información nacional en este tema es escasa, no existiendo estudios que integren resultados de varios experimentos en un solo análisis. Caracterizar la curva de producción de leche utilizando bases de datos consolidadas permitirá hacer un aporte más al conocimiento del manejo de los rodeos de cría en nuestras condiciones de producción.

1.1. FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCCION DE LECHE

Existen numerosos factores tanto genéticos como ambientales que pueden afectar la producción de leche en ganado de carne. Entre éstos se encuentran la nutrición, paridad o edad de la madre al momento del parto, época de parto, biotipo o raza, aplicación de técnicas de control del amamantamiento, capacidad del ternero para consumir la leche, entre otros. A continuación se describirán los aspectos más relevantes de estos factores, para ganado de carne.

1.1.1. Nutrición y condición corporal

La producción de leche está determinada en gran medida por el consumo de materia seca. El nivel nutricional con el que llega la vaca al parto no solo afecta el

nivel de producción de leche durante la lactancia sino que es uno de los principales determinantes del anestro posparto y por lo tanto del desempeño reproductivo en el siguiente entore (Lalman *et al.*, 2000). Es necesario una adecuada alimentación para poder destinar energía tanto a la producción de leche como al retorno de la actividad reproductiva, además de satisfacer las necesidades energéticas básicas del animal (NRC, 1996).

El alimento consumido se distribuye según los requerimientos en función de la edad, etapa de crecimiento o nivel de producción. La energía se destina en un orden aproximado primero para cubrir los requerimientos de mantenimiento, actividad, crecimiento y una vez cubiertas esas necesidades básicas, ésta puede ser destinada a gestación y lactación (Short *et al.*, 1990). La partición de nutrientes para reproducción y producción de leche son el resultado de complejas interacciones entre la cantidad y calidad de la dieta, reservas corporales y requerimientos para crecimiento, metabolismo y demás funciones (Short y Adams, 1988).

Según Di Marco (2006) los requerimientos totales de las vacas están compuestos en un 70-75% por los de mantenimiento, 5-6% gestación y 20-25% lactancia. Las vacas en lactación tienen 30% más de requerimientos que las vacas no lactantes (Neville, 1971), éstos se incrementan en las vaquillonas (primíparas) a las que se les suman los requerimientos de crecimiento, por lo que las necesidades nutricionales son mayores en comparación con vacas múltiparas (Freetly *et al.*, 2006).

En los sistemas pastoriles de la región, la cría vacuna por lo general se desarrolla sobre campo natural, caracterizado por presentar producción de materia seca muy variable a lo largo del año y entre años. Los mínimos de calidad y cantidad de forraje se producen en invierno, coincidiendo con el final de gestación e inicio de pariciones, y máximos en primavera (Bermúdez y Ayala, 2005a). Esto determina que la baja disponibilidad de forraje invernal muchas veces no sea suficiente para cubrir los requerimientos del último tercio de gestación. El consumo inadecuado de nutrientes durante este periodo tendrá consecuencias en la producción de leche, las ganancias diarias de los terneros (LeMaster *et al.*, 2017) y en la duración del anestro

postparto (Houghton *et al.*, 1990; Short *et al.*, 1990; Spitzer *et al.*, 1995), determinando una menor eficiencia del sistema.

La condición corporal (CC) puede ser utilizada para estimar las reservas energéticas corporales de los animales (Short *et al.*, 1990; Randel, 1990). El descenso en la CC antes del parto puede tener como consecuencias un anestro postparto más prolongado, mayor intervalo parto concepción, además puede influir sobre el peso al nacer de los terneros (Houghton *et al.*, 1990), en la producción de leche y en las ganancias diarias de los terneros hasta el destete. Alcanzar el parto con una buena CC es muy importante para evitar un prolongado anestro posparto (Short *et al.*, 1990).

Existen trabajos a nivel internacional, en los que se estudió la incidencia de diferentes cantidades y tipos de alimentación (pasturas mejoradas, concentrados) en la producción de leche en vacas de carne. Lalman *et al.* (2000) reportaron mayor producción de leche a medida que la dieta contenía mayor cantidad de energía y Jenkins y Ferrell (1992) encontraron que al aumentar los niveles de energía en la dieta el pico de producción ocurría más tarde en la lactancia y con mayores niveles de producción. Lo mismo ocurrió con la producción de leche total, a mayores niveles de energía mayor producción de leche.

Por otro lado, la sobre alimentación también puede tener efectos negativos en la producción de leche. Según Willham (1972) la deposición de tejido graso en la glándula mamaria es un factor que disminuye la producción de leche.

En sistemas pastoriles (fundamentalmente campo natural), la época de parición es un factor que determina el nivel nutricional de los animales. Ésta tiene gran influencia en la forma de la curva de lactancia, asociado a la estacionalidad del campo natural (Rovira, 1996). Las vacas cuyos partos fueron hacia el final de la estación de parto produjeron 21% menos de leche que las que tuvieron partos en la primera mitad de la estación (Rodrigues *et al.*, 2014). Según estos autores los mayores picos de producción de leche ocurrieron en las vacas con partos al inicio de la estación. Esto puede estar relacionado a factores ambientales que influyen directamente en la producción de forraje.

Cuando los partos ocurren en setiembre el pico de producción de leche se produce en el segundo y tercer mes de lactancia, mientras que en partos de noviembre el pico de producción se produce alrededor del primer mes de lactancia, acentuándose el descenso a partir de los 60 días. En los primeros meses de lactancia, aunque la alimentación no sea suficiente, las vacas pueden utilizar sus reservas corporales y destinarlas a la producción de leche, en este momento la producción es más dependiente de factores hormonales que nutricionales. Cuando la estación de parto es en el momento de mayor producción de forraje, el pico de producción de leche ocurre antes y con un nivel más alto, pero con una tasa de descenso más rápida (Bavera, 2005).

Como fue mencionado, la condición corporal es un indicador de las reservas energéticas de las vacas y por lo tanto tiene influencia directa o indirecta en la producción de leche. Según Boggs *et al.* (1980) las vacas aumentaron la CC a medida que la producción de leche fue decreciendo lo que demostró que ambas variables están relacionadas. Sawyer *et al.* (1994) reportaron resultados similares, las vacas que tuvieron baja CC al parto produjeron entre un 9 y un 28% menos de leche en los 220 días de lactancia en comparación con vacas de moderada CC al parto. En Uruguay, vacas primíparas pastoreando campo natural con baja CC al parto (3,4 u; escala de 1 a 8) produjeron menos leche que las de moderada CC (3,9 u) y los terneros tuvieron menores ganancias de PV durante los primeros 40 días de edad (Astessiano *et al.*, 2014). Estos autores reportaron que tanto las vacas de baja como las de moderada CC movilizaron reservas durante el parto sin embargo, durante el postparto las vacas en moderada CC se mantuvieron y las de baja CC recuperaron reservas corporales. En condiciones similares pero en vacas multíparas, Quintans *et al.* (2010) estimaron que las vacas de alta CC produjeron 14 % más de leche que las de baja CC al parto (4,1 vs. 3,6 kg/d para alta y baja, respectivamente).

1.1.1.1. Componentes de la leche

Los componentes de la leche determinan el valor nutritivo de la misma por tanto afectan las ganancias de PV de los terneros. Están influenciados por la

nutrición, etapa de lactancia, edad de la vaca y raza (NRC, 1996). La grasa es, por lo general, el componente más variable en leche, se sintetiza a partir de precursores provenientes de la dieta y de reservas corporales. Las proteínas de la leche son, en su mayoría (90%), sintetizadas en la glándula mamaria (Rearte, 1992). La lactosa es sintetizada a partir de glucosa y galactosa en la glándula mamaria, es el componente más importante de la leche ya que su capacidad osmótica es la que va a definir el volumen de producción, también es un componente muy estable salvo en casos de subnutrición aguda (Rearte, 1992).

El efecto de la nutrición sobre la composición de la leche varía en función de los componentes de la dieta suministrada (Rearte, 1992). Dietas altas en fibra incrementaron la concentración de grasa mientras que las dietas bajas en fibra y altas en carbohidratos fermentables redujeron la concentración de grasa e incrementaron el volumen y la proteína de la leche (Calvache y Navas, 2012). Al incrementar el suministro de energía en la dieta la concentración de proteína en la leche aumentó linealmente y la concentración de grasa tuvo una respuesta cuadrática (Lalman *et al.*, 2000). Rearte (1992) reportó menores contenidos de grasa y proteína en los sistemas lecheros manejados en condiciones pastoriles en comparación con el mismo tipo de animales manejados en sistemas estabulados con dietas basadas en concentrados. Esto, además del potencial genético, evidenciaría las diferencias entre los componentes de la leche en vacas de razas lecheras y razas carniceras.

Los componentes de la leche en ganado lechero para el promedio de los últimos 7 años en Uruguay, fueron estimados en 3,8% y 3,3% para grasa y proteína, respectivamente (INALE, 2018). En un trabajo anterior Acosta *et al.* (2002) trabajando con diferentes asignaciones de forraje, reportaron porcentajes de 3,5 a 3,8 para grasa, 3,0 a 3,1 de proteína y 4,7 a 4,9 de lactosa, en ganado lechero. Sin embargo, al estudiar los componentes de la leche en ganado de razas carniceras se pueden apreciar algunas diferencias respecto a los mencionados anteriormente. Los valores promedio para los componentes de la leche en ganado de carne, según la revisión de diferentes trabajos realizada por NRC (1996) fue de 4,0; 3,4 y 4,7% para grasa, proteína y lactosa, respectivamente. Estos valores pueden variar según la etapa de lactancia, nivel de producción, el estado corporal, raza, entre otros factores. Otros

estudios reportaron resultados similares para los componentes de la leche, encontrándose en un rango de 3,2 a 4,1% grasa, 3,0 a 3,9% proteína y 4,0 a 4,6% lactosa (Masilo *et al.*, 1992; Rodrigues *et al.*, 2014).

En condiciones pastoriles, Maresca *et al.* (2018) reportaron valores de 2,7; 3,4 y 4,9% de grasa, proteína y lactosa, respectivamente. En Uruguay valores similares fueron reportados para grasa, proteína y lactosa (2,0; 3,1 y 4,9%, respectivamente) por Quintans *et al.* (2010). Por su parte, Astessiano *et al.* (2014) estimaron en vacas primíparas, valores de 2,7; 2,9 y 4,9% de grasa, proteína y lactosa, respectivamente. Estos autores no encontraron diferencias en los componentes de la leche en función de la CC, aunque si se registraron diferencias según la etapa de la lactancia (fechas de medición).

Con respecto a la relación entre los componentes de la leche y las ganancias de PV de los terneros, Edwards *et al.*, (2017) sostienen que con altos contenidos de grasa y proteína durante la lactancia temprana en las vacas de alta producción de leche, los terneros tendrán mayor ganancia de PV. Asimismo, Lalman *et al.*, (2000) y Liu *et al.*, (2015) reportaron mayores ganancias diarias de PV de los terneros a medida que aumentaba la cantidad de grasa, proteína y lactosa en leche.

1.1.2. Paridad o edad de la madre

La edad de la madre o paridad afecta la producción de leche y tiene, por tanto, incidencia en la forma de la curva. Según Jeffery *et al.* (1971) las vaquillonas producen menos leche que las vacas adultas (múltiparas). Estos autores sostienen que la producción de leche tiende a ser mayor a medida que aumenta la edad de las vacas, estabilizándose en la madurez. Similares resultados fueron reportados por Melton *et al.* (1967) donde vacas de 5 a 10 años de edad produjeron más leche que las de 3 y 4 años y éstas más que las de 2. Rutledge *et al.* (1971) sostienen que la edad de la madre presento un efecto cuadrático en la producción de leche, con un máximo a los 8,4 años de edad. En cuanto al efecto de la edad en la producción total de leche, Hohenboken *et al.* (1992) reportan una producción máxima a los 5 años de edad. Según Rodrigues *et al.* (2014) vacas múltiparas de 4 y 5 años produjeron en el total

de la lactancia más leche que vacas primíparas de 3 años de edad. La mayor producción de leche de vacas adultas en comparación con las primíparas es esperada, ya que estas últimas están aún en crecimiento (Rodrigues *et al.*, 2014).

Respecto a la forma de la curva, vacas de primera cría presentaron picos de producción más tarde en la lactancia y con menor producción, pero con una mayor persistencia de la misma en comparación con vacas multíparas (Macciotta *et al.*, 2011). Cobuci *et al.*, (2000) reportaron menores producciones de leche al inicio de la lactancia y menores tasas de descenso de la producción de leche en vacas primíparas en comparación con vacas adultas. Por otro lado, Botero y Vertel, (2006) sostienen que si bien la paridad influyó notoriamente en el tiempo en el que se alcanza el pico de producción, la persistencia de la lactancia no fue diferente en forma significativa en las diferentes edades. Pimentel *et al.*, (2006) reportaron diferencias en producción de leche entre vacas primíparas y multíparas solamente a los 42 y 63 días de lactancia, durante el resto de la lactancia no hubo diferencias por paridad. Según estos autores estos resultados indicarían que las diferencias se producen cuando ocurre el pico de lactancia, momento en el que las multíparas producen más leche que las primíparas.

1.1.3. Raza o biotipo

El biotipo o la raza de las vacas es otro factor que influye directamente en la producción de leche. Existen diferencias entre razas puras y cruzas y también entre los individuos dentro de una misma raza. Melton *et al.*, (1967) reportaron diferencias en producción de leche debidas a la raza de la vaca. En el mismo sentido, Albertini *et al.* (2012) obtuvieron diferencias significativas en producción de leche dadas por el genotipo tanto en la primera etapa de la lactancia como en la tasa de descenso de la producción hacia el final de la misma.

Al comparar razas puras y cruzas Gioia y Licha (2008) constataron que estas últimas produjeron más leche que las puras. Sin embargo, al comparar entre las vacas de razas puras (Hereford y Angus), estos autores, no observaron diferencias en producción de leche. Por otro lado, las vacas cruce cebuinas con británicas

produjeron más leche que las Angus puras o las cruza Angus x Hereford (Rodrigues *et al.*, 2014). En relación a lo anterior, los autores sostienen que las vacas cruza entre razas genéticamente más distantes (Cebú x Británicas) tienden a producir más leche y con mayor contenido de sólidos. Según Rodrigues *et al.*, (2014) las vacas cruza Nelore x Angus y Caracu x Angus demostraron tener mayor habilidad materna y destetaron terneros más pesados en comparación con las cruza Hereford x Angus y Angus puras.

Espasandín *et al.* (2016) no reportaron diferencias en producción de leche entre las razas Angus, Hereford y sus cruza, existiendo diferencias en el PV de los terneros al destete según la raza de la madre. Terneros hijos de madres cruza y Angus puras fueron más pesados que los hijos de madres Hereford puras. Estas diferencias fueron significativas hacia el último mes de lactancia y en el destete, no evidenciándose al inicio de la misma.

1.1.4. Efecto del amamantamiento

El amamantamiento es otro factor que puede afectar el reinicio de la actividad ovárica, alargando el intervalo parto concepción, además de la nutrición. La frecuencia así como la intensidad y duración del amamantamiento son considerados como los principales factores que pueden afectar el largo del anestro postparto y la producción de leche (Short *et al.*, 1990; Williams, 1990).

La aplicación de técnicas de control del amamantamiento (destete temporario) tiene efecto sobre la producción de leche en vacas de cría. Según Lamb *et al.* (1999) una vez finalizado el destete temporario las vacas aumentaron la producción de leche pero no alcanzaron el mismo nivel de producción que las vacas que no fueron sometidas a dicho tratamiento. Quintans *et al.* (2010) observaron que en vacas con moderada CC, si bien se produjo un descenso en la producción de leche durante el periodo de destete temporario, una vez finalizado el tratamiento éstas aumentaron la producción de leche alcanzando niveles similares a los de las vacas que no fueron sometidas a esta técnica.

1.2. PRODUCCIÓN DE LECHE Y CRECIMIENTO DE LOS TERNEROS

Las ganancias diarias de PV de los terneros así como el peso al destete están relacionadas con la producción de leche de sus madres (Gleddie y Berg 1968; Rutledge *et al.*, 1971; Totusek *et al.*, 1973). En vacas de carne la producción de leche en las primeras etapas de la lactancia está determinada por la capacidad de cosecha del ternero (Gleddie y Berg, 1968).

La leche es el principal alimento de los terneros en los primeros meses de vida y a medida que estos van creciendo otros alimentos, como la pastura, empiezan a sustituirla (Gleddie y Berg, 1968). A medida que avanza la lactancia los terneros comienzan a comer más pasto y la leche deja de ser la única fuente de alimento, por lo tanto la correlación entre producción de leche y crecimiento del ternero descende. La relación entre la producción de leche y las ganancias de los terneros son mayores en los primeros 60 días de edad del ternero (Neville *et al.*, 1962). Edwards *et al.* (2017) reportaron que los terneros hijos de vacas con media y alta producción fueron más pesados a los 58 días de lactancia en comparación con los hijos de las vacas de baja producción, no encontrando diferencias en el peso de los terneros según la producción de la madre, más allá de los 60 días de edad. Boggs *et al.* (1980) estimaron un mayor consumo de forraje por parte de los terneros hacia el final de la lactancia. Los autores verificaron que el consumo mensual de MS (forraje) fue de 0,62 % del PV al inicio de la lactancia y de 2,20 % del PV hacia el final de la misma.

El peso al nacer del ternero no aparece como un factor determinante de la producción de leche de la madre observándose correlaciones bajas y positivas que oscilan entre 0,11 y 0,18 (Jeffery *et al.*, 1971). Sin embargo, Rutledge *et al.*, (1971) obtuvieron valores de 0,51, lo que indicaría que los terneros más pesados al nacer demandaron más leche de sus madres o tenían mayor capacidad de consumo en comparación con terneros más livianos al nacimiento.

En cuanto al sexo del ternero y la relación con la producción de leche de su madre se han reportado resultados variables. Según Albertini *et al.* (2012) las madres de terneros machos produjeron un 11,4% más de leche que las madres de hembras. Esto concuerda con lo descrito por Melton *et al.* (1967) quienes sostienen que

madres de terneros machos producían 0,58 kg más de leche por día que las madres de hembras. Estas diferencias disminuyeron a medida que avanzaba la lactancia hasta 0,10 kg de leche por día hacia el final de la misma. Las diferencias fueron en total de 53 kg más de leche para las madres de machos en comparación con las madres de hembras. Melton *et al.* (1967) reportaron que los terneros machos fueron más pesados al nacer y mamaron más frecuentemente lo que provoca un mayor estímulo de la madre, lo que resulta en una mayor producción de leche. Sin embargo, Rodrigues *et al.* (2014) no encontraron diferencias en los parámetros que describen la curva de producción de leche dadas por el sexo del ternero. Pimentel *et al.* (2006) reportaron diferencias en el PV de los terneros debidas al sexo (machos más pesados que hembras), sin embargo no observaron efecto del sexo del ternero en la producción de leche de la madre.

La estación de parto o fecha de parto tuvo efecto en la producción de leche y por lo tanto en el PV de los terneros al destete (Neville *et al.*, 1974). Estos autores observaron que, por cada día que se atrasó el parto dentro de la estación de parición, la producción de leche aumentó entre 0,010 y 0,014 kg/día y el PV de los terneros a los 210 días de edad aumentó entre 0,176 y 0,300 kg. Boggs *et al.* (1980) reportaron diferencias en el consumo de leche por parte de los terneros según el mes de nacimiento, el mayor consumo de leche coincidió con la mejor calidad de la pastura. A medida que la estación avanzaba el consumo de leche por parte de los terneros fue decayendo lentamente, describiendo la forma de la curva de lactancia característica.

El proceso de conversión de leche a carne es considerado de baja eficiencia debido a que incluye una doble etapa: de pasto a leche y de leche a carne. En cada una de estas etapas se aprovecha sólo el 30 % de la energía bruta consumida (Bavera, 2005). La eficiencia de conversión de la leche en carne reportada por Melton *et al.* (1967) fue de 5,2 kg de leche para producir 1 kg de ganancia de PV del ternero, sin tener en cuenta la raza de la madre. Al distinguir según la raza de la madre (Angus, Charolais, Hereford) la leche necesaria para obtener 1 kg de ganancia de PV del ternero fue de 5,7; 5,2 y 4,7 kg para Angus, Charolais y Hereford, respectivamente. Valores mayores fueron reportados por Williams *et al.* (1979) quienes sostienen que, dependiendo del año, fueron necesarios 12,3 y 16,8 litros de leche para ganar 1 kg de

PV. Según Melton *et al.* (1967) el contenido de sólidos totales en la leche pudo determinar las diferencias en eficiencia en el uso de la leche. Las diferencias pueden estar dadas también por los requerimientos de mantenimiento que puedan presentar las razas.

Las correlaciones existentes entre producción de leche y ganancia de PV de los terneros y PV al destete varían según los diferentes trabajos, momento de la lactancia y método de estimación de la producción de leche utilizado. La correlación entre dichas variables oscilan entre 0,40 y 0,83 (Knapp y Black, 1941; Melton *et al.*, 1967; Gleddie y Berg, 1968; Totusek *et al.*, 1973; Grings *et al.*, 2008). Rodrigues *et al.*, (2014) estimaron valores menores, 0,36 y 0,50, de correlación entre total de leche producida y PV al destete según el método de ordeño empleado (“Weigh-Suckle-Weigh” y ordeño mecánico, respectivamente).

Las correlaciones entre ganancias diarias de PV de los terneros y producción de leche diaria fueron altas al principio de la lactancia disminuyendo hacia el final de la misma (Melton *et al.*, 1967). Por el contrario, Liu *et al.* (2015) reportaron una relación lineal entre la producción de leche y las ganancias diarias en la raza Hereford.

1.3. METODOS DE ESTIMACION DE LA PRODUCCION DE LECHE

Existen diversos métodos para estimar la producción de leche en ganado de carne, métodos directos como el “Weigh-Suckle-Weigh” (WSW) que consiste en pesar el ternero antes e inmediatamente después de mamar (Drewry *et al.*, 1959; Rutledge *et al.*, 1971; Totusek *et al.*, 1973; Beal *et al.*, 1990), ordeño mecánico previa inyección de oxitocina (Anthony *et al.*, 1959; Gleddie y Berg 1968; Marston *et al.*, 1992; Quintans *et al.*, 2010) y métodos indirectos en donde se estima la producción de leche a través de la evolución de PV de los terneros (Totusek *et al.*, 1973).

El método de WSW es un estimador preciso de la producción de leche a través del consumo de leche por el ternero, está relacionado con la liberación de oxitocina causada por el ternero al mamar. Otro método muy empleado es el ordeño

mecánico previa inyección de oxitocina en el cual se suministra la hormona (dosis variable 10, 20 ó 40 UI) 2-3 minutos previos al ordeño con el objetivo de promover la bajada de la leche. El primer método es preciso en estimar el consumo de leche real del ternero mientras que el segundo estima la producción de leche de la vaca.

Albertini *et al.* (2012) utilizando ordeño mecánico y empleando 6 medidas de producción de leche a lo largo de la lactancia obtuvieron altos coeficientes de determinación (r^2). En cambio, cuando estimaron la producción mediante el método de WSW fueron necesarias 12 medidas para obtener valores altos de r^2 . Estos autores concluyeron que el método de ordeño mecánico fue más adecuado, preciso y de mayor repetibilidad que el de WSW para estimar la producción de leche en ganado de carne. El ordeño mecánico es de fácil manejo en comparación con el WSW ya que con 6 evaluaciones a lo largo de la lactancia se obtienen buenos resultados ($r^2 = 0,8$). Al comparar el método de ordeño mecánico y el WSW, el primero tendió a ser más preciso en la estimación de la producción de leche y presentó mayor correlación entre la producción de leche y el peso al destete de los terneros que el WSW (Rodrigues *et al.*, 2014).

El número de muestreos por lactancia es importante para obtener mayor precisión en la estimación de la producción de leche. Totusek *et al.* (1973) obtuvieron los mejores resultados con 4 - 5 muestreos en 210 días de lactancia. Estos autores sostienen que al adicionar un muestreo al inicio de la lactancia (día 10) los resultados no mejoraron, probablemente debido a la baja capacidad del ternero por tomar leche en los primeros días de vida.

1.4. CURVAS DE PRODUCCION DE LECHE

La curva característica de producción de leche presenta incrementos hasta un pico de máxima producción y luego desciende hacia el final de la lactancia (Botero y Vertel, 2006). Así como existen diferentes niveles o potenciales de producción de leche, hay también diversas curvas de lactancia. La forma estándar de la curva de ganado lechero varía en función de la época de parto, variación individual, factores ambientales, alimentación, sanidad, factores genéticos y de manejo. Estas variaciones

dan lugar a las llamadas curvas atípicas de producción (Naya *et al.*, 2002; Urioste *et al.*, 2002; Macciotta *et al.*, 2011), como las que presentan doble pico o curvas que siempre son descendentes.

Existe una amplia variedad de modelos matemáticos utilizados para estimar la producción de leche y describir la curva de lactancia, especialmente desarrollados para ganado lechero. Los modelos propuestos por Wood (1967; WD) y Wilmink (1987; WIL) son los más utilizados a nivel mundial, ambos capaces de describir curvas estándar y atípicas (Macciotta *et al.*, 2005). Estos modelos han sido utilizados para describir curvas de lactancia en ganado para carne (Albertini *et al.*, 2012 y Espasandín *et al.*, 2016). La ventaja de utilizar estos modelos radica en su amplia aplicación en el estudio de producción de leche de diferentes razas y especies, siendo además, fáciles de implementar dado el bajo número de parámetros.

Las curvas atípicas suelen ser comunes, muchas veces están dadas por la estructura de los datos, la estructura de los modelos en relación con los muestreos de producción y el intervalo entre los mismos (Macciotta *et al.*, 2011).

Existen también modelos de estimación más flexibles como los polinomios de Legendre o los Splines lineales, cuadráticos, cúbicos que permiten mejores ajustes a los datos particulares de cada experimento. Estas funciones permiten describir de forma más ajustada los resultados y definir el número y lugar de los nodos.

Las diferentes funciones matemáticas o modelos utilizados para describir curvas de lactancia por lo general difieren en el número de parámetros, en el tipo (lineal o no lineal) y en su capacidad para estimar la persistencia de la lactancia, la producción en el pico y día en que ocurre el pico.

Según lo reportado por Wood (1967) el total de leche producida puede estar influenciado por varios factores pero la forma de la curva no cambia sustancialmente. La producción de leche aumenta rápidamente desde el parto hasta el pico de producción y luego disminuye en forma más o menos gradual hasta el secado de la vaca. La forma de la curva propuesta por este autor es la de una función gamma:

$$Y_n = a n^b \exp(-cn)$$

Donde: Y_n es la producción de leche promedio diaria en la semana n de lactancia y los parámetros a , b y c son constantes.

El parámetro a de la ecuación es un factor de la escala de producción y tiende a ser mayor con el número de lactancias, es dependiente del nivel de producción inicial. El parámetro b es el que controla la tasa de crecimiento hasta el pico de producción y c es la tasa de descenso después del pico de producción y en valores absolutos tiende a aumentar con la paridad (Macciotta *et al.*, 2011).

El modelo de WD tiene la ventaja que con tan solo 3 parámetros presenta un muy buen grado de ajuste (Cunha *et al.*, 2010). Además, los parámetros del modelo de WD permiten estimar los días en que ocurre el pico y la producción en el pico, la persistencia de la lactancia y la producción total de leche. El día en que ocurre el pico se puede estimar como $n = b/c$ y la producción en dicho día $Y_{max} = a (b/c)^b e^{-c}$ (Wood, 1967).

Se debe tener en cuenta que si el valor de b ó c es negativo, el modelo predice un pico de lactancia antes del parto. Estimaciones negativas de alguno de estos parámetros son más comunes cuando el primer control o muestreo se realiza después de los 30 días postparto que cuando se realiza en los primeros 10 días de lactancia (Congleton y Everett, 1980).

La falta de información en los primeros días de lactancia dada por intervalos de muestreo mensuales, tiene como resultado un 5,9% de las curvas con una pendiente negativa al inicio de la lactancia. Al utilizar muestreos diarios la ocurrencia de pendientes negativas al inicio disminuyen a un 2,2% de las curvas (Congleton y Everett, 1980).

Por otro lado, el parámetro b debe ser menor a 1 sino la producción de leche sería siempre creciente a medida que avanza la lactancia (Wood, 1967). La variabilidad del parámetro b esta principalmente relacionada con el tiempo entre el parto y el primer control. Cuando los controles son después de 30 días postparto la desviación estándar de b aumenta (Macciotta *et al.*, 2005).

El factor a esta asociado con la producción promedio al inicio de la lactancia; en lactancias donde el valor de a es similar, la producción de leche total (y) es función de $c^{-(b+1)}$ que es una medida de persistencia de la lactancia (Wood, 1967).

Existen reportes de que el modelo de Wood puede presentar una pobre estimación de la producción diaria en la primera semana de lactancia, disminuyendo

este error a medida que avanza la misma (Congleton y Everett, 1980). Los errores de estimación de los modelos se producen al aumentar los días de intervalo entre muestreos (90, 120 días) donde sub o sobreestiman la producción en el pico (Flores *et al.* 2013). También, existen reportes de que el modelo de WD puede sub estimar la producción alrededor del pico de lactancia (Macciotta *et al.*, 2011).

La ocurrencia de formas típicas y atípicas no solo tiene una razón biológica sino que además es una cuestión matemática dada por el día del primer control así como también los valores y distribución de los controles durante toda la lactancia que pueden forzar la forma de la curva (Macciotta *et al.*, 2005).

El modelo de WD ha tenido a lo largo del tiempo algunas adaptaciones con el fin de mejorar la estimación de la curva de producción de leche. Un ejemplo de esto es el modelo propuesto por Wilmink (1987) que es una adaptación del modelo de WD en donde se incorporó un parámetro k que corresponde al momento de ocurrencia del pico de producción. En numerosos trabajos este parámetro k se utiliza como una constante ($k= 0,05$) y determinaría un pico de lactancia alrededor de la 5 semana de lactancia.

La curva de lactancia promedio para un número grande de animales tiene por lo general una forma lo suficientemente regular como para ser modelada con modelos paramétricos, pero las curvas individuales muestran considerable variación en la forma. Por lo tanto, para estimar curvas individuales se requieren modelos con coeficientes variables como los splines. Según White *et al.* (1999) éstos se adecuan a la estructura de los modelos mixtos, es más fácil trabajar con datos desbalanceados y los efectos genéticos y ambientales forman parte natural del modelo (White *et al.*, 1999).

Las funciones Splines son un conjunto de funciones en las que la variable dependiente es dividida en varios intervalos unidos en puntos llamados nodos (“knots”) donde cada uno se corresponde con diferentes polinomios (Guo y White, 2005). Estos modelos más flexibles permiten ajustar mejor la variación en las observaciones y por tanto describir mejor la curva en función de los datos observados de producción de leche. La ventaja de los modelos splines es la flexibilidad para adaptarse a las fluctuaciones individuales, pero tienen como desventaja que cuando

faltan datos la forma de la curva puede variar significativamente, especialmente al inicio y al final (Macciotta *et al.*, 2010). Las funciones con mayor número de parámetros presentan mejores ajustes que las funciones de 3-4 parámetros (Steri *et al.*, 2012).

1.4.1. Producción de leche en ganado de carne

La forma estándar de la curva de producción de leche en los mamíferos, aumenta a tasa crecientes al aumentar los requerimientos del recién nacido hasta alcanzar el pico de producción en donde la madre no puede satisfacer los requerimientos de nutrientes de su cría. Por lo que a partir de este momento se produce una progresiva sustitución de leche por sólidos (Lee *et al.*, 1991), disminuyendo la producción de leche por parte de la madre.

En bovinos para carne está reportado que el pico de lactancia ocurre alrededor de los 60 días de lactancia (8,5 semanas) según una revisión de varios trabajos realizada por el NRC (1996). En dicha revisión están incluidos trabajos con una gran variedad de razas puras y cruza, diferentes producciones de leche y métodos de estimación de la misma. Para una lactancia de 210 días y picos de producción de 5; 8; 11 y 14 kg/día se estimó un total de 701, 1122, 1153 y 1963 litros de leche, respectivamente (NRC, 1996).

La producción de leche, así como la forma de la curva estimada para vacas de razas carniceras, es variable según los sistemas de producción, método y frecuencia de estimación empleados. Totusek *et al.* (1973) describieron una curva de producción de leche similar a la reportada para vacas lecheras donde el pico de producción se registró a las 7 semanas de lactancia, con una producción promedio en la lactancia de 5,8 kg/día. Asimismo Peterson *et al.* (2010) reportaron una producción promedio de 5,8 kg en vaquillonas Angus (2 años) pero el pico de producción se produjo a las 9 semanas. Rodrigues *et al.* (2014), en Rio Grande del Sur, reportaron una producción de leche promedio para toda la lactancia de 4,1 kg /d para Angus y Hereford*Angus. Los picos de producción fueron a los 61 y 64 días de lactancia con una producción de 6,6 y 6,1 kg/d para Angus y Hereford*Angus, respectivamente. En Estados Unidos,

Jenkins y Ferrell (1992) reportaron producciones de 9,4 kg/d para Angus y 8,5 kg/d en Hereford en el pico de producción a los 73 y 62 días postparto, respectivamente. Las producciones totales en 210 días reportadas por estos autores fueron de 1423 y 1191 kg para Angus y Hereford, respectivamente. Por su parte Melton *et al.* (1967) describen una producción de leche promedio para toda la lactancia de 3,79 y 3,32 kg leche/día para Angus y Hereford, respectivamente (664 y 581 kg totales en 175 días de lactancia).

La curva de lactancia descrita por Gleddie y Berg (1968) para vaquillonas Hereford y vacas Hereford, Angus, Charolais x Angus fue siempre descendiente, con niveles de producción promedio de 3,7 a 8,4 kg/día. Por otro lado, Albertini *et al.* (2012) en Mato Grosso del Sur, también describieron una curva decreciente desde el día 40 posparto (primer día de medición en su experimento) hasta el fin de la lactancia. En este caso al empezar las estimaciones luego del día 40 posparto el pico de producción puede haber ocurrido antes y no se vio reflejado en la curva descrita.

Hohenboken *et al.* (1992) utilizaron el modelo de Wood para estimar la producción de leche en vacas Angus puras y Angus x Holstein, con partos en otoño. Estimaron el pico a los 31 días de lactancia con una producción de 8,4 kg y una producción total de 1442 kg (220 días de lactancia). Sawyer *et al.* (1994) aplicando también el modelo de Wood, en vacas primíparas Angus, reportaron picos de producción de leche de 4,0 kg a los 65 días de lactancia y una producción total de leche en 220 días de 658 kg.

López-Valiente *et al.* (2016) en Argentina, en condiciones pastoriles reportaron el pico de producción a los 98 días de lactancia con una producción de 6,5 kg/día y una producción promedio en la lactancia de 5,5 kg/día. Cabe destacar que en este experimento, el momento del pico de producción fue estimado en base a una regresión, es posible que esta sea la razón de las diferencias en los días al pico con el resto de los trabajos reportados anteriormente. En Uruguay, Espasandin *et al.* (2016) estimaron que el pico de producción en vacas primíparas Hereford, Angus y sus cruza se produjo a los 34 días posparto con una producción máxima de 5,2 kg/día.

1.5. HIPOTESIS Y OBJETIVOS

La base de datos de producción de leche construida con el método de ordeño y frecuencia propuestos permite estimar los parámetros que caracterizan la curva de lactancia en vacas de carne en condiciones pastoriles de Uruguay.

Para ello se planteó el objetivo general de caracterizar la curva de producción de leche en vacas de carne en condiciones pastoriles de Uruguay.

Los objetivos específicos fueron:

- Construir y consolidar la base de datos para estimar la curva de producción de leche en ganado de carne en condiciones pastoriles de Uruguay.
- Evaluar diferentes curvas que describan la evolución de la producción de leche en ganado de carne en condiciones pastoriles de Uruguay.
- Determinar los factores que mejor explican la producción de leche y su distribución a lo largo de la lactancia.

1.6. BASE DE DATOS

Para la construcción y consolidación de la base de datos se tuvieron en cuenta los resultados de 22 experimentos que contaban con registros de producción de leche individual obtenidos con el mismo protocolo de ordeño mecánico directo previa inyección de oxitocina.

Se analizaron 636 lactancias de vacas cruce (Razas Británicas) y Angus puras, con diferentes épocas de parto. En partos de otoño (n= 90) se cuenta con datos de vacas primíparas y en primavera hay información de vacas primíparas (n= 191) y múltiparas (de 4 a 10 años de edad; n= 355). En los experimentos fueron aplicados diversos tratamientos nutricionales (campo natural, mejoramientos o suplementación) y/o de control de amamantamiento durante 14 días (destete temporario con tablilla nasal o a corral). En cada experimento se cuenta con un grupo de vacas que no fueron sometidas a ningún tipo de tratamiento.

La información fue recopilada en una planilla que contiene variables descriptivas del experimento, información de la vaca, del parto y del ternero, así

como también producción de leche, componentes de calidad de la misma, CC y PV a lo largo de la lactancia.

Se numeró cronológicamente todos los experimentos (1 a 22), se indicó el año de inicio del experimento (2006 a 2015) y época de parto (otoño o primavera). En función del manejo que tuvieron los animales durante los experimentos se asignaron a los siguientes grupos: Control, Suplementación (Sup.), Asignación de Forraje (AF) y Destete temporario (DT); Anexo 6.1.

Dentro del grupo control se encuentran todas las vacas manejadas sobre campo natural con una asignación de forraje (AF) promedio de 8 a 10 kg MS/ 100 kg PV y que no fueron sometidas a ningún tipo de tratamiento. En el grupo Sup. están todas las vacas que fueron suplementadas preparto, dentro del tercer grupo, AF, se incluyeron las vacas que tuvieron diferentes AF antes y después del parto. Por último en el grupo DT se encuentran las vacas que tuvieron algún tipo de control del amamantamiento, ya sea con tablilla nasal o con separación del ternero.

1.6.1. Información de la vaca y el parto

En esta sección se describe el número de identificación de la vaca (RP), la paridad (primípara, múltipara) y la composición racial (Hereford, Angus y sus respectivas cruzas). En base a esta última se calculó la proporción de Angus que tenía cada vaca y se elaboró una escala de 0 a 1, siendo 0 las vacas 100% raza Hereford y 1 las 100% Angus.

Las vacas de primera cría al momento del parto tenían 2,5 años en los partos de otoño y 3 años en los de primavera. En las vacas múltiparas cada clase corresponde a un año, excepto en la clase correspondiente a 7 años donde incluyeron las vacas de 7 y más años de edad.

El PV y la CC fueron registrados al parto y luego cada 30 días hasta el destete definitivo (180 días postparto en promedio). Para la CC se utilizó una escala visual de 1 a 8 unidades (Vizcarra *et al.*, 1986). Con el fin de facilitar el análisis posterior de los datos se dividió la CC al parto en 3 clases, en la clase 3 se encuentran las vacas que al parto presentaron una $CC \leq 3.5$ unidades. La clase 4 comprende las

vacas con CC al parto ≥ 3.5 y ≤ 5 y por último en la clase de 5 se encuentran las vacas de CC al parto ≥ 5 unidades.

1.6.2. Información del ternero

Se describe el número de identificación (RP), sexo y composición racial del ternero (utilizando el mismo criterio descripto para las vacas), identificación de la madre y raza del padre. También se especifican la fecha de nacimiento, PV al nacer, fecha y PV al destete definitivo. En los experimentos en los que se realizó destete temporario (DT) se describe la fecha de inicio y finalización del mismo así como el método de destete (destete temporario a corral o con tablilla nasal durante 14 días). Además se cuenta con información del PV de los terneros cada 30 días hasta su destete definitivo (180 días promedio).

1.6.3. Fecha de ordeño y producción de leche

El ordeño de las vacas comenzó en diferentes momentos de la lactancia de acuerdo al diseño particular de cada experimento. En todos los años se realizaron ordeños mensuales hasta el final de la lactancia, en algunos años se empezó el ordeño a los 15 días postparto. En promedio el número de muestreos por lactancia fue de 6 con un mínimo de 5 y un máximo de 10. Para cada una de las vacas y en cada uno de los experimentos se registró la fecha de ordeño y la producción de leche en 24 horas.

En 7 experimentos de primavera y 3 de otoño se tomaron muestras de leche para realizar análisis de composición (% grasa, proteína y lactosa), durante toda la lactancia en cada fecha de ordeño. Se cuenta con 290 animales con datos de calidad de leche, 80 y 210 vacas en otoño y primavera, respectivamente.

Se detalla para cada ordeño las horas de separación entre el vaciado y el ordeño (8 o 12 horas promedio).

1.6.4. Descripción del protocolo de ordeño

La extracción de leche se llevó a cabo mediante el método de vaciado y ordeño mecánico previa inyección de oxitocina (10 – 20 UI). El mismo consiste en separar a las madres de sus terneros y realizar un primer ordeño (vaciado) y luego de 8 u 12 horas se vuelven a ordeñar las vacas. En cada uno de los ordeños se pesó la producción de cada una de las vacas para luego calcular la producción individual en 24 horas. En todos los ordeños 2-3 minutos antes del mismo se inyecta oxitocina para facilitar la bajada de la leche. Se utilizó una máquina de ordeño portátil de un solo órgano (Ruakura). Los terneros permanecieron separados de sus madres entre el vaciado y el ordeño para evitar que mamen.

1.7. ESTRUCTURA DEL TRABAJO DE TESIS

Como parte del proceso de consolidación de la base de datos antes descrita y con el objetivo de caracterizar la curva de producción de leche se realizaron diferentes trabajos publicados en diversos congresos y jornadas (Anexo 6.2 a 6.6). Dichos trabajos contribuyeron en el ajuste de los modelos. Se presentan en los capítulos 2 y 3 de las tesis dos artículos en donde se analizaron solamente los datos de las vacas control.

El primer artículo (capítulo 2) **“Comparison of three methods to estimate milk production parameters in multiparous beef cows on rangelands”** será enviado a la revista “Applied Animal Scientist” y el segundo (capítulo 3) **“Contrasting body conditions score at calving on milk production, calves growth and reproduction of grazing beef cows”** a “Livestock Science”. El último capítulo corresponde a la discusión general de los temas tratados en ambos artículos y conclusiones globales del tema en estudio.

2. COMPARISON OF THREE METHODS TO ESTIMATE MILK PRODUCTION PARAMETERS IN MULTIPAROUS BEEF COWS ON RANGELANDS.

M. Iewdiukow^{A,B,C}, O.M. Lema^A, J.I. Velazco^A, G. Quintans^A

^A Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Ruta 8, km 281, 33000 Treinta y Tres, Uruguay.

^B Facultad de Agronomía, UDELAR, Avenida Garzón 780, Montevideo, Uruguay.

^C Corresponding author. Email: mariaiewg@gmail.com

2.1. ABSTRACT

The aim of this study was to characterize the lactation curve applying three different models in multiparous beef cows under grazing conditions. Milk production data from ninety-nine British crossbred multiparous cows managed on native pastures was analyzed. Lactation was assessed between 15 days postpartum and then monthly until weaning (180 days postpartum) using a milking machine after an oxytocin injection. Total milk production and lactation curve were characterized using Wood (WD) and Wilmink (WIL) models and both compared with Spline functions. The comparison was made applying adjusted coefficient of determination (R^2_{adj}) and mean square error (MSE). The shape of the curves was compared applying a 95% confidence interval (95% CI) constructed for each day of lactation. Within all spline functions tested, cubic splines with five equally spaced knots (CS5) presented the best adjustment (lowest AIC and BIC). The R^2_{adj} values were 0.55, 0.54 and 0.53 (the higher the better) and MSE values were 2.54, 2.59 and 2.47 (the lower the better) for WD, WIL and CS5, respectively. Estimated milk production for the lactation period was 1277, 1255 and 1195 kg for WD, WIL and CS5, respectively. Milk peak was predicted to happen at 32, 25 and 36 days postpartum with a production of 8.74, 8.21 and 8.40 kg for WD WIL and CS5, respectively. No differences were evident in the lactation curves characteristics (95% CI). Wood and

Wilmink models presented an accurate fit of the milk production curve based on analyzed data and that was confirmed by the splines.

Key words beef cattle, functions, lactation models, parametric models, rangeland.

2.2. INTRODUCTION

Livestock production systems are characterized by a high dependence on climatic conditions. Consequently, there is a high variation in forage allowance between and within years since native pastures are the main source of nutrition. They present a marked seasonality with maximum forage production in spring and summer and minimum in winter (Carvalho *et al.*, 2006) which coincides with the final stage of gestation and the onset of calving period.

These extensive systems are highly demanding on energy requirements for maintenance and production (Montaño-Bermudez *et al.*, 1990). The efficiency of cow-calf systems is defined by the ability to transform pasture nutrients into kilograms of weaned calves (Jenkins and Ferrell, 1992). Moreover, milk production is the main source of nutrients for calves and it is highly correlated with calves weaning weight (Totusek *et al.*, 1973); thus it is important to better understand the milk production pattern among the lactation period in this conditions.

Many models have been proposed to characterize milk production and lactation curve in dairy cattle, such as the model proposed by Wood (1967) or by Wilmink (1987). Both have also been used to describe lactation curves in beef cattle (Albertini *et al.*, 2012; Espasandin *et al.*, 2016). These models are characterized by having a low number of parameters and are accessible to use and apply. Wood and Wilmink models are the most used to describe the lactation curve among different production systems, both in dairy and beef cows.

Other functions such as splines are used to estimate milk production, which have the advantage of providing extra flexibility in the shape of fitted lactation curves (White *et al.*, 1999) and improved accuracy when few samples are available (Macciotta *et al.*, 2005). Assessing daily milk production in beef cows is difficult but

six samples per lactation were enough to obtain high determination coefficient using milking machine method (Albertini *et al.*, 2012).

The aim of the present study was to characterize the lactation curve of multiparous beef cows under grazing conditions in Uruguay with splines and the parametric models published by Wood (1967) and Wilmink (1987).

2.3. MATERIALS AND METHODS

2.3.1. Location general description

Data used in the analysis of milk production of beef cows belonged to different experiments carried out at the National Institute of Agricultural Research (33° 26' 9363" S, 54° 49' 4932" W) Uruguay, between 2006 and 2016.

Pastures available for cows along the 7 years, 80-85% of the species were perennial summer grasses, being *Paspalum notatum* and *Axonopus affinis* the most important (Ayala *et al.*, 1993). The average annual production was estimated at 3425 kg DM / hectare, with a digestibility of organic matter of 53, 56.5 and 57.5% and a crude protein percentage of 11, 9 and 8 for winter, spring and summer, respectively (Bermúdez and Ayala, 2005). Average annual rainfall and temperature in the area were 1350±233 mm and 17±0.72°C, respectively.

2.3.2. Database

Ninety-nine British crossbred multiparous (4 to 10 years old) cows over 7 years were analyzed. Cow breed was described as a proportion of Angus (i.e. 0, 0.25, 0.5, 0.75). Cows calved in spring (from mid-September to end-October) and they were managed on native pastures with similar forage allowance (8-10 kg dry matter per kg live weight); no treatments were applied to the animals.

Cows were weighed at calving and monthly until weaning (180 days postpartum; autumn) and their body condition score by visual appreciation (BCS) was recorded at the same time on a 1 to 8 scale (1 = thin, 8 = fat) as reported by

Vizcarra *et al.* (1986). Calves were weighed at birth and monthly until weaning. Table 1 shows the estimated mean of cow's body live weight (BLW) and BCS by different periods: parturition (Day 0), 1 to 60, 61 to 120 and 121 to 180 days postpartum. Calves birth and weaning BLW was on average 36.3 ± 0.22 and 180.5 ± 2.58 kg, respectively (Mean \pm Std Error).

Milk production was assessed between 15 - 30 days postpartum and monthly until weaning (i.e. Day 30, 60, 90, 120, 150, and 180). Milk production was estimated using a milking machine after an oxytocin injection; the protocol used was proposed by Quintans *et al.* (2010). Briefly, cows were separated from calves and each cow was injected intramuscularly with 10-20 IU of oxytocin (Hipofamina, Laboratorio Dispert SA, Uruguay) to facilitate milk letdown. Cows were milked approximately 2 minutes after the injection. At least 8 hours later cows were milked again using the same protocol. Calves remained separated from cows in another paddock during these hours. A milking machine (Ruakura) was used in each milking and it was removed after milk flow had ceased; milk was weighed and recorded to calculate 24 h milk production.

Table 1. Average body live weight (BLW, kg) and body condition score (BCS) of multiparous cows (Mean \pm Std Error) by postpartum period

	Postpartum days			
	0	1-60	61-120	121- 180
Cow BLW	419 ± 1.8	441 ± 3.6	447 ± 3.1	449 ± 3.2
Cow BCS	4.06 ± 0.02	4.07 ± 0.05	4.2 ± 0.04	4.2 ± 0.04

2.3.3. Statistical analysis

An analysis of variance was performed in order to determine the fixed effects to be included in the model. As a result, year of the experiment, cow breed proportion and sex of calves were included as fixed effects. Cow effect was included as a random effect and BCS at calving as a covariate.

The average lactation curve was estimated accounting for individual data from the fortnightly and monthly samplings. Lactation curve was first characterized using lineal, quadratic and cubic splines with different number of knots (2 to 6).

These functions were adjusted using the PROC GLIMMIX procedure of SAS (version 9.4 SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) and the goodness of fit used to compare the adjustment of those functions was the Akaike Information Criterion (AIC) and de Bayesian Information Criterion (BIC). The function with the smallest AIC and BIC was the one selected to characterize the milk lactation curve.

In addition, the lactation curve was modelled with 2 widely used models published by Wood (1967, WD) and Wilmink (1987, WIL). The same fixed and random effects were used in this analysis. The WD (1) and WIL (2) models are described as:

$$y = a t^b \exp(-c*t) \quad (1)$$

$$y = a + b \exp(-0.05*t) + ct \quad (2)$$

where y is daily milk production (kg), t is day of lactation and a , b and c are parameters that define milk production at the beginning of lactation, rate of increase to the lactation peak and rate of decline after peak, respectively. The value of the exponent $-0.05*t$ of WIL equation determines the occurrence of milk peak day. WD and WIL models were adjusted using the PROC NLMIXED procedure of SAS (version 9.4 SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

Wood, Wilmink models and splines functions were compared using the adjusted coefficient of determination (R^2_{adj}) and the mean square error (MSE). The most suitable should be the one with the highest R^2_{adj} and the lowest MSE. Additionally, a 95% confidence interval was constructed for each day of lactation in order to compare the estimated daily production for each of the curves.

2.4. RESULTS AND DISCUSSION

Lactation curve was characterized using linear, quadratic and cubic splines with different number of knots (2 to 6). The spline function that presented the lowest value of AIC and BIC was the selected one to characterize the lactation curve of the multiparous cows, and it was compared with Wood and Wilmink models. The cubic spline with five equally spaced knots (CS5) was selected because of the lowest value of AIC and BIC (data not presented). Thus, the linear and quadratic splines were not analyzed in this study. Procedures used to assess the non-linear models (Wood and Wilmink) are based on the maximum likelihood method while the spline functions (estimated by generalized mixed models) base their estimates on the restricted maximum likelihood method. Thus, models and spline functions were compared using the adjusted coefficient of determination (R^2_{adj}) and the mean square error (MSE) instead of the models' comparison criteria most frequently used (AIC and BIC).

Wood model had the highest R^2_{adj} compared to cubic splines and Wilmink but CS5 had the smallest MSE (better adjustment) respect to WD and WIL (Table 2). The three applied functions to characterize the lactation curve of multiparous beef cows presented good adjustment (R^2_{adj} and MSE). Cubic splines with five equally spaced knots had the best adjustment between all tested splines models (smaller AIC and BIC). Wood and Wilmink parametric models described the expected shape as well as the splines, which are flexible and highly determined by the data structure. The described curve presents a typical lactation curve's shape with an ascending phase to a maximum peak decreasing steadily thereafter (Garcia and Holmes, 2001; Chilibroste *et al.*, 2002; Macciotta *et al.*, 2011). No significant differences in total milk production nor in the shape of the curve were evident when Wood, Wilmink and cubic splines were compared applying the 95% confidence interval. A slight numerical difference of 7 to 5% of the total milk production was detected (Table 3) and that could be explained by the splines advantage of fitting better the individual variation. Total milk production was estimated as the area under the curve, thus when

using flexible functions (splines) the shape of the curve better adapts to the observed data.

Table 2. Adjusted multiple coefficient of determination (R^2_{adj}) and mean square error (MSE) of the three estimated methods

Method	R^2_{adj}	MSE
Cubic spline with 5 knots	0.53	2.47
Wood model	0.55	2.54
Wilmink model	0.54	2.59

Table 3. Estimated production variables for the Cubic splines with 5 knots (CS5) function, Wood and Wilmink models in 180 days of lactation

	CS5	Wood	Wilmink
Total milk production (l)	1195	1277	1255
Mean production (l/d)	6.64	7.09	6.97
Milk peak day (d)	36	32	25
Milk at peak day (l)	8.40	8.74	8.21

The estimated production variables for each model are presented in Table 3. Total milk production estimated by Wood model was 6.8% higher than the estimated by CS5 and 1.8% higher than WIL. Days to milk peak occurs around third, fourth and fifth week for WIL, CS5 and WD models, respectively (Figure 1). There were no differences in estimated milk production at peak day between models ($p > 0.05$), since the milk peak day estimated presented a range from 25 to 36 days. No significant differences were evident between models within the 95% of confidence

interval. Wilmink model showed an earlier peak occurrence compared to the other two evaluated models. The reason of this observation may be based on the parameter k used in this analysis ($k=0.05$) that is usually applied as a constant (Wilmink, 1987).

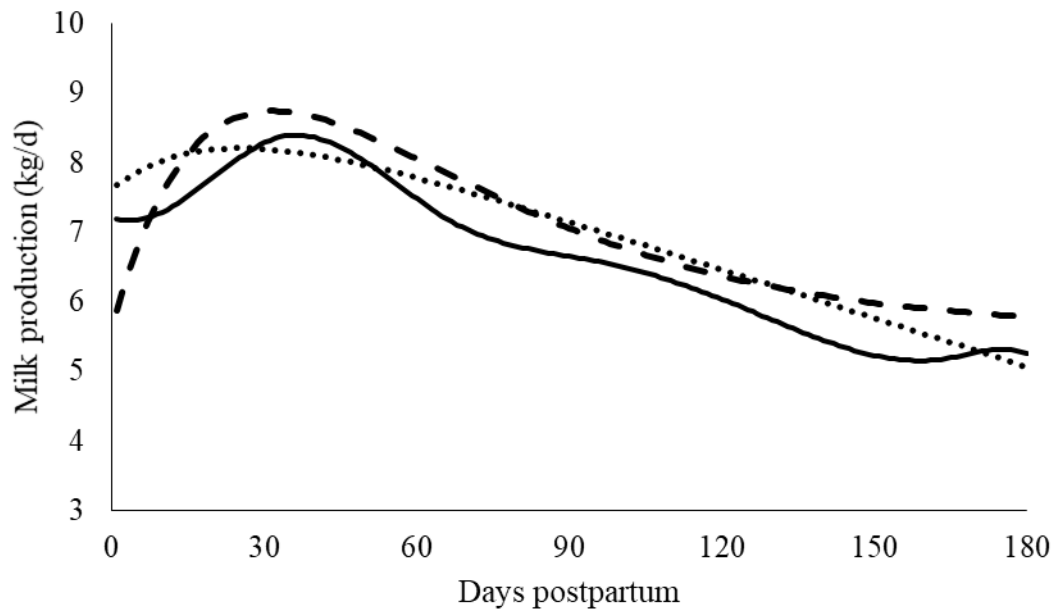


Figure 1. Lactation curve of multiparous cows for the 180 days of lactation estimated with three different methods (Cubic splines with equal 5 knots= entire line; Wood= broken line; Wilmink= dotted line).

All milk production peaks estimated in this study ranged between 3.5 to 5 weeks with a production of 8.2 to 8.7 kg/day, consistent with those reported in the literature. Hohenboken *et al.* (1992) described a milk lactation curve of beef cows with the peak at week 4.4 postpartum with 8.4 kg/day applying Wood model. Working in grazing conditions similar to ours, Espasandin *et al.* (2016) reported a peak production at week 5 postpartum with a lower production respect to the present study (5.2 kg/day vs. 8.7 kg/day). That difference could be explained based on the age of the cows (primiparous vs. multiparous). In fact, it was reported that older cows had 16 to 28% higher milk production than primiparous cows (Rodrigues *et al.*, 2014), and according to Pimentel *et al.* (2006) those differences occur mainly at the

peak where multiparas had higher production respect to primiparous ones. Moreover, López-Valiente *et al.* (2016) working in grazing conditions of Argentina, reported a maximum production at week 14 postpartum with 6.5 kg/day in Angus cows. The difference in the moment of milk peak occurrence might be explained by the estimation method applied by these authors (quadratic regression). Besides, Rodrigues *et al.* (2014) working in Southern Brazilian conditions, described a peak production around the ninth week of lactation with 6.3 and 6.6 kg/day in Angus purebred and Hereford *Angus, respectively.

Several authors applied the Wood model to estimate milk production in different breeds or crossbreeds and conditions; for example Hohenboken *et al.* (1992) working with Angus and Angus*Holstein cows and Maiwashe *et al.* (2013) working with Bonsmara and Nguni cows. Under similar grazing conditions to the present study, Espasandin *et al.* (2016), working with primiparous Hereford, Angus and their crosses, obtaining a good fit of the lactation curve applying the Wood model. Nevertheless, the Wood model has some limitations to accurately predict milk production at the beginning and/or at the end of the lactation curve (Congleton and Everett, 1980; Macciotta *et al.*, 2011). This mainly occurs when few data is available due to the great distance between calving and first test day (Macciotta *et al.*, 2005) or when time between samplings is too long. According to Flores *et al.* (2013) the estimation errors of these models are produced by intervals of 90 to 120 days between samplings. Silvestre *et al.* (2006) also reported that both Wood and Wilmink models were affected by long intervals between samplings.

Parametric models (Wood and Wilmink) are nominated to estimate lactation curves of large and homogeneous groups of animals with high frequency samplings being unable to accurately estimate individual curves (White *et al.*, 1999). Therefore, to estimate small and / or heterogeneous or individual lactation curves, with few observations, flexible functions with variable coefficients such as splines are recommended by Silvestre *et al.* (2006). Splines fit better to particular data sets and according to White *et al.* (1999), could deal with unbalanced data, being able to estimate both genetic and environmental effects. Cubic splines resulted a good compromise between fitting performances, data sensitivity, smoothness and

parameterisation in fitting average lactation curves (Druet *et al.*, 2003; Silvestre *et al.*, 2006). When the objective is to estimate milk production curves in an heterogeneous group of animals and / or under range conditions when intake is unknown, splines are a precise method (White *et al.*, 1999; Druet *et al.*, 2003; Silvestre *et al.*, 2006).

Extensive production systems are highly dependent on climatic conditions with a marked seasonality in forage availability. Furthermore, assessing milk production of beef cows under those conditions can be laborious. The method used to assess milk production (milking machine after oxytocin injection) and the proposed milking frequency (six samplings per lactation on average) allowed to accurately estimate the lactation curve, for all tested methods. Results of the present study suggest that the milking method and frequency applied in the measurement of milk production should be recommended for beef cows under range conditions.

2.5. APPLICATIONS

Estimated lactation curve of multiparous beef cows on rangelands make it possible to estimate nutritional requirements during the lactation, and thus adjust nutritional requirements. Furthermore, this information would allow a better understanding of the effect of different management alternatives within the beef herd such as prepartum nutrition, temporary calf restriction methods, parity and reproductive traits related with milk production. In addition, these results can provide not only information to be incorporated into breeding selection programs, but also data to develop an index of maintenance requirements on rangelands.

2.6. CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflicts of interest.

2.7. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors gratefully acknowledge Ignacio Aguilar, Laura Astigarraga, Oscar Bentancur for the revision and comments of this work.

2.8. LITERATURE CITED

Albertini, T. Z., S. R. Medeiros, R. A. A. Torres Júnior and S. S. Zocchi. 2012. A methodological approach to estimate the lactation curve and net energy and protein requirements of beef cows using nonlinear mixed-effects modeling. *J. Anim. Sci.* 90: 3867–3878. doi:10.2527/jas2010-3540.

Ayala, W., E. Carriquiry, and M. Carámbula. 1993. Caracterización y estrategias de utilización de pasturas naturales en la región Este. Pages 1-28 in *Campo natural: Estrategia invernal. Manejo y suplementación*. INIA Treinta y Tres, Treinta y Tres, Uruguay. (INIA Serie de Actividades de Difusión 49)

Bermúdez, R. and W. Ayala. 2005. Producción de Forraje de un campo natural de la zona de lomadas del Este. Pages 33-39 in *Seminario de Actualización Técnica en Manejo de Campo Natural. Resultados experimentales*. INIA Montevideo, Montevideo, Uruguay). (INIA Serie Técnica 151)

Carvalho, P. D. F., V. Fischer, D. T. Dos Santos, A.M. L. Ribeiro, F. L. F. De Quadros, Z. M. S. Castilhos, C. H. E. C. Poli, A. L. G. Monteiro, C. Nabinger, T. C. M. Genro and A. V. A. Jacques. 2006. Produção animal no bioma campos sulinos. *Brazilian J. Anim. Sci.*, 35: 156-202.

Chilibroste, P., H. Naya and J. I. Urioste. 2002. Evaluación cuantitativa de curvas de lactancia de vacas holando en Uruguay. 3. Implicancias biológicas de las curvas de producción multifásica. *Revista Argentina de Producción Animal* 22(1): 358-359.

Congleton, W. R. J. and R. W. Everett. 1980. Error and Bias in Using the Incomplete Gamma Function to Describe Lactation Curves. *J. Dairy Sci.* 63: 101–108. doi:10.3168/jds.S0022-0302(80)82894-3.

Druet T, Jaffrézic F, Boichard D, Ducrocq V. 2003. Modeling lactation curves and estimation of genetic parameters for first lactation test-day records of french Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 86: 2480-2490

Espasandin, A. C., V. Gutierrez, A. Casal, A. Graña, O. Bentancur and M. Carriquiry. 2016. Modeling Lactation Curve in Primiparous Beef Cattle. *J. Agricultural Sci.* 8(4): 116–125. doi:10.5539/jas.v8n4p116.

Flores, E. B., B. P. Kinghorn and J. Vand der Werf. 2013. Predicting lactation yields in dairy buffaloes by interpolation and multiple trait protein. *Livest. Sci.* 151: 97-107

Garcia, S. C. and C. W. Holmes. 2001. Lactation curves of autumn- and spring-calved cows in pasture-based dairy systems. *Livest. Prod. Sci.* 68: 189-203

Hohenboken, W. D., A. Dudley, and D. E. Moody. 1992. A comparison among equations to characterize lactation curves in beef cows. *Anim. Prod.* 55: 23–28. doi:10.1017/S0003356100037223.

Jenkins T. G. and C. L. Ferrell. 1992. Lactation Characteristics of Nine Breeds of Cattle Fed Various Quantities of Dietary Energy. *J. Anim. Sci.* 70: 1652–1660.

López-Valiente, S., S. Maresca, A. M. Rodríguez, G. Quintans and A. Palladino. 2016. Restricción proteica durante el último tercio de gestación en vacas de cría. 2. Caracterización de la producción y calidad de leche. *Revista Argentina de Producción Animal* 36(Sup.): 214.

Macciotta, N. P. P., D. Vicario, and A. Cappio-Borlino. 2005. Detection of different shapes of lactation curve for milk yield in dairy cattle by empirical mathematical models. *J. Dairy Sci.* 88(3): 1178-1191.

Macciotta, N., S. P. G. Rattu, R. Z. Steri, S. Zootecniche and U. Sassari. 2011. The mathematical description of lactation curves in dairy cattle. *Italian J. Anim. Sci.* 10: 213–223. doi:10.4081/ijas.2011.e51.

Maiwashe, A., N. B. Nengovhela, K. A. Nephawe, J. Sebei and T. Netshilema. 2013. Estimates of lactation curve parameters for Bonsmara and Nguni cattle using the weigh-suckle-weigh technique. *South African J. Anim. Sci.* 43(1): 12-16.

Montaño-Bermudez, M., M. K. Nielsen and G. H. Deutscher. 1990. Energy requirements for maintenance of crossbred beef cattle with different genetic potential for milk. *J. Anim. Sci.* 68: 2279–2288.

Pimentel, M.A., J. C. Ferrugem Moraes, C. M. Jaume, J. Schneider Lemes and C. Cassal Brauner. 2006. Características da lactação de vacas Hereford criadas em um sistema de produção extensivo na região da campanha do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Zootecnia* 35(1): 159-168.

Quintans, G., G. Banchemo, M. Carriquiry, C. López-Mazz and F. Baldi. 2010. Effect of body condition and suckling restriction with and without presence of the calf on cow and calf performance. *Anim. Prod. Sci.* 50: 931–938.

Rodrigues, P.F., L. M. Menezes, R. C. C. Azambuja, R. W. Suñé, I. D. Barbosa Silveira and F. F. Cardoso. 2014. Milk yield and composition from Angus and Angus-cross beef cows raised in southern Brazil. *J. Anim. Sci.* 92: 2668–2676. doi:10.2527/jas2013-7055.

Silvestre, A. M., F. Petim-Batista and J. Colaco. 2006. The accuracy of seven mathematical functions in modeling dairy cattle lactation curves based on test-day records from varying sample schemes. *J. Dairy Sci.* 89: 1813-1821.

Totusek, R., D. W. Arnett, G. L. Holland and J. V. Whiteman. 1973. Relation of estimation method, sampling interval and milk composition to milk yield of beef cows and calf gain. *J. Anim. Sci.* 37: 153–158.

Vizcarra, J. A., W. Ibañez and R. Orcasberro. 1986. Repetibilidad y reproductibilidad de dos escalas para estimar la condición corporal de vacas Hereford. *Investigaciones Agronómicas* 7(1): 45–47.

White, I. M. S., R. Thompson and S. Brotherstone. 1999. Genetic and Environmental Smoothing of Lactation Curves with Cubic Splines. *J. Dairy Sci.* 82: 632-638.

Wilmink, J. B. M. 1987. Adjustment of Test-Day Milk, Fat and Protein Yield for Age, Season and Stage of Lactation. *Livest. Prod Sci.* 16: 335–348.

Wood, P. D. P. 1967. Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature.* 216: 164–165.

3. CONTRASTING BODY CONDITIONS SCORE AT CALVING ON MILK PRODUCTION, CALVES GROWTH AND REPRODUCTION OF GRAZING BEEF COWS

M. Iewdiukow^{A,B,C}, O.M. Lema^A, J.I. Velazco^A, G. Quintans^A

^A Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Ruta 8, km 281, 33000 Treinta y Tres, Uruguay.

^B Facultad de Agronomía, UDELAR, Avenida Garzón 780, Montevideo, Uruguay.

^C Corresponding author. E-mail: mariaiewg@gmail.com

3.1. ABSTRACT

The aim of this study was to estimate the effect of low (≤ 3.5 u; LOW) and high (≥ 5 u; HIGH) body condition score (BCS; scale 1 to 8 u) at calving on milk production of grazing beef cows. Milk production data from ninety-three British crossbred cows managed on native pastures was analyzed. Cows were classified according to their BCS at calving into two groups LOW (n=40) and HIGH (n=53). Calves were weighted at birth and monthly until weaning. Lactation was assessed between 15 days postpartum and then monthly until weaning (180 days postpartum) using a milking machine after an oxytocin injection. Calving to conception interval and pregnancy rate were analyzed by BCS group. Total milk production and lactation curve were characterized using cubic splines and Wood model. Estimated milk production for the lactation period was 823 and 1170 kg for LOW and HIGH, respectively. Milk peak was predicted to happen at 26 and 43 days postpartum with a production of 6.61 and 8.05 kg for LOW and HIGH, respectively. Total milk production was significantly different between groups ($P < 0.05$) except for the last 30 days of lactation. Calves weight at birth and weaning were significantly different between groups ($P < 0.05$). In addition, calving to conception interval (137 and 92 days) and pregnancy rate (32.5 and 87% LOW and HIGH, respectively) were significantly different between groups ($P < 0.05$). Body condition score at calving had

an effect on milk production and this was reflected on calves weaning live weight as well as reproductive variables.

Key words beef cattle, body reserves, milk yield, postpartum interval, rangeland.

3.2. INTRODUCTION

Body condition score (BCS) has been shown to be an accurate estimator of body energy reserves of the animal, is a reliable indicator of cow previous nutrient intake (Short *et al.*, 1990). In addition, it has been reported that it is more appropriate to use the BCS as an indicator of animal nutritional status than body live weight (BLW) since the latter depends on several factors such as size (frame), physiological state and forage amount and quality (Kunkle *et al.*, 1994).

It is important to understand how nutrients are partitioned according to the different body functions, which vary with the physiological state of the cow (lactation, pregnancy, growth, basal metabolism; Short and Adams, 1988). Thus, it is possible to carry out an adequate animal handling according to their needs. Livestock production systems are mostly managed on native pastures, being very dependent on weather conditions. Native pastures are characterized by a marked seasonality, with winter being the season with the least availability of forage (Bermudez and Ayala, 2005) and usually coincides with the last third of gestation of beef cows. In most cases, the consumption of these pastures is not enough to meet the requirements (Freetly *et al.*, 2006), this determines that the cows enter negative energy balance, mobilize body reserves and lose body condition score (Quintans *et al.*, 2010).

A restricted nutrition during the last third of gestation will have consequences on milk production and calves live weight (LeMaster *et al.*, 2017). In addition, numerous research have reported that a restricted energy consumption prior to calving result in a longer postpartum anestrus duration (Houghton *et al.*, 1990; Short *et al.*, 1990; Spitzer *et al.*, 1995), decreasing the efficiency of the system.

For this reason, it is important that cows reach calving with an adequate BCS, as it indicates reserve level to fulfil the requirements of future lactation and return to reproductive activity. Furthermore, BCS at calving not only had an effect on milk

production and reproductive performance of cows, but also affected weaning weight of the calves. The relationship between BCS at calving and reproductive efficiency is widely documented (Lalman *et al.*, 2000; Bohnert *et al.* 2013). However, the information on the correlation between BCS at calving and milk production is scarce in beef cows.

The aim of the present study was to estimate the effect of two contrasting body condition score at calving on milk production and reproductive performance of beef cows grazing native pastures in Uruguay and its relation to calves daily gain.

3.3. MATERIALS AND METHODS

3.3.1. Location general description

Data used in the analysis of milk production of beef cows belonged to different experiments carried out at the National Institute of Agricultural Research (33° 26' 9363" S, 54° 49'4932" W) Uruguay, between 2006 and 2016.

Pastures available for cows along the experimental years were 80-85% perennial summer grasses species (Ayala *et al.*, 1993). The average annual production was estimated at 3425 kg DM / hectare, with a digestibility of organic matter of 53, 56.5 and 57.5% and a crude protein percentage of 11, 9 and 8 for winter, spring and summer, respectively (Bermúdez y Ayala, 2005). Average annual rainfall and temperature in the area were 1350±233 mm and 17±0.72°C, respectively.

3.3.2. Database

Primiparous and multiparous (3 to 10 years old), British crossbred cows (n=93) were selected from a database of 201 cows over 10 years. For the subsequent analysis, cows were classified according their BCS at calving into two groups: LOW ≤ 3.5 (n=40) and HIGH ≥ 5 (n=53). Cow breed was described as a proportion of Angus (i.e. 0, 0.25, 0.5, 0.75). Cows calved in spring (from September to October)

and they were managed on native pastures with similar forage allowance (8-10 kg dry matter per kg live weight); no treatments were applied to the animals.

Cows and calves were weighed at calving and monthly until weaning at 180 days postpartum on average (autumn) and their body condition score by visual appreciation (BCS) was recorded at the same time on a 1 to 8 scale (1 = thin, 8 = fat) as reported by Vizcarra *et al.* (1986). Calves weight was corrected to 90 and to 180 days of age assuming linear growth.

Milk production was assessed between 15 days postpartum and monthly until weaning (i.e. Day 30, 60, 90, 120, 150, and 180). Milk production was estimated using a milking machine after an oxytocin injection; the protocol used was proposed by Quintans *et al.* (2010). Briefly, cows were separated from calves and each cow was injected intramuscularly with 10-20 IU of oxytocin (Hipofamina, Laboratorio Dispert SA, Uruguay) to facilitate milk letdown. Cows were milked approximately 2 minutes after the injection. At least 8 hours later cows were milked again using the same protocol. Calves remained separated from cows in another paddock during these hours. A milking machine (Ruakura) was used in each milking and it was removed after milk flow had ceased; milk was weighed and recorded to calculate 24 h milk production.

3.3.3. Statistical analysis

An analysis of variance was performed in order to determine the fixed effects to be included in the model. As a result, year of the experiment, cow breed proportion and sex of calves were included as fixed effects, meanwhile cow effect was included as a random effect.

The lactation curves were estimated accounting for individual data from the fortnightly and monthly samplings. Lactation curve was characterized using cubic splines with four equaled spaced knots and with the model published by Wood (1967). The spline function was adjusted using the PROC GLIMMIX and the Wood model using PROC NLMIXED procedures of SAS 9.4. They were compared using the adjusted coefficient of determination (R^2_{adj}).

In addition, an analysis of the observed data was grouped by lactation month, and then milk production was analyzed by analysis of variance for both groups of BCS and compared applying Tukey.

Calves daily gains for the 180 days of lactation were calculated by linear regression. Pearson correlations were obtained among observed milk production values and corrected calves weight by period (1 to 90 and 91 to 180 days) for both groups of BCS.

Pregnancy rate and calving-conception interval were analyzed by analysis of variance for both groups of BCS and compared applying Tukey. For the estimation of the calving-conception interval with the total number of cows (pregnant and non-pregnant) it was necessary to assign a penalty value to the non-pregnant cows. Therefore, each non-pregnant cow was added 21 days to the last day of the breeding season (Johnston and Bunter, 1996).

3.4. RESULTS

Lactation curve for LOW and HIGH cows was characterized using cubic splines with four equally spaced knots; production variables estimated by splines for both groups of BCS are presented in Table 1. Total milk production in HIGH was 42% higher than LOW and maximum production was reach at 2.4 weeks after in HIGH than in LOW with 1.4 kg higher at peak day (Figure 1).

Table 1. Milk production variables (kg) estimated with cubic splines with 4 knots for LOW (≤ 3.5) and HIGH (≥ 5 u) body condition score at calving cows.

	LOW	HIGH
Total milk production	823	1170
Milk from day 1 to 90	485	683
Milk from day 91 to 180	338	487
Milk peak day	26	43
Milk at peak day	6.61	8.05
R ² adjusted	0.41	0.46

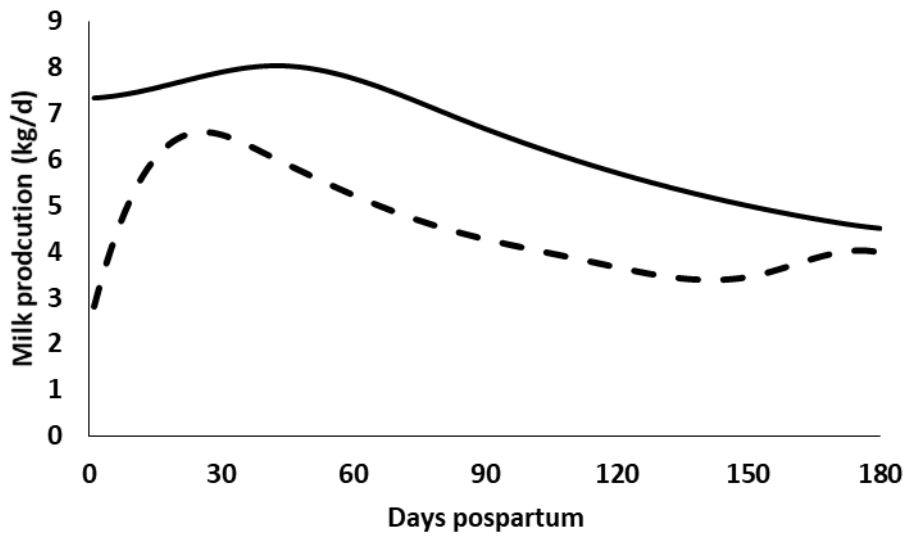


Figure 1. Lactation curve of cows in LOW (≤ 3.5 ; hyphen line) and HIGH (≥ 5 ; entire line) body condition score at calving for the 180 days of lactation estimated with cubic splines with 4 knots.

The analysis of the observed milk production data was significantly different between groups ($P < 0.05$) except for the last 30 days of lactation (Figure 2).

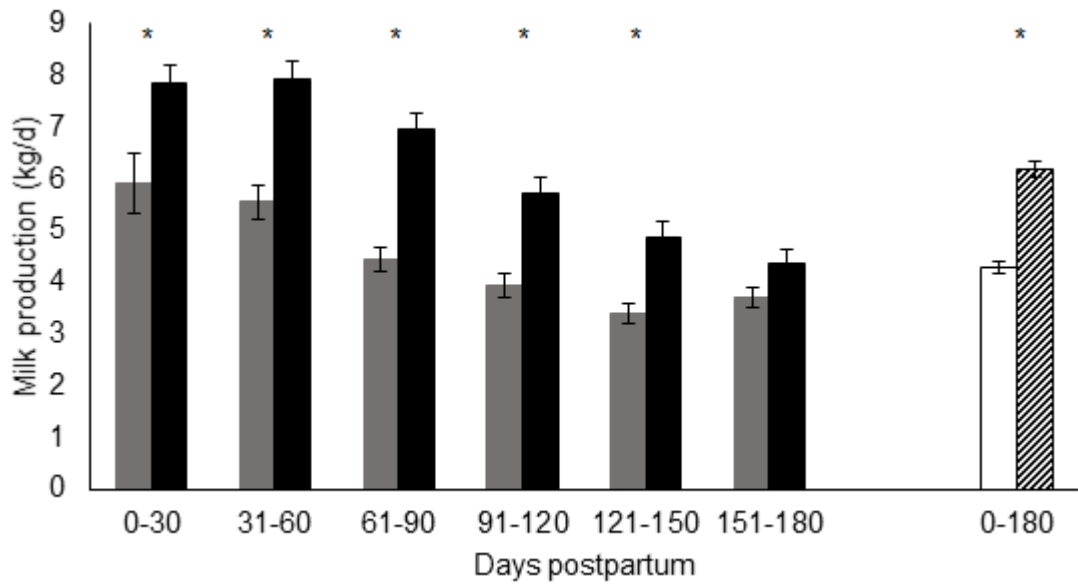


Figure 2. Monthly average milk production of the observed data (\pm Std. Error) and average of the entire lactation period for LOW (≤ 3.5 ; grey) and HIGH (≥ 5 ; black) group of body condition score at calving. *Indicates significant differences ($P < 0.05$).

Table 2. Average observed milk production data (kg), body live weight at Day 0 (birth), 90 and 180 (weaning), calving –conception interval and pregnancy rate estimated for cows in LOW (≤ 3.5) and HIGH (≥ 5 u) body condition score at calving (Mean \pm Std. Error).

	LOW	HIGH
Average observed milk production	4.27 \pm 0.12 ^a	6.19 \pm 0.15 ^b
Weight 0	33.7 \pm 0.7 ^a	37.9 \pm 0.8 ^b
Weight 90	98.1 \pm 2.32 ^a	122.5 \pm 2.0 ^b
Weight 180	155.8 \pm 3.6 ^a	217.0 \pm 4.0 ^b
Calves daily gains (kg)	0.661 \pm 0.02 ^a	0.943 \pm 0.02 ^b
Correlation total milk production and calves BLW	0.69	0.52
Calving – conception interval (d)	137 \pm 25 ^a	92 \pm 26 ^b
Pregnancy rate (%)	32.5 (13/40)	87 (46/53)

a,b Means with different letters within columns differ ($P < 0.05$).

Wood's model is widely used as a standard for the estimation of both lactation curve and milk characteristics as total milk production, peak day, milk at peak production. The total milk production estimated by Wood model was 846 and 1071 kg with a production at peak day of 6.9 and 7.5 kg for the LOW and HIGH group, respectively.

Calves BLW at birth was higher ($P < 0.05$) in HIGH than in LOW (37.9 ± 0.8 vs. 33.7 ± 0.7 kg), and also at weaning calves in HIGH weighed 39% more than in LOW (217 ± 4.0 vs. 155.8 ± 3.6 kg), as presented in Table 2. Calves daily gains for the 180 days of lactation, estimated with simple regressions, was 0.282 kg higher for HIGH compared to LOW calves ($R^2_{adj} = 0.90$ vs. 0.80, respectively).

The correlation between total milk production and calves BLW corrected to 180 days was high for both groups (Table 2). Furthermore, the correlation between the same variables was estimated by postpartum period (1 to 90 and 91 to 180 days). For the first period, the correlations were 0.61 and 0.52 and in the second were estimated in 0.41 and 0.39 for the LOW and HIGH groups, respectively.

Pregnancy rate was higher ($P < 0.05$) in HIGH respect to LOW cows (87 vs. 32.5%). Additionally, the interval between calving and conception was 45 days shorter in HIGH than LOW, respectively. These intervals were estimated from the total number of cows in each group (pregnant and non-pregnant). Two cows were excluded from the analysis of the postpartum interval because they aborted.

The breeding season (60 days duration) began at 62 and 69 days postpartum for HIGH and LOW, respectively. The distribution of pregnancies throughout the breeding season was different between groups; 61 and 25% of the HIGH cows were pregnant in the first and second month of breeding compared to 15 and 17.5% for LOW, respectively. Additionally, non-pregnant cows were 14 and 67.5% for HIGH and LOW, respectively. (Figure 2).

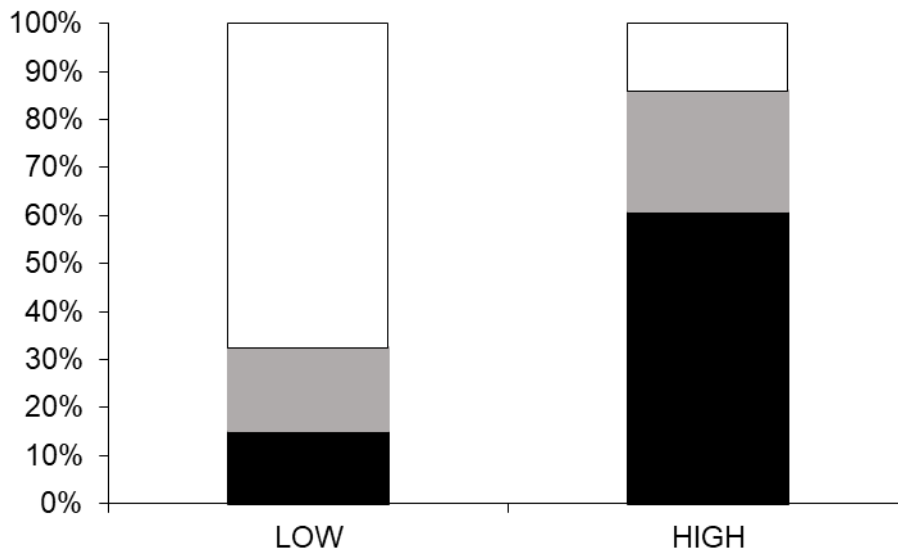


Figure 3. Percentage of pregnant cows in the first (black) or second (grey) month and non pregnant (white) cows at the breeding season, for LOW (≤ 3.5) and HIGH (≥ 5 u) body condition score at calving group.

3.5. DISCUSSION

Under the conditions of this study, cows in HIGH (≥ 5 u) produced 42% more milk in the entire lactation than cows in LOW (≤ 3.5 u), when milk production was estimated using splines. Likewise, the magnitude of that difference was similar (45%) when the observed data was analyzed. In the same way, calves from HIGH were 39% heavier at weaning respect to LOW calves. Cows that achieved calving with a HIGH body condition score had a 45 days shorter calving–conception interval and a higher pregnancy rate (87 vs. 32.5%) compared to LOW cows. When Wood model was applied, total milk production estimated were consistent with those attained by the splines in both groups of BCS.

In the present study, BCS at calving determined differences in average daily milk production as cows in HIGH produced 1.92 kg/day more milk compared to those in LOW. It can be hypothesized that the observed differences were due to previous nutritional management as reported by Quintans *et al.* (2010), or other factors such as parity or residual management effect of previous early weaning.

However, the analysis of the reasons that explain those differences are beyond the scope of this study. Quintans *et al.* (2010) working in the same conditions, reported that cows in high BCS at calving (5 u) produced, on average, 14% more milk than those in low BCS (3.7 u, same scale to ours). Those results concord to ours but the magnitude of the difference was lower. It should be noted that Quintans *et al.* (2010) reported milk production in a particular year and both climatic conditions and pastures availability could have affected the results. Moreover, Astessiano *et al.* (2014) working with primiparous beef cows managed under grazing conditions, reported greater milk production at Day 35 postpartum in cows that calved in moderated (3.9 u) BCS respect to those in low (3.4 u, same scale to ours) BCS (5.87 vs. 4.39 kg/d for moderate and low cows, respectively). Taking into account all these results, including our study (550 daily milk estimates through 10 years), we can state with certainty that on rangeland body condition score at calving affects milk production in beef cows.

Cows in HIGH produced 1.4 kg more milk at peak compared to those in LOW and occurred 17 days earlier in the LOW group. Cows in HIGH had higher body reserves than LOW given by better prepartum nutrition, which allowed them to mobilize more body reserves and partition nutrients them into milk production (NRC 2000; Short *et al.*, 1990). In dairy, underfed fat cows can maintain milk production levels due to high body reserves mobilization while thin cows still mobilize body reserves not in a sufficient way to maintain milk yield (Chilliard *et al.*, 1992). In addition, is well documented that postpartum energy intake has a direct effect on milk production. In beef, Jenkins and Ferrell (1992) reported that energy intake has a linear response in milk production and they observed a delay in the day of peak production in well-fed cows. In addition, Quintans *et al.* (2012) reported greater milk production when primiparous cows were supplemented (with grains or improved pastures) during the postpartum period, respect to those grazing only native pastures. Recently, Cortés-Lacruz *et al.* (2017) reported that both body condition score and energy intake during lactation affects milk production and they suggested that postpartum energy intake had greater impact.

According to the results of the present work, it is possible to state that body condition score at calving had effect on calves' birth weight, daily gains and weaning weight. In fact, birth weight was significantly higher (12%) in HIGH calves compared to LOW, and this difference was increased at weaning (39%). In agreement with our results, Houghton *et al.* (1990) found that cows which received a low energy diet before calving (70% of maintenance) and were managed to attain a BCS of 2 (scale 1 to 5) at calving had lighter calves at birth compared to those cows fed full maintenance prepartum diet managed to reach calving with a BCS of 3. Moreover, Spitzer *et al.* (1995) reported higher birth weights of calves as BCS at calving increased from 4 to 6 units (1 to 9 scale) in primiparous cows. Conversely, Quintans *et al.* (2010) in the same conditions to ours reported that calves from low (3.5) and high (5) BCS cows had similar weight at birth and at 14 days of age, but from day 42 calves from high BCS cows were heavier than low calves. These weight differences of the calves could be due to the occurrence of milk production peak (close to day 42 of lactation) of multiparous cows; in that work milk production was not estimated until day 65 postpartum.

Calves daily gains and weaning weight are directly related to milk production (Gleddie and Berg, 1968; Totusek *et al.*, 1973) and therefore indirectly related to nutritional status of the dam. Correlation between milk production and calves daily gains and weaning weight is well documented. The correlation between total milk production and calves live weight of the present study was high (0.69 and 0.52 for LOW and HIGH, respectively) and similar to those reported by several authors in beef cattle (Gleddie and Berg, 1968; Totusek *et al.*, 1973; Grings *et al.*, 2008; Rodrigues *et al.*, 2014), between 0.5 and 0.8. Gleddie and Berg (1968) reported that calf milk consumption estimated in the first month of age was 1.2 kg/day less than the average estimated milk production for the dam in the same month. These authors reported a correlation of 0.58 between the two variables. The difference in the correlations between HIGH and LOW cows could be explained by calf's capacity of milk consumption respect to mother's production, and it can be speculated that milk production of cows in HIGH exceeded the capacity of intake of the calf.

Correlations between total milk production and calves BLW were higher in the first half of lactation compared to the second in both groups (0.61 and 0.41 for LOW and 0.52 and 0.39 for HIGH, first and second half of lactation, respectively). This would be explained by milk being the main source of nutrients during the first months of calves' life and as calves grow, other sources of nutrients as pastures become more important to explain daily gain weight.

Milk conversion efficiency into kg of calves live weight, measured as kg of milk needed to gain 1 kg of BLW, was similar for calves of HIGH and LOW (6.5 vs. 6.7 kg / kg, respectively). When lactation was divided into halves, 8.1 and 7.5 kg of milk per kg of weight gain were necessary in the first half of lactation, while in the second half 5.1 and 5.6 kg / kg were needed for HIGH and LOW, respectively. This would evidence that weight differences are given by dam's milk production and those differences were explained mostly by production in the first 90 days.

It is well documented that pregnancy rate is affected by the duration of postpartum anestrous (PPA). The main factors affecting this period in beef cattle are the nutritional status and suckling (Short and Adams, 1988; Randel, 1990). Calf presence can negatively affect the PPA determined by nursing frequency and intensity (Williams *et al.*, 1990). Additionally, larger calves would consume more milk, increasing metabolic demands on the dam and resulting in longer postpartum intervals (Short *et al.*, 1990). Our results show that cows with greater body condition score weans heavier calves and their interval from calving to conception was lower. According to this, it could be said that body reserves in HIGH were sufficient to satisfy both milk production for calves demands (reflected in higher weaning weights) and to reinitiate reproductive activity.

Body conditions score at calving influenced both calving-conception interval and pregnancy rate. Cows in HIGH presented a shorter calving - conception interval compared to cows in LOW group. According to Soca *et al.* (2013) body condition score was the most important factor affecting the postpartum anestrous length in primiparous cows. In fact, these authors reported that each unit of increase in BCS at calving determined 41 days decrease in postpartum anestrus. Renquist *et al.* (2006) observed that the response of calving interval to BCS at calving was cubic with a

marked decrease in calving interval linked to an increase in BCS from 3.5 to 4.5.

Lalman *et al.* (2000) studying BCS, milk production and reproductive variables in beef, reported that a restrictive nutrition prepartum associated to a high milk production in early lactation had a deleterious effect on the postpartum interval length. They hypothesized that prepartum nutrition restriction and high potential milk production are additive effects delaying the postpartum anestrous interval. In our study cows in LOW BCS at calving presented lower milk production and pregnancy rates respect to those in HIGH. These results are in line with those of Lake *et al.* (2005) who reported that cows in low and high BCS at calving (4 and 6u) presented 64 and 89% of pregnancy rate, respectively, but the cows maintained a high milk production level (≥ 8.5 k/d), suggesting that they prioritized rearing of calves in detriment of reproductive performance. In the present study body condition score at calving had an effect on milk production and it was reflected in both calves weaning weight and pregnancy rate. These results have important practical applications for cow-calf management. It is important to manage cows to allow them to calve with an adequate BCS and consequently sustain an acceptable milk production, wean healthy calves and re initiate reproductive activity early in the following service period. This would contribute to sustainable beef production systems under pastoral extensive conditions.

3.6. CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflicts of interest.

3.7. REFERENCES

Astessiano, A.L., Pérez-Clariget, R., Quintans, G., Soca, P., Meikle, A., Crooker, B.A., Carriquiry, M., 2014. Metabolic and endocrine profiles and hepatic gene expression in periparturient, grazing primiparous beef cows with different body reserves. *Livest. Sci.* 170, 63–71. doi:10.1016/j.livsci.2014.10.008

- Ayala, W., E. Carriquiry, and M. Carámbula. 1993. Caracterización y estrategias de utilización de pasturas naturales en la región Este. Pages 1-28 in Campo natural: Estrategia invernal. Manejo y suplementación. INIA Treinta y Tres, Treinta y Tres, Uruguay. (INIA Serie de Actividades de Difusión 49)
- Bermúdez, R. and W. Ayala. 2005. Producción de Forraje de un campo natural de la zona de lomadas del Este. Pages 33-39 in Seminario de Actualización Técnica en Manejo de Campo Natural. Resultados experimentales. INIA Montevideo, Montevideo, Uruguay). (INIA Serie Técnica 151)
- Bohnert, D.W., Stalker, L.A., Mills, R.R., Nyman, A., Falck, S.J., Cooke, R.F., 2013. Late gestation supplementation of beef cows differing in body condition score: Effects on cow and calf performance. *J. Anim. Sci.* 91, 5485–5491. doi:10.2527/jas.2013-6301
- Chilliard, Y., 1992. Physiological constraints to milk production: factors which determine nutrient partitioning, lactation persistency and mobilization of body reserves. *World Rev. Anim. Prod.*, 27, 19-26.
- Cortés-Lacruz, X., Casasús, I., Revilla, R., Sanz, A., Blanco, M., Villalba, D. 2017. The milk yield of dams and its relation to direct and maternal genetic components of weaning weight in beef cattle. *Livest. Sci.*, 202, 143-149.
- Freetly, H.C., Nienaber, J.A., Brown-Brandl, T., 2006. Partitioning of energy during lactation of primiparous beef cows. *J. Anim. Sci.* 84, 2157–2162. doi:10.2527/jas.2005-534
- Gleddie, V.M., Berg, R.T., 1968. Milk production in range beef cows and its relationship to calf gains. *Can. J. Anim. Sci.* 48, 323–333.
- 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. *J. Anim. Sci.* 86, 768–779. doi:10.2527/jas.2007-0389

- Houghton, P.L., Lemenager, R.P., Horstman, L.A., Hendrix, K.S., Moss, G.E., 1990. Effects of body composition, pre- and postpartum energy level and early weaning on reproductive performance of beef cows and preweaning calf gain. *J. Anim. Sci.* 68, 1438–1446. doi:10.2527/1990.6851438x
- Jenkins, T.G., Ferrell, C.L., 1992. Lactation characteristics of nine breeds of cattle fed various quantities of dietary energy. *J. Anim. Sci.* 70, 1652–1660. doi:10.2527/1992.7061652x
- Johnston, D. J., Bunter, K. L. 1996. Days to calving in Angus cattle: genetic and environmental effects, and covariances with other traits. *Livest. Prod. Sci.*, 45(1), 13-22.
- Kunkle, W.E., Sand, R.S., Rae, D.O., 1994. Effect of body condition on productivity in beef cattle, in: Fields, M.J., Sand, R.S. (Eds.), *Factors affecting calf crop*. CRC Press, Boca Raton, pp. 167-178.
- Lalman, D.L., Williams, J.E., Hess, B.W., Thomas, M.G., Keisler, D.H., 2000. Effect of dietary energy on milk production and metabolic hormones in thin, primiparous beef heifers. *J. Anim. Sci.* 78, 530–538.
- Lake, S. L., Scholljegerdes, E. J., Atkinson, R. L., Nayigihugu, V., Paisley, S. I., Rule, D. C., Moss, G. E., Robinson, T. J., Hess, B. W. 2005. Body condition score at parturition and postpartum supplemental fat effects on cow and calf performance. *J. Anim. Sci.*, 83(12), 2908-2917.
- LeMaster, C.T., Taylor, R.K., Ricks, R.E., Long, N.M., 2017. The effects of late gestation maternal nutrient restriction with or without protein supplementation on endocrine regulation of newborn and postnatal beef calves. *Theriogenology* 87, 64–71. doi:10.1016/j.theriogenology.2016.08.004
- NRC (National Research Council). 1996. *Nutrient requirements of beef cattle*. Seventh revised edition, National Academy Press. Washington, D. C.

- Quintans, G., Banchemo, G., Carriquiry, M., Lopez-Mazz, C., Baldi, F., 2010. Effect of body condition and suckling restriction with and without presence of the calf on cow and calf performance. *Anim. Prod. Sci.* 50, 931–938. doi:10.1071/AN10021
- Quintans, G., Velazco, J. I., Scarsi, A., López-Mazz, C., & Banchemo, G. 2012. Effect of nutritional management during the postpartum period of primiparous autumn-calving cows on dam and calf performance under range conditions. *Livestock Science*, 144(1-2), 103-109.
- Randel, R.D. 1990. Nutrition and postpartum rebreeding in cattle. *J. Anim. Sci.*, 68, 853-862.
- Renquist, B.J., Oltjen, J.W., Sainz, R.D., Calvert, C.C., 2006. Relationship between body condition score and production of multiparous beef cows. *Livest. Sci.* 104, 147–155. doi:10.1016/j.livsci.2006.04.004
- Rodrigues, P.F., Menezes, L.M., Azambuja, R.C.C., Suñé, R.W., Barbosa Silveira, I.D., Cardoso, F.F., 2014. Milk yield and composition from Angus and Angus-cross beef cows raised in southern Brazil. *J. Anim. Sci.* 92, 2668–2676. doi:10.2527/jas2013-7055
- Short, R.E., Adams, D.C., 1988. Nutritional and hormonal interrelationships in beef cattle reproduction. *Can. J. Anim. Sci.* 68, 29–39.
- Short, R.E., Bellows, R.A., Staigmiller, R.B., Bernardinelli, J.G., Custer, E.E., 1990. Physiological Mechanisms Controlling Anestrus and Infertility in Postpartum Beef Cattle. *J. Anim. Sci.* 68, 799–816. doi:10.2527/1990.683799x
- Soca, P., Carriquiry, M., Keisler, D. H., Claramunt, M., Do Carmo, M., Olivera-Muzante, J., Rodríguez, M., Meikle, A. 2013. Reproductive and productive response to suckling restriction and dietary flushing in primiparous grazing beef cows. *Anim. Prod. Sci.*, 53(4), 283-291.

- Spitzer, J.C., Morrison, D.G., Wettemann, R.P., Faulkner, L.C., 1995. Reproductive responses and calf birth and weaning weights as affected by body condition at parturition and postpartum weight gain in primiparous beef cows. *J. Anim. Sci.* 73, 1251–1257. doi:10.2527/1995.7351251x
- Totusek, R., Arnett, D.W., Holland, G., Whiteman, J. V, 1973. Relation of estimation method, sampling interval and milk composition to milk yield of beef cows and calf gain. *J. Anim. Sci.* 37, 153–158.
- Vizcarra, J. A., W. Ibañez and R. Orcasberro. 1986. Repetibilidad y reproductibilidad de dos escalas para estimar la condición corporal de vacas Hereford. *Investigaciones Agronómicas* 7(1): 45–47.
- Williams, G. L. 1990. Suckling as a regulator of postpartum rebreeding in cattle: a review. *J. Anim. Sci.* 68(3), 831-852.
- Wood, P.D.P. 1967. Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature*, 216, 164–165.

4. DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES

4.1. DISCUSIÓN GENERAL

El objetivo general de la tesis fue caracterizar la curva de producción de leche en ganado de carne en condiciones pastoriles de Uruguay. La producción así como la calidad de la leche, tienen alta incidencia en las ganancias diarias de peso de los terneros y determina en gran medida el peso al destete (Gleddie y Berg, 1968; Totusek *et al.*, 1973; Grings *et al.*, 2008), e influye en el desempeño de las vacas en el siguiente ciclo reproductivo (Lalman *et al.*, 2000). Para caracterizar la producción de leche es importante seleccionar el método de estimación y la frecuencia de registros de ordeño adecuada, que permitan estimar una curva de lactancia promedio que refleje las condiciones de producción.

Para el análisis se utilizó información de 22 experimentos (636 lactancias) realizados a lo largo de diez años, en los que se aplicó un mismo protocolo de ordeño. La tesis incluye dos capítulos experimentales: “Comparación de tres modelos de estimación de la producción de leche en vacas de cría sobre campo natural” y “Efecto de dos condiciones corporales contrastantes al parto sobre la producción de leche, crecimiento de los terneros y porcentaje y momento de preñez en vacas de cría”. En el primero se compararon 3 métodos de estimación de la curva de lactancia; funciones Splines (lineales, cuadráticos y cúbicos) y los modelos paramétricos de Wood (1967) y de Wilmink (1987). En el segundo trabajo se seleccionaron las vacas en condiciones corporales contrastantes al parto (BAJA $\leq 3,5$ u y ALTA ≥ 5 u) y se estudió el efecto de la misma sobre la forma de la curva de lactancia, producción total y máxima y momento del pico de producción, desempeño productivo de los terneros y reproductivo de las vacas.

Existen numerosos modelos de estimación de la producción de leche en bovinos. En este trabajo fueron utilizados los modelos de Wood (1967) y Wilmink (1987) dada su amplia utilización en lechería tanto a nivel internacional como nacional. Además son modelos de fácil implementación debido a su bajo número de

parámetros, y describen curvas estándar y atípicas (Macciotta *et al.*, 2011; Albertini *et al.*, 2012; Flores *et al.*, 2013). El modelo de Wood además ha sido utilizado para describir curvas de lactancia en razas carniceras (Albertini *et al.*, 2012; Espasandin *et al.*, 2016).

Por otra parte, las funciones splines son métodos de estimación más flexibles, capaces de adaptarse a los datos observados sin forzar la forma de la curva (White *et al.*, 1999; Druet *et al.*, 2003). Los splines son polinomios segmentados unidos por puntos llamados nodos y el grado de los splines define el formato de la curva entre dos nodos sucesivos (White *et al.*, 1999; Guo y White, 2005). El número y la distancia entre los nodos se define generalmente en forma empírica en función de la estructura de los datos y el comportamiento esperado de la variable. Las funciones splines testeadas: lineales (Iewdiukow *et al.*, 2016a, 2016b), cuadráticas y cúbicas; con distinto número de nodos equidistantes (2 a 6) y nodos fijos a los 30, 60 y 150 días fueron comparadas mediante los criterios de Akaike Information Criteria (AIC) y Bayesian Information Criteria (BIC; ver anexo 6.7). Los splines cúbicos con 5 nodos equidistantes fueron los que presentaron mayor grado de ajuste a los datos de producción de leche de vacas multíparas. Dada la imposibilidad de comparar los modelos paramétricos no lineales (Wood y Wilmink) con las funciones splines, mediante los criterios antes mencionados, se ensayaron otros métodos de comparación como R^2 ajustado, Error Cuadrático Medio e intervalos de confianza. El modelo de Wood presentó el mayor R^2 ajustado (0,55), de todas maneras los valores para Splines cúbicos y Wilmink fueron muy similares (0,53 y 0,54, respectivamente). En cuanto al Error Cuadrático Medio, el mejor ajuste fue para los Splines cúbicos (2,47; menor valor es mejor), pero al igual que en el caso anterior las estimaciones para los demás modelos fueron muy similares en este criterio. En último lugar, se construyeron intervalos de confianza (95%) para cada día de estimación de la curva, con este criterio no se encontraron diferencias en producción de leche total ni máxima.

La curva de lactancia estimada presentó una forma estándar (Botero y Vertel, 2006; García y Holmes, 1999; Chilibroste *et al.*, 2002), con una fase ascendente hasta el pico de producción disminuyendo en forma constante después del mismo

hasta el final de la lactancia (180 días postparto, destete). Las curvas atípicas son las que continuamente decrecen en la lactancia, en forma de u invertida o crecen en forma continua (Macciotta *et al.*, 2005). La ocurrencia de formas típicas o atípicas no está definida solo por factores biológicos (por ejemplo variación individual, época de parto, paridad), sino que puede estar dada, entre otros factores, por la estructura de los datos, primer día de control y distribución de los mismos durante la lactancia (Macciotta *et al.*, 2005). Respecto a la frecuencia de ordeño, Albertini *et al.* (2012) estimaron altos coeficientes de determinación a partir de los 6 controles por lactancia, empleando el método de ordeño mecánico. El protocolo de ordeño (método y frecuencia) así como el momento del primer registro de producción individual de leche en la lactancia permitieron estimar una curva promedio de producción de leche en ganado de carne para las condiciones de campo natural.

La producción de leche máxima (entre 8,2 y 8,7 kg/día) y total (entre 1195 y 1277 kg) estimada para vacas multíparas en condiciones pastoriles fueron similares entre los 3 modelos, la diferencia en producción total fue de 3,8% entre los mismos. Sin embargo el momento del pico fue estimado a los 25 días por Wilmink y a los 32-36 días por Wood y Splines, respectivamente. Esta diferencia en la estimación del momento del pico puede estar asociada al parámetro k del modelo de Wilmink, utilizado como una constante en este trabajo ($k=0,05$), lo que hace que este modelo condicione aún más la forma de la curva. El parámetro k de 0,05 es el más reportado en la bibliografía. Los parámetros estimados por el modelo de Wood para nuestro trabajo fueron 5,887, 0,9725 y 0,03058 para a , b y c , respectivamente. Mientras que los parámetros a , b y c estimados por el modelo de Wilmink para las mismas vacas, fueron 9,2606, -1,6466 y -0,02331, respectivamente.

La información reportada internacionalmente sobre producción de leche en ganado de carne, por lo general, es en base a trabajos realizados en condiciones de producción muy diferentes a las nuestras (pasturas mejoradas, suplementación con concentrados, mayores estados corporales de las vacas). La cría en el país se desarrolla por lo general sobre campo natural, a cielo abierto con producción y calidad de forraje muy variable dentro y entre años, determinando diferencias en producción de leche así como también en ganancias diarias de peso vivo y peso al

destete de los terneros. La producción promedio reportada para vacas multíparas fue de entre 7,6 y 8,7 kg/día (Gleddie y Berg, 1968 y Cortés-Lacruz *et al.*, 2017, entre otros). Por otra parte, Jenkins y Ferrell (1992) reportaron producciones en el pico de 9,4 y 8,5 kg/d en vacas Angus y Hereford multíparas a los 73 y 62 días de lactancia, respectivamente. La producción de leche al pico estimada por estos autores fue similar a los resultados de nuestro trabajo. Sin embargo, el momento de ocurrencia del pico de producción fue aproximadamente un mes después. Esto puede deberse a la alimentación postparto, ya que vacas que recibieron mayores niveles energéticos postparto presentaron picos de producción más tarde en la lactancia.

En nuestro país, Espasandin *et al.*, (2016) reportaron un pico de producción a los 34 días de lactancia, con una producción de 5,2 kg/día en vacas primíparas Hereford, Angus y sus cruza. La diferencia en producción máxima reportada entre estos autores y el presente trabajo puede ser debida a la paridad de la vaca. Existen reportes que vacas primíparas tienen menor producción de leche en comparación con las multíparas debido a que las mismas continúan creciendo y deben particionar la energía en crecimiento y lactación (Cobuci *et al.*, 2000; Rodrigues *et al.*, 2014). Sin embargo, Iewdiukow *et al.* (2017) no encontraron diferencias en producción de leche dadas por la paridad de la madre en las mismas condiciones del presente trabajo. Es posible que estos autores no encontraran diferencias en producción de leche dadas por la paridad debido a que las vacas se encontraban en igual condición corporal. Por otra parte, el peso de los terneros al nacer y al destete fue significativamente menor en los hijos de primíparas respecto a los de multíparas. Esta diferencia podría estar dada por otros factores como por ejemplo el vigor del ternero, comportamiento de pastoreo y calidad de leche.

En cuanto a los componentes de calidad de la leche es importante destacar que de las 636 lactancias solo una muestra contaba con esta información. La misma fue analizada en vacas multíparas (CC al parto 3,9u) y contó con 264 registros a lo largo de 6 años (Iewdiukow *et al.*, 2016b). Los factores climáticos tienen gran influencia sobre los sistemas de producción de la leche, debido a que afectan directamente la cantidad y calidad de forraje. Los resultados demuestran que el porcentaje de grasa (2,2%) encontrado en vacas de cría (Iewdiukow *et al.*, 2016b) es

menor a lo reportado en ganado de leche en condiciones pastoriles 3,5 a 3,8% (Acosta *et al.* 2002; INALE, 2018). En sistemas pastoriles, donde la producción de forraje varía a lo largo del año, se ve afectado el consumo animal y esto se refleja en la composición de la leche (Calvache y Navas, 2012). El contenido de grasa en leche puede estar afectado, entre otros, por la cantidad de fibra y la relación forraje: concentrado (Sutton, 1989). Esto, además del componente genético, puede estar determinando las diferencias en el contenido de grasa de la leche entre vacas de razas carniceras y lecheras. Asimismo, el porcentaje de grasa reportado a nivel internacional en ganado de razas carniceras, fue de entre 3,2 y 4,1 (Masilo *et al.*, 1992; Rodrigues *et al.*, 2014); superior al estimado en nuestras condiciones (2,2%). Sin embargo, en condiciones pastoriles similares a las del presente trabajo, los resultados estimados para grasa fueron de entre 2,0 y 2,7 % (Quintans *et al.*, 2010; Astessiano *et al.*, 2014; Maresca *et al.*, 2018). Esto evidenciaría, que además del componente genético, las diferencias están dadas por la nutrición, cantidad y calidad de la dieta.

Al igual que la grasa, la concentración de proteínas en leche y su composición están influenciadas por la dieta (Santos, 2002; Gallardo, 2006). En el caso de la proteína los resultados obtenidos por Iewdiukow *et al.* (2016b) en ganado de carne (3,1%) son similares a los reportados para ganado lechero (3,0 a 3,3%; Acosta *et al.*, 2002; INALE, 2018). En cuanto a la lactosa, no se constataron diferencias entre lo reportado para ganado lechero 4,7- 4,9% (Acosta *et al.*, 2002) y carnicero 4,0 a 4,9% (Masilo *et al.*, 1992; Quintans *et al.*, 2010; Rodrigues *et al.*, 2014; Maresca *et al.*, 2018) con las reportadas por Iewdiukow *et al.* (2016b) en las condiciones del presente trabajo (4,9%).

La condición corporal ha sido reportada como un buen estimador de las reservas corporales del animal (Short *et al.*, 1990). Si bien existen numerosos trabajos que relacionen la condición corporal al parto y la eficiencia reproductiva (largo del anestro posparto, tasa de preñez; Short *et al.*, 1990; Lalman *et al.*, 2000; Bohnert *et al.* 2013), existe escasa información sobre el efecto de la misma sobre la producción de leche en ganado de cría en condiciones pastoriles. En las condiciones del presente trabajo, las vacas que alcanzaron el parto con ALTA (≥ 5 u) CC

produjeron 42% más de leche en comparación con las vacas de BAJA ($\leq 3,5$ u) CC, esto se vio reflejado en el peso al destete de los terneros (39% más pesados los de ALTA que los de BAJA). Quintans *et al.* (2010) en condiciones similares, también reportaron diferencias en producción de leche dadas por la CC al parto, pero la magnitud de esas diferencias fue menor (14 % más producción en alta que baja CC). Esta diferencia en la magnitud puede estar explicada por el efecto del año. Como fuera mencionado anteriormente, las condiciones de producción son muy variables dentro y entre años, por lo tanto el efecto año juega un rol importante en las estimaciones. Sin embargo, al tener una serie de datos de producción de leche de 10 años, es posible incorporar este efecto al análisis. En el presente trabajo, las vacas en BAJA CC produjeron 1,4 kg menos de leche en el pico y éste ocurrió 17 días antes respecto a las de ALTA. En este sentido, Jenkins y Ferrell (1992), reportaron que el plano nutricional modula la producción de leche y la forma de la curva afectando el momento de ocurrencia del pico. Quintans *et al.* (2012) reportaron un incremento en la producción de leche en vacas cuando fueron manejadas sobre pasturas mejoradas o suplementadas en comparación con las que permanecieron en campo natural. Estos resultados sugieren que tanto la CC al parto como el nivel nutricional en lactancia temprana tienen efecto sobre la producción de leche de las vacas de cría. La nutrición preparto reflejada en la CC estaría determinado la disponibilidad de nutrientes para redirigir hacia producción de leche y reproducción. La nutrición preparto asociada a una mayor producción de leche podría tener efectos en la duración del intervalo parto-concepción (Lalman *et al.*, 2000).

Respecto al peso al nacer de los terneros, éste fue significativamente mayor ($P < 0,05$) en los hijos de vacas de ALTA CC al parto en comparación con los de BAJA (12%). La magnitud de esas diferencias son mayores (39%) en el peso al destete de los terneros a los 180 días de edad (217 vs. 156 kg, ALTA y BAJA respectivamente). Houghton *et al.* (1990) reportaron que vacas con baja CC al parto tuvieron terneros más livianos al nacer en comparación con las de alta CC al parto. Además, Rutledge *et al.* (1971) estimaron que los terneros más pesados al nacer demandaron más leche o presentaron mayor capacidad de consumo. Es decir, que

terneros más pesados al nacimiento serían más vigorosos y podrían estar estimulando una mayor producción de leche de su madre.

En cuanto a las ganancias diarias de peso vivo de los terneros en el presente trabajo, éstas fueron significativamente mayores en los terneros de ALTA respecto a los de BAJA (0,943 vs. 0,661 kg/d). A su vez las correlaciones entre ganancias diarias y producción de leche fueron mayores en los primeros 90 días de lactancia en comparación con la segunda mitad de la misma. Si bien esta mayor correlación ocurre en ambos grupos de CC, las vacas de BAJA CC presentaron correlaciones más altas que las de ALTA. Esto estaría relacionado, en mayor medida, a la capacidad de consumo de los terneros. En otras palabras, es posible especular que en algunos casos las vacas producen más leche que la que efectivamente puede cosechar el ternero. En este sentido, Gleddie y Berg (1968) reportaron que la leche consumida por el ternero, estimado mediante la diferencia de peso antes y después de mamar (Weigh-suckle-weigh), fue 1,2 kg/d menor a la producción de leche estimada para ese mismo mes de lactancia, a través del ordeño mecánico.

Respecto a las variables reproductivas, ha sido bien documentado que la tasa de preñez está determinada por la duración del anestro posparto. Los principales factores que afectan este período en ganado de carne son el estado nutricional y la lactancia (Short y Adams, 1988). El efecto del ternero puede afectar negativamente el largo del anestro posparto (Williams *et al.*, 1990). Existen reportes de que terneros más grandes consumen más leche, lo que aumentaría las demandas metabólicas de la madre resultando en intervalos parto-concepción más largos (Short *et al.*, 1990). Los resultados del presente trabajo, mostraron que vacas en mayor CC al parto destetaron terneros más pesados y presentaron un menor intervalo parto-concepción. De acuerdo con estos resultados, se podría decir que las reservas corporales de las vacas de ALTA CC al parto fueron suficientes para satisfacer tanto los requerimientos de producción de leche de los terneros (reflejada en mayores pesos de destete) como el reinicio de la actividad reproductiva.

4.2. IMPLICANCIAS

El estudio de las curvas de lactancia y los parámetros de producción relacionados, permitirán mejorar el manejo nutricional y reproductivo de los rodeos de cría mediante la estimación más ajustada de los requerimientos nutricionales para nuestras condiciones pastoriles. Además, la construcción y consolidación de la actual base de datos y la continua alimentación de la misma con nueva información permitirá profundizar en los estudios de diferentes variables asociadas a la producción de leche.

Por otra parte, la estimación de los parámetros de la curva de lactancia de vacas de cría en nuestros sistemas de producción, aportará información relevante para la construcción de un índice de selección para energía de mantenimiento que combine la estimación del mérito genético de peso adulto de las vacas junto con la habilidad lechera de las madres.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Albertini TZ, Medeiros SR, Torres Júnior RAA, Zocchi SS. 2012. A methodological approach to estimate the lactation curve and net energy and protein requirements of beef cows using nonlinear mixed-effects modeling. *Journal of Animal Science*, 90: 3867–3878.
- Anthony WB, Parks PF, Mayton EL, Brown LV, Starling JG, Patterson TB. 1959. A new technique for securing milk production data for beef cows nursing calves in nutrition studies. *Journal of Animal Science*, 18(4):1541 (Abstr.).
- Astessiano AL, Pérez-Clariget R, Quintans G, Soca P, Meikle A, Crooker BA, Carriquiry M. 2014. Metabolic and endocrine profiles and hepatic gene expression in periparturient, grazing primiparous beef cows with different body reserves. *Livestock Science*, 170: 63–71.
- Bavera GA. 2005. Lactancia y destete definitiva. Disponible en: www.produccion-animal.com.ar
- Beal WE, Notter DR, Akers RM. 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.
- Bermúdez R, Ayala W. 2005a. Producción de Forraje de un campo natural de la zona de lomadas del Este. En: Seminario de Actualización Técnica en Manejo de Campo Natural (2005, Treinta y Tres) Resultados experimentales. Serie técnica 151. Montevideo, INIA. 33-39.
- Bermúdez R, Ayala W. 2005b. Estrategias de manejo en campos naturales sobre suelos de lomadas en la región Este. En: Seminario de Actualización Técnica en Manejo de Campo Natural (2005, Treinta y Tres) Resultados experimentales. Serie técnica 151. Montevideo, INIA. 41-50.

- Boggs DL, Smith EF, Schalles RR, Brent BE, Corah LR, Pruitt RJ. 1980. Effects of milk and forage intake on calf performance. *Journal of Animal Science*, 51: 550–553.
- Botero L, Vertel M. 2006. Modelo Matemático Aplicado a La Curva De Lactancia En Ganado Vacuno Doble Propósito. *Revista MVZ Córdoba*, 11: 760–761.
- Buskirk DD, Faulkner DB, Ireland FA. 1995. Increased postweaning gain of beef heifers enhances fertility and milk production. *Journal of Animal Science*, 73: 937–946.
- Calvache I, Navas A. 2012. Factores que influyen en la composición nutricional de la leche. *Revista Ciencia Animal*, 5: 73–85.
- Chilibroste P., Naya H, Urioste JI. 2002. Evaluación cuantitativa de curvas de lactancia de vacas Holando en Uruguay. 3. Implicancias biológicas de las curvas de producción multifásica. *Revista Argentina de Producción Animal*, 22 (supl. 1): 358-359.
- Cobuci JA, Euclides RF, Da Silva Verneque R, Teodoro RL, De Sávio Lopes P, De Almeida E Silva M. 2000. Curva de Lactação na Raça Guzerá. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29: 1332–1339.
- Congleton WRJ, Everett RW. 1980. Error and Bias in Using the Incomplete Gamma Function to Describe Lactation Curves. *Journal of Dairy Science*, 63: 101–108.
- Cortés-Lacruz X, Casasús I, Revilla R, Sanz A, Blanco M, Villalba D. 2017. The milk yield of dams and its relation to direct and maternal genetic components of weaning weight in beef cattle. *Livestock Science*, 202: 143–149.
- Cunha D, Pereira J, Silva F, Campos O, Braga J, Martuscello J. 2010. Selection of models of lactation curves to use in milk production simulation. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39: 891–902.

- DIEA-MGAP. 2017. Anuario estadístico agropecuario 2011. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Dirección de Estadísticas Agropecuarias, Uruguay. Diciembre 2011. Disponible en: www.mgap.gub.uy/diea.
- Di Marco O. 2006. Crecimiento de vacunos para carne. Edición 1ª. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina. 204 p.
- Drewry KJ, Brown CJ, Honea RS. 1959. Relationships among factors associated with mothering ability in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 18: 938–946.
- Druet T, Jaffrézic F, Boichard D, Ducrocq V. 2003. Modeling lactation curves and estimation of genetic parameters for first lactation test-day records of French Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 86(7): 2480-2490.
- Dutto, M. 2012. Estimación de curvas de lactancia en vacas. Congreso latinoamericano de sociedades de estadística, 1-25.
- Edwards SR, Hobbs JD, Mulliniks JT. 2017. High milk production decreases cow-calf productivity within a highly available feed resource environment. *Translational Animal Science*, 1(1): 54-59.
- Espasandin AC, Gutierrez V, Casal A, Graña A, Bentancur O, Carriquiry M. 2016. Modeling Lactation Curve in Primiparous Beef Cattle. *Journal of Agricultural Science*, 8(4): 116–125.
- Flores EB, Kinghorn BP, Werf J Van Der. 2013. Predicting lactation yields in dairy buffaloes by interpolation and multiple trait prediction. *Livestock Science*, 151: 97–107.
- Freetly HC, Nienaber JA, Brown-Brandl T. 2006. Partitioning of energy during lactation of primiparous beef cows. *Journal of Animal Science*, 84: 2157–2162.

- Garcia, SC, Holmes CW. 1999. Effects of time of calving on the productivity of pasture-based dairy systems: A review. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 42(3): 347-362.
- Gioia MS, Licha FA. 2008. Producción de leche en vacas primiparas de las razas Aberdeen Angus, Hereford y sus respectivas cruzas F1 sometidas a destete temporario y flushing. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía 93 p.
- Gleddie VM, Berg RT. 1968. Milk production in range beef cows and its relationship to calf gains. *Canadian Journal of Animal Science*, 48: 323–333.
- Grings EE, Roberts AJ, Geary TW, MacNeil MD. 2008. Milk yield of primiparous beef cows from three calving systems and varied weaning ages. *Journal of Animal Science*, 86: 768–779.
- Guo Q, White R. 2005. Cubic Spline Regression for the Open-Circuit Potential Curves of a Lithium-Ion Battery. *Journal of the Electrochemical Society*, 152: A343–A350.
- Hohenboken WD, Dudley A, Moody DE. 1992. A comparison among equations to characterize lactation curves in beef cows. *Animal Production*, 55: 23–28.
- Houghton PL, Lemenager RP, Horstman LA, Hendrix KS, Moss GE. 1990. Effects of body composition, pre- and postpartum energy level and early weaning on reproductive performance of beef cows and preweaning calf gain. *Journal of Animal Science*, 68: 1438–1446.
- Iewdiukow M, Lema OM, Velazco JI, Quintans G. 2017. Milk production in grazing beef cattle in Uruguay: influence of cow parity. In: *Proceedings of the 54th Annual Meeting of the Brazilian Society of Animal Science*, Foz do Iguaçu, Brazil, 1130.

- Iewdiukow M, Lema OM, Velazco JI, Quintans G. 2016a. Ten years-data of milk production in beef cattle under South American grazing conditions. In: Book of abstracts. Annual Meeting of the European Federation of Animal Science, Belfast, UK: EEAP, 616.
- Iewdiukow M, Lema OM, Velazco JI, Quintans G. 2016b. Curvas de lactancia en vacas de cría en pastoreo: diez años de información. Comunicación. Sistemas de Producción. Revista Argentina De Producción Animal, 136.
- Jeffery HB, Berg RT, Hardin RT. 1971. Factors influencing milk yield of beef cattle. Canadian Journal of Animal Science, 51(3): 551-560.
- Jenkins TG, Ferrell CL. 1992. Lactation characteristics of nine breeds of cattle fed various quantities of dietary energy. Journal of Animal Science, 70: 1652–1660.
- Knapp B, Black WH. 1941. Factors influencing rate of gain of beef calves during the suckling period. Journal of Agricultural Research, 63: 249–255.
- Lalman DL, Williams JE, Hess BW, Thomas MG, Keisler DH. 2000. Effect of dietary energy on milk production and metabolic hormones in thin, primiparous beef heifers. Journal of Animal Science, 78: 530–538.
- Lamb GC, Miller BL, Lynch JM, Thompson KE, Heldt JS, Löest CA, Grieger DM, Stevenson JS. 1999. Twice Daily Suckling but Not Milking with Calf Presence Prolongs Postpartum Anovulation. Journal of Animal Science, 77: 2207–2218.
- Lee PC, Majluf P, Gordon IJ. 1991. Growth, weaning and maternal investment from a comparative perspective. Journal of Zoology, 225(1): 99-114.
- LeMaster CT, Taylor RK, Ricks RE, Long NM. 2017. The effects of late gestation maternal nutrient restriction with or without protein supplementation on endocrine regulation of newborn and postnatal beef calves. Theriogenology, 87: 64–71.

- Liu T, Mays AR, Turner KE, Wu JP, Brown MA. 2015. Relationships of milk yield and quality from six breed groups of beef cows to preweaning average daily gain of their calves. *Journal of Animal Science*, 93: 1859–1864.
- López-Valiente S, Maresca S, Rodríguez AM, Quintans G, Palladino RA. 2016. Restricción proteica durante el último tercio de gestación en vacas de cría.2 Caracterización de la producción y calidad de leche. En: *Nutrición y Alimentación Animal. Revista Argentina de Producción Animal*, 36, 189-293.
- Macciotta N, Rassu SPG, Steri R, Zootechniche S, Sassari U. 2011. The mathematical description of lactation curves in dairy cattle. *Italian Journal of Animal Science*, 10: 213–223.
- Macciotta NPP, Miglior F, Dimauro C, Schaeffer LR. 2010. Comparison of parametric, orthogonal, and spline functions to model individual lactation curves for milk yield in Canadian Holsteins. *Italian Journal of Animal Science*, 9: 460–464.
- Macciotta NPP, Vicario D, Cappio-Borlino A. 2005. Detection of Different Shapes of Lactation Curve for Milk Yield in Dairy Cattle by Empirical Mathematical Models. *Journal of Dairy Science*, 88: 1178–1191.
- Maresca S, López-Valiente SL, Rodríguez AM, Long NM, Pavan E, Quintans G. 2018. Effect of protein restriction of bovine dams during late gestation on offspring postnatal growth, glucose-insulin metabolism and IGF-1 concentration. *Livestock Science*, 212: 120-126.
- Marston TT, Simms DD, Schalles RR, Zoellner KO, Martin LC, Fink GM. 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.

- Melton AA, Riggs JK, Nelson LA, Cartwright TC. 1967. Milk Production , Composition and Calf Gains of Angus , Charolais and Hereford Cows. *Journal of Animal Science*, 26: 804–809.
- Montaño-Bermudez M, Nielsen MK, Deutscher GH. 1990. Energy requirements for maintenance of crossbred beef cattle with different genetic potential for milk. *Journal of Animal Science* 68, 2279–2288.
- Naya H, Urioste JI, Chilibroste P. 2002. Evaluación cuantitativa de curvas de lactancia de vacas Holando en Uruguay. 2. Ajuste de un modelo bifásico. *Revista Argentina de Producción Animal*, 22 (supl. 1): 357 – 358.
- Neville WEJ, Warren EP, Griffey WA. 1974. Estimates of Age Effects on Milk Production in Hereford Cows. *Journal of Animal Science*, 38: 1–5.
- Neville WE. 1971. Effect of age on the energy requirements of lactating Hereford cows. *Journal of Animal Science* 33: 855–860.
- Neville WE, Baird DM, McCampbell HC, Sell OE. 1962. Influence of dam's milk production and other factors in post-weaning performance and carcass characteristics of Hereford cattle. *Journal of Animal Science*, 21: 943–949.
- NRC. (National Research Council). 1996. Nutrient requirements of beef cattle. National Academy Press. Seventh revised edition, 1996. Washington, D. C.
- Peterson S, Jenkinson C, Hickson R, Morris S, Blair H, Kenyon P. 2010. Preliminary investigation of milk production in Angus heifers exposed to different planes of nutrition in utero. *NZ Society Animal Production Proceedings* 70: 194–198.
- Pimentel MA, Carlos J, Moraes F, Jaume CM, Lemes S, Brauner CC. 2006. Características da lactação de vacas Hereford criadas em um sistema de produção extensivo na região da campanha do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35: 159–168.

- Quintans G, Velazco JI, Scarsi A, López-Mazz C, Banchero G. 2012. Effect of nutritional management during the postpartum period of primiparous autumn-calving cows on dam and calf performance under range conditions. *Livestock Science*, 144(1-2):103-109
- Quintans G, Banchero G, Carriquiry M, Lpez-Mazz C, Baldi F. 2010. Effect of body condition and suckling restriction with and without presence of the calf on cow and calf performance. *Animal Production Science*, 50: 931–938.
- Randel RD. 1990. Nutrition and postpartum rebreeding in cattle. *Journal of Animal Science*, 68: 853-862.
- Rearte, D. H. 1992. Alimentación y composición de la leche en los sistemas pastoriles. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina. 94 p.
- Rodrigues PF, Menezes LM, Azambuja RCC, Suñé RW, Barbosa Silveira ID, Cardoso FF. 2014. Milk yield and composition from Angus and Angus-cross beef cows raised in southern Brazil. *Journal of Animal Science*, 92: 2668–2676.
- Rovira J. 1996. Manejo nutritivo de los rodeos de cría en pastoreo. Montevideo, Hemisferio Sur. p. 288.
- Rutledge JJ, Robison OW, Ahlschwede WT, Legates JE. 1971. Milk yield and its influence on 205-Day weight of beef calves. *Journal of Animal Science*, 33: 563–567.
- Saravia I, Wijma R. 2011. Efecto del destete precoz en el desempeño productivo y reproductivo en vacas primíparas lactando en invierno y sus terneros. Tesis de grado de la Facultad de Veterinaria, Universidad de la República, 106.p
- Sawyer GJ, Speijers EJ, Morris R, Coupar FJ. 1994. Characterising lactation curves in heifers of different breeds first calved in moderate or low condition. *Proceedings of Australian Society of Animal Production*, 20: 128–131.

- Short RE, Bellows RA, Staigmiller, RB, Bernardinelli JG, Custer EE. 1990. Physiological Mechanisms Controlling Anestrus and Infertility in Postpartum Beef Cattle. *Journal of Animal Science*, 68: 799–816.
- Short RE, Adams DC. 1988. Nutritional and hormonal interrelationships in beef cattle reproduction. *Canadian Journal of Animal Science*, 68: 29–39.
- Silvestre AM, Petim-Batista F, Colaco J. 2005. Genetic parameter estimates of Portuguese dairy cows for milk, fat, and protein using a spline test-day model. *Journal of Dairy Science*, 88: 1225–1230.
- Spitzer JC, Morrison DG, Wettemann RP, Faulkner LC. 1995. Reproductive responses and calf birth and weaning weights as affected by body condition at parturition and postpartum weight gain in primiparous beef cows. *Journal of Animal Science*, 73: 1251–1257.
- Steri R, Dimauro C, Canavesi F, Nicolazzi EL, Macciotta NPP. 2012. Analysis of lactation shapes in extended lactations. *Animal*, 6:1572–1582.
- Totusek R, Arnett DW, Holland G, Whiteman JV. 1973. Relation of estimation method, sampling interval and milk composition to milk yield of beef cows and calf gain. *Journal of Animal Science*, 37: 153–158.
- Urioste JI, Naya H, Chilibruste P. 2002. Evaluación cuantitativa de curvas de lactancia de vacas holando en Uruguay.1. Descripción de la población. *Revista Argentina de Producción Animal*, 22(supl. 1): 355-356.
- Vizcarra JA, Ibañez W, Orcasberro R. 1986. Repetibilidad y reproductibilidad de dos escalas para estimar la condición corporal de vacas Hereford. *Investigaciones Agronómicas*, 7(1): 45–47.
- White IMS, Thompson R, Brotherstone S. 1999. Genetic and Environmental Smoothing of Lactation Curves with Cubic Splines. *Journal of Dairy Science*, 82: 632–638.

- Williams, G. L. 1990. Suckling as a regulator of postpartum rebreeding in cattle: a review. *Journal of Animal Science* 68(3): 831
- Williams JH, Anderson DC, Kress DD. 1979. Milk production in Hereford cattle .II. Physical measurements: repeatabilities and relationships with milk production. *Journal of Animal Science*, 49: 1443–1448.
- Willham, R. L. 1972. Beef Milk Production for Maximum Efficiency. *Journal of Animal Science*, 34(5): 864-869.
- Wilmink JBM. 1987. Adjustment of Test-Day Milk, Fat and Protein Yield for Age , Season and Stage of Lactation. *Livestock Production Science*, 16: 335–348.
- Wood PDP. 1967. Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature*, 216: 164–165.

6. ANEXOS

6.1. DESCRIPCIÓN DE LOS EXPERIMENTOS QUE INTEGRAN LA BASE DE DATOS

Tabla 1 Experimentos ordenados en función del año en el que fueron realizados, paridad, época de parto, tratamiento nutricional o de control del amamantamiento y autores de la publicación de los experimentos.

Exp.	Paridad	Época de parto	Tratamientos	Autor/es
I	M	Primavera	Control, CC, Mam	Quintans <i>et al.</i> , 2008.
II	M	Primavera	Control, Sup	Scarsi <i>et al.</i> , 2012
III	M	Primavera	Control, Mam	Quintans <i>et al.</i> , 2010
IV	P	Otoño	Control, Mam	Quintans <i>et al.</i> , 2009
V	P	Otoño	Control, LR	Quintans <i>et al.</i> , 2012
VI	P	Primavera	Control, Sup	Scarsi <i>et al.</i> , 2012
VII	M	Primavera	Control, Sup	Quintans <i>et al.</i> , 2011
VIII	P	Otoño	Control, LR, Sup	Quintans <i>et al.</i> , 2012
IX	P, M	Primavera	Control, Mam	Ungerfeld <i>et al.</i> , 2011
X	M	Primavera	Control, Sup, Mam	Quintans <i>et al.</i> , 2013 (a)
XI	P	Otoño	Control, DP	Saravia y Witjma, 2011
XII*	P	Primavera	Monitoreo	Quintans <i>et al.</i> , s.p.
XIII	M	Primavera	Control, AF	Quintans <i>et al.</i> , 2013 (b)
XIV	M	Primavera	AF	Briano <i>et al.</i> , 2013
XV	P	Primavera	AF	Briano <i>et al.</i> , 2013
XVI	P	Primavera	Control, Sup	Scarsi <i>et al.</i> , 2012
XVII*	P	Primavera	Monitoreo	Quintans <i>et al.</i> , s.p.
XVIII	M	Primavera	Control, Sup	Quintans <i>et al.</i> , s.p.
IX*	P	Primavera	Monitoreo	Quintans <i>et al.</i> , s.p.
XX	P	Primavera	Control, Sup	Tesis Algare y Naranja, s.p.
XXI	M	Primavera	Sup	Tesis Batista, s.p.
XXII*	M	Primavera	Monitoreo	Tesis Franca, s.p.

Referencias: Exp= número de experimento, P= Primíparas, M = Multíparas, CC= Condición Corporal, Mam= control de amamantamiento con tablilla nasal o destete temporario a corral. Sup = Suplementación, AF = asignación de forraje,

*Monitoreo = monitoreo dentro de la Unidad Experimental Palo a Pique, LR= Manejo sobre Lotus Rincón, DP = destete precoz, s.p. = sin publicar.

6.2. TEN YEARS-DATA OF MILK PRODUCTION IN BEEF CATTLE UNDER SOUTH AMERICAN GRAZING CONDITIONS: PRELIMINARY ANALYSIS

M. Iewdiukow^{1,2}, O.M. Lema², J.I. Velazco², G. Quintans²

¹Facultad de Agronomía-UdelaR, Uruguay; ²Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Uruguay

The aim of this study was to characterize milk production in multiparous beef cows (4 to 10 years old) under grazing conditions in Uruguay. British crossbred cows (n=114) were selected for this analysis from a database of 660 over 10 years. They belonged to different experiments, where milk production was measured under identical protocol. Cows calved in spring and were managed on native pastures with a forage allowance between 8 and 12 kgDM/kgLW (8-10% CP and 45-55% of digestibility). Milk yield was assessed between 20 and 40d postpartum (pp) and monthly until weaning (average 155d pp), using a milking machine after oxytocin injection. Milk samples were analysed for fat, protein and lactose. LW and Body Condition Score (BCS; scale 1 to 8 u) at calving were 420.0±4.22 kg and 3.9±0.04 u. Calves LW was registered at birth and monthly until weaning (35.9±0.52 and 155.7±1.45 kg for birth and weaning, respectively). Milk yield and calves performance were analysed with lineal splines with 3 knots at 30, 60 and 150d using PROC GLIMMIX (SAS). The model included individual dam as random effect, experiment and calves sex as fixed effects, and BCS at calving as covariable. Milk production for the entire lactation period was, on average, 826±15.2 l. Milk fat, protein and lactose were 2.15±0.06, 3.07±0.02 and 4.94±0.01% respectively. The curve showed a peak at 45d (7.33±0.23 l) decreasing until weaning with a milk average production of 3.98±0.11 for this final period. Calves daily LW gain was 946±19.3 g from birth until 45d, decreasing to 758±12.4 g until weaning. This milking protocol applied to cows under grazing conditions allow us to characterize

the beef milk curve. It was consistent with calves LW gain evolution under the conditions of this analyses. The consolidation of a larger data set of beef milk production will enable us to reinforce the parameters to better characterize the curve shape in the production systems described above.

6.3. CURVAS DE LACTANCIA EN VACAS DE CRÍA EN PASTOREO: DIEZ AÑOS DE INFORMACIÓN. COMUNICACIÓN

*Iewdiukow, M.^{1,2}, Lema, O.M.², Velazco, J.I.², Quintans, G.²

¹Facultad de Agronomía-UdelaR, Uruguay; ²Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Uruguay

*E-mail: mariaiewg@gmail.com

Lactation curves in grazing beef cows: ten years data. Communication.

Conocer la curva de lactancia es importante para entender el comportamiento productivo de un rodeo de cría. La producción de leche, así como la calidad de la misma, tienen alta incidencia en las ganancias diarias de peso de los terneros y determina en gran medida el peso al destete. El objetivo del presente trabajo fue estimar la curva de lactancia de vacas de cría manejadas en las condiciones pastoriles de Uruguay y su relación con las ganancias diarias de peso de los terneros.

6.3.1. Materiales y Métodos

La base de datos utilizada, perteneciente a trabajos realizados en INIA Treinta y Tres, Uruguay, cuenta con información de 660 vacas a lo largo de diez años.

Se seleccionaron para el análisis las vacas multíparas, cruce británicas, de 4 a 10 años de edad, paridas en primavera y manejadas sobre campo natural a una asignación de forraje promedio de 8-10 kg MS/100kg de Peso Vivo (PV), n=114. En promedio la pastura presentaba una digestibilidad de 45-55% y un contenido de Proteína Cruda de 8-10%. En todos los experimentos la producción de leche se

estimó en base a un mismo protocolo de ordeño mecánico directo (Quintans et al., 2010).

El PV y la Condición Corporal (CC) de las vacas se determinaron al parto (420 ± 45.1 kg y 3.89 ± 0.50 u) y cada 30 días (d) posparto (pp) hasta el día 180pp. El PV de los terneros se registró al nacer (35.9 ± 5.63 kg) y cada 30d hasta el destete (175.5 ± 26.4 kg a los 180d). La producción de leche se determinó entre los 20 y 40d pp y luego a intervalos de 30d hasta el destete. Se analizaron además los componentes principales de calidad de leche (% de grasa, proteína y lactosa).

El análisis estadístico de la producción de leche y ganancia diaria de los terneros se realizó en base a splines lineales con 3 nodos a los 30, 60 y 150 d, usando PROC GLIMMIX (SAS). Se consideraron como efectos fijos el año, experimento y sexo del ternero y como efecto aleatorio la vaca. La CC al parto fue utilizada como covariable. La relación lineal entre la producción de leche y la ganancia diaria de los terneros se estableció mediante el coeficiente de correlación de Pearson.

6.3.2. Resultados y Discusión

La producción total de leche a lo largo de los 180d de lactancia fue estimada en 973.7 ± 112.2 litros. La producción comienza en 6.50 ± 1.84 l/d hasta llegar al pico de producción estimado en 7.35 ± 2.30 l/d a los 35d pp y decae hasta llegar al mínimo al final de la lactancia (2.80 ± 1.90 l/d; Figura 1). A lo largo de la lactancia se observó un comportamiento estable de los componentes de calidad de leche no variando su concentración entre la primera y la segunda mitad de la lactancia (Cuadro 1).

En el Cuadro 1 se observa que la correlación entre las ganancias diarias de los terneros (GDT) y la producción de leche (PL) varía entre la primera y segunda mitad, esta se encuentra dentro de lo reportado en la bibliografía (Totusek *et al.*, 1973 y Grings *et al.*, 2008). La mayor correlación en la primera parte de la lactancia verifica una mayor dependencia de los terneros por la leche en los primeros meses de vida.

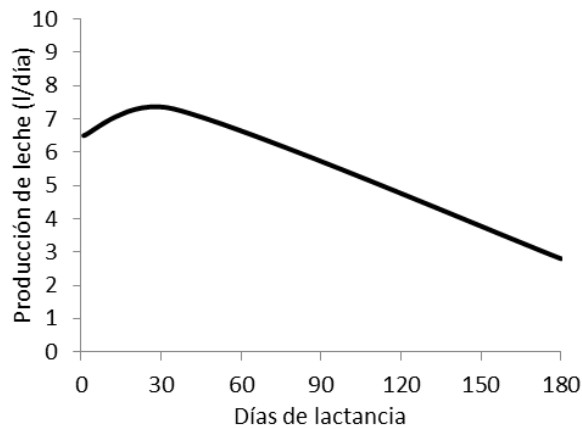


Figura 1. Producción de leche estimada para vacas multíparas en condiciones pastoriles (180 días de lactancia).

Cuadro 1. Producción de leche (PL) de vacas multíparas en condiciones pastoriles, ganancia diaria de los terneros (GDT) y componentes de calidad de leche analizados en dos segmentos de la lactancia (0 a 90 y 90 a 180 días)

	0 a 90 días*	90 a 180 días*
PL (l/d)	5.95±1.59	4.01±1.12
GDT (kg/d)	0.84±0.13	0.79±0.14
Correlación entre PL Y GDT	0.62	0.44
% Grasa	2.18±1.02	2.18±0.89
% Proteína	3.05±0.31	3.12±0.26
% Lactosa	4.99±0.24	4.90±0.21

*Medias ± desvíos estándar

6.3.3. Conclusiones

El análisis preliminar permitió visualizar que la producción de leche de vacas de carne decrece linealmente luego del primer mes de lactancia. La mayor correlación entre producción de leche y ganancia diaria de los terneros en la primera mitad de la lactancia, se explicó principalmente por la producción de leche.

6.3.4. Bibliografía

GRINGS, E.E.; ROBERTS, A.J.; GEARY, T.W. y MACNEIL, M.D. 2008. *Journal of Animal Science* 86, 768–779.

QUINTANS, G.; BANCHERO, G.; CARRIQUIRY, M.; LÓPEZ-MAZZ, C. y BALDI, F. 2010. *Animal Production Science* 50 (10): 931-938.

TOTUSEK, R.; ARNETT, D.W.; HOLLAND, G.L. y WHITEMAN, J.V. 1973. *Journal of Animal Science* 37, 153–158.

6.4. MILK PRODUCTION IN GRAZING BEEF CATTLE IN URUGUAY: INFLUENCE OF COW PARITY

M. Iewdiukow*^{1,2}, M. Lema¹, J.I. Velazco¹, G. Quintans¹

¹ Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Treinta y Tres, Uruguay; ² Facultad de Agronomía, UDELAR, Montevideo, Uruguay.

*Email - mariaiewg@gmail.com

Energy requirements of beef cows during lactation are increased due to milk production.

There are many factors influencing milk production potential and calves weaning weight and cow parity could be one of those. The aim of this study was to estimate the effect of dam parity on milk production of beef cattle grazing native pastures in Uruguay. Three hundred ninety-seven, Angus and Angus x Hereford, primiparous (3 years old, n = 151) and multiparous (4 to 10 years old, n = 246) cows from different experiments over ten years were analyzed. Cows Live Weight (LW) and Body Condition Score (BCS; scale 1 to 8 u) at calving were 402 ± 4.77 kg and 4.2 ± 0.06 u for primiparous and 430 ± 2.99 kg and 4.1 ± 0.04 u for multiparous cows, (mean \pm sem). All cows calved in spring and grazed native pastures at a forage allowance of 8 to 12 kg dry matter per kg of LW. Milk production was estimated with the following procedure: at ~6 am cows were separated from calves and each cow was injected with oxytocin (20 IU) to promote milk letdown. Cows were milked 2 minutes after the

injection using a milking machine. In the afternoon, at ~ 14 pm cows were milked again (after oxytocin injection) following the same procedure and milk amount was weighed. In that period calves remained in another paddock separated from their dams. Milk production was assessed monthly until weaning (190 days on average). Milk yield was analyzed with cubic splines with 4 equally spaced knots. The model considers the effect of the dam's parity. No differences in milk production between cows of four to ten years old were evident ($P = 0.53$) therefore they were grouped for the final analysis. Milk production for the lactation period was 1005 ± 0.71 L and 1030 ± 0.76 L for primiparous and multiparous cows, respectively ($P = 0.63$). Calves LW at birth was lower ($P < 0.05$) in primiparous (35.4 ± 0.41 kg) than multiparous cows (36.1 ± 0.33 kg) and at weaning (164.6 ± 2.81 kg and 178.6 ± 1.67 kg for primiparous and multiparous cows, respectively). It is well documented that primiparous cows present lower milk production when compared with multiparous cows, since they have higher energy requirements to fulfill growing needs. No differences in milk production by parity were found in this study even though multiparous weaned heavier calves than primiparous cows. It is hypothesized that other factors could be explaining those differences such as calves vigor, milk fat content and/or grazing behavior.

6.5. MILK PRODUCTION IN GRAZING BEEF CATTLE IN URUGUAY: INFLUENCE OF TWO CONTRASTING BODY CONDITION SCORE AT CALVING

Iewdiukow, M.*^{1,2}, Lema, O.¹, Velazco, J. I.¹, Quintans, G¹

¹ Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Treinta y Tres, Uruguay; ² Facultad de Agronomía, UDELAR, Montevideo, Uruguay.

*Email - mariaiewg@gmail.com

Body condition score (BCS) is an adequate estimate of nutrient reserves in the animal. Moreover BCS at calving presents a high correlation with following reproductive performance and milk production. The aim of this study was to estimate

the effect of low (≤ 3.5 u; LOW) and high (≥ 5 u; HIGH) cow BCS (scale 1 to 8 u) at calving on milk production of grazing beef cows in Uruguay. One hundred forty-six British crossbred cows and Angus purebred were analyzed. All cows calved in spring and grazed native pastures at a forage allowance of 8 to 12 kg dry matter per kg of Live Weight (LW). Milk yield was estimated with the following procedure: at ~6 am cows were separated from calves and each cow was injected with oxytocin (20 IU) to promote milk letdown. Cows were milked 2 minutes after the injection using a milking machine. In the afternoon, at ~14 pm cows were milked again (after oxytocin injection) following the same procedure and milk amount was weighed. In that period calves remained in another paddock separated from their dams. Milk production was assessed monthly until weaning (190 days on average). Cows LW and BCS at calving was 359.3 ± 5.5 kg and 3.2 ± 0.04 u for LOW and 473.6 ± 4.6 kg and 5 ± 0.03 u for HIGH (mean \pm sem). Milk yield was analyzed with cubic splines with 4 equally spaced knots. The model consider the effect of the two BCS categories. Milk production for the lactation period was 865 ± 2.12 L and 1157 ± 0.86 L for LOW and HIGH, respectively ($P < 0.05$). Lactation was split in three periods: from Day 1 to 60, from Day 61 to 120 and from Day 121 to 190 postpartum. In the first period milk production in HIGH was 33 % higher than LOW (469 vs. 353 L). For the second period milk was 44 % higher in HIGH respect to LOW (377 vs. 261 L) and in the last period cows in HIGH present 24% more milk than in LOW (311 vs. 250 L). Calves LW at birth was higher ($P < 0.05$) in HIGH than in LOW (37.1 ± 0.5 vs. 33.2 ± 0.6 kg), and also at weaning calves in HIGH weighed more than in LOW (197.8 ± 3.2 vs. 149.6 ± 2.9 kg). In summary, cows that calved in HIGH produced 34 % more milk in the entire lactation period and that was reflected on calves weaning LW. Under the conditions of this study, BCS at calving was a reasonable predictor of calves weaning LW explained by dam milk production.

6.6. VALORACIÓN DE TRES MODELOS PARA ESTIMAR LA PRODUCCIÓN DE LECHE EN VACAS DE CARNE SOBRE CAMPO NATURAL

*Iewdiukow, M.^{1,2}, Lema, O.M.², Velazco, J.I.², Quintans, G.²

¹Facultad de Agronomía-UdelaR, Uruguay; ²Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Uruguay

*E-mail: mariaiewg@gmail.com

La ganadería para carne representa el principal rubro de exportación en Uruguay y el estudio de la sustentabilidad de los sistemas de producción es una necesidad permanente para la economía del país. El presente trabajo pretende caracterizar la producción de leche de vacas multíparas manejadas sobre campo natural mediante 3 modelos: Wood (1967; WD), Wilmink (1987; WIL) y splines cúbicos (SC). Para el presente análisis se seleccionaron 99 vacas multíparas, cruce británicas, de 4 a 10 años de edad, paridas en primavera y manejadas sobre campo natural a una asignación de forraje promedio de 8-10 kg MS/100kg de Peso Vivo (PV). En promedio la pastura presentaba una digestibilidad de 45-55% y un contenido de Proteína Cruda de 8-10%. La producción de leche se estimó en base a un mismo protocolo de ordeño mecánico directo previa inyección de oxitocina. El PV y la Condición Corporal (CC; escala 1 a 8 unidades) de las vacas al parto fue (media \pm error estándar) 419 ± 1.8 kg y 4.06 ± 0.02 u, respectivamente. Para el análisis de producción de leche con los modelos WD y WIL se utilizó el PROC NLMIXED (SAS 9.4) y en el caso de splines cúbicos con 5 nodos equidistantes se utilizó el procedimiento PROC GLIMMIX (SAS 9.4). En todos los casos se consideraron como efectos fijos el año, composición racial y sexo del ternero y como efecto aleatorio la vaca, siendo utilizada la CC al parto como covariable. Los tres modelos fueron comparados mediante R² ajustado, error cuadrático medio (ECM) e intervalos de confianza de 95% (IC95). El R² ajustado fue de 0.55, 0,54 y 0,53 para los modelos de WD, WIL y SC, respectivamente. Los valores de ECM que determinan

el nivel de ajuste, fueron de 2,54, 2,59 y 2,47 para los modelos de WD, WIL y SC, respectivamente. La producción de leche estimada para 180 días de lactancia fue de 1277, 1255 y 1195 l para WD, WIL y SC, respectivamente. El pico de producción de leche se produjo a los 32, 25 y 36 días de lactancia presentando en ese momento una producción de 8.74, 8.21 y 8,40 l para WD WIL y SC, respectivamente. No hubo diferencias en producción de leche total estimada o en la producción al pico entre modelos con IC95. Los modelos presentaron un buen ajuste de los datos, siendo buenos estimadores de la producción de leche de vacas multíparas en las condiciones descriptas.

6.7. COMPARACIÓN DE FUNCIONES SPLINES MEDIANTE LOS CRITERIOS DE AKAIKE (AIC) Y BAYESIANO (BIC)

Spline	Número de nodos	AIC	BIC
Lineal	3	2464,68	2469,83
Lineal	4	2456,80	2461,95
Cuadrático	3	2453,56	2458,71
Cuadrático	4	2452,25	2457,40
Cuadrático	5	2448,16	2453,31
Cuadrático	6	2446,83	2451,98
Cubico	3	2439,24	2444,39
Cubico	4	2433,66	2438,81
Cubico	5	2432,40	2437,54
Cubico	6	2436,15	2441,29