

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA

CARACTERIZACIÓN DEL CICLO PRODUCTIVO DE VACAS LECHERAS DE  
DOS RAZAS CONTRASTANTES EN UN SISTEMA PASTORIL DE BAJA  
DEPENDENCIA DE INSUMOS EXTERNOS  
ASPECTOS PRODUCTIVOS, FISIOLÓGICOS Y EMISIONES DE METANO

por

Ernesto Ezequiel JORGE SMEDING

TESIS presentada como uno  
de los requisitos para obtener el  
título de Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2017

Tesis aprobada por:

Directora: \_\_\_\_\_

Ing. Agr. PhD. Andrea Álvarez-Oxiley

\_\_\_\_\_

Ing. Agr. PhD. Laura Astigarraga

\_\_\_\_\_

Ing. Agr. Cecilia Loza

\_\_\_\_\_

Ing. Agr. PhD. Mariana Carriquiry

Fecha: 8 de diciembre de 2017.

Autor: \_\_\_\_\_

Ernesto Ezequiel Jorge Smeding

## AGRADECIMIENTOS

«De la abundancia del corazón habla la boca» y eso, al menos para mí, es lo que significa esta tesis: el resultado de trabajar para conseguir aquello que colma, que moviliza lo suficiente para correr un día sí y otro también detrás de las vacas, bajo sol y lluvia, con el barro a caña completa.

Este trabajo, con sus fortalezas y debilidades, es el producto de la conjunción de voluntades y energía de mucha gente, y por tanto no hubiera existido sin su colaboración y su apoyo.

En primer lugar, quiero agradecer a mi tutora, Andrea, por creer en mi desde el principio y darme alas para intentar desarrollar algunas ideas, a veces medio locas. También quiero agradecer a mis cotutoras: a Ceci, por su colaboración en todo momento, por enseñarme la metodología de trazado con SF<sub>6</sub> y sobre todo por trabajar codo a codo para que la etapa de campo saliera adelante; a Laura, por abrirme las puertas de la Unidad de Lechería y por ir entusiasmándose con la tesis a medida que pasó el tiempo (y sobre todo, por tomarse con relativa calma el tema de la cola de las vacas).

También es preciso agradecer la colaboración constante de los funcionarios no docentes y docentes, y equipo de dirección y jefatura de operaciones de la Estación, en especial a Rafa, Joselo, Xenia, Sole, Antonio, Oscar y “El Chino”.

Asimismo, quiero agradecer a la Prof. Mariana Carriquiry por su disposición a ayudarme con la estadística. También fueron de mucha importancia los aportes realizados por el Prof. Oscar Bentancour.

El involucramiento y motivación que el Prof. Daniel Rico manifestó desde el primer momento fueron fundamentales para el desarrollo del experimento. Iguales de sustanciales fueron los aportes del Dr. José Gere.

A lo largo del ensayo se fue sumando gente a colaborar y por tanto quiero agradecerle a todos ellos: Paulina, con quien además compartimos 4º año de Lechería; a Eugenia, Patricia, Lucía, Camilo, Lidia y Camila gracias por las arreadas, por “la cinchada” de tubos, por las horas compartidas a caballo y por el empeño en que las cosas salieran bien.

Si bien finalmente no fue requerido, quiero agradecer a la Prof. Pía Cerdeiras, quien desde hace muchos años ha creído en mis propuestas, por su disposición a colaborar con la importación de material de laboratorio.

El trabajo de investigación, como todo trabajo que se hace de corazón, implica el desafío de horas de actividad y la fortaleza de volver a empezar cuando las cosas salen mal. En estos momentos no hay como el oído de los amigos. A todos ellos, a los de siempre y a los más recientes, ¡muchas gracias! (Gracias, también, por hacer locuras como intentar

resolver ecuaciones diferenciales un 23 de diciembre a las 12 pm además de aguantar pacientemente las múltiples catarsis y mi amor y desamor con esta tesis).

Finalmente, nada de esto ni los años anteriores transcurridos en la universidad hubieran sido posible sin el apoyo de mi familia. En especial, me mantuvieron firme en la convicción de seguir adelante el apoyo de mis tíos Paol y Virginia; el cariño de los gurisitos de la familia (Felipe, Augusto, Nael y Mía); la amistad y la complicidad de mis primos Paul, Mahia, Lech, Gabriela y Jhon; y muy importante, el cariño y el cuidado de mis tías Gonni y Cristina, y de la abuela Zenona (quien me enseñó a querer a las vaquitas holandesas desde que tengo memoria). Sin ustedes, esto no hubiera sido más que una carta de intenciones.

Por último, y aunque la estructura formal de la tesis no lo prevé, quiero dedicar este trabajo a la memoria de la tía Cristina, que también fue un poco madre, y del abuelo Andrés, que cruzó el mar trayendo vacas.

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
TABLA DE ABREVIACIONES.....	VIII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> .....	3
2.1. EFECTO DEL GENOTIPO SOBRE EL PESO VIVO Y LA CONDICIÓN CORPORAL.....	4
2.2. CURVA DE PRODUCCIÓN DE LECHE.....	6
2.2.1. <u>Generalidades</u> .....	6
2.2.2. <u>Efecto del genotipo sobre la curva de producción de                 leche</u> .....	7
2.2.3. <u>Efecto del genotipo sobre la composición de la leche</u> ...	9
2.2.4. <u>Efecto de la interacción genotipo y sistema de                 producción</u> .....	9
2.3. DINÁMICA FISIOLÓGICA Y PARTICIÓN DE LA ENERGÍA DURANTE LA LACTACIÓN Y EL PERÍODO SECO.....	10
2.3.1. <u>Generalidades</u> .....	10
2.3.2. <u>Metabolismo glucídico</u> .....	11
2.3.2.1. Efecto del genotipo sobre la concentración de metabolitos y hormonas del metabolismo glucídico.....	13
2.3.3. <u>Metabolismo lipídico</u> .....	13
2.3.3.1. Efecto del genotipo sobre el metabolismo lipídico.....	15
2.3.4. <u>Metabolismo proteico</u> .....	16
2.3.4.1. Efecto del genotipo sobre la concentración de metabolitos nitrogenados.....	17
2.4. EMISIONES DE METANO EN GANADO LECHERO.....	17
2.4.1. <u>Generalidades</u> .....	17
2.4.2. <u>Efecto de la dieta en las emisiones de metano</u> .....	18
2.4.3. <u>Efecto de la etapa fisiológica</u> .....	20
2.4.4. <u>Efecto del genotipo sobre la producción de metano</u> .....	21
2.5. HIPÓTESIS.....	23
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	24
3.1. LOCALIZACIÓN Y DISEÑO EXPERIMENTAL.....	24

3.2.	CONDICIONES CLIMÁTICAS DURANTE EL EXPERIMENTO Y DIETA DE LOS ANIMALES.....	24
3.3.	MEDICIONES Y MUESTREOS.....	26
3.4.	ANÁLISIS QUÍMICOS Y CÁLCULOS.....	29
3.5.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	30
4.	<u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....	31
4.1.	CONSUMO DE ENERGÍA METABOLIZABLE, PESO VIVO, CONDICIÓN CORPORAL Y BALANCE ENERGÉTICO.....	31
4.1.1.	<u>Resultados</u> .....	31
4.1.2.	<u>Discusión</u> .....	33
4.2.	PRODUCCIÓN DE LECHE Y SÓLIDOS.....	35
4.2.1.	<u>Resultados</u> .....	35
4.2.1.1.	Producción de leche y LCGP.....	35
4.2.1.2.	Composición de la leche y producción de sólidos.....	38
4.2.2.	<u>Discusión</u> .....	39
4.3.	DINÁMICA DE METABOLITOS EN SANGRE.....	42
4.3.1.	<u>Resultados</u> .....	42
4.3.2.	<u>Discusión</u> .....	45
4.4.	EMISIONES DE METANO.....	49
4.4.1.	<u>Resultados</u> .....	49
4.4.2.	<u>Discusión</u> .....	51
4.5.	DISCUSIÓN GENERAL.....	54
5.	<u>CONCLUSIONES</u> .....	58
6.	<u>RESUMEN</u> .....	59
7.	<u>SUMMARY</u> .....	60
8.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	61
9.	<u>ANEXOS</u> .....	75

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Figura No.	Página
1. Vacas utilizadas en el experimento.....	3
2. Curva de PV y CC para varias razas lecheras.....	4
3. Conformación corporal de distintos genotipos lecheros.....	5
4. Curva de lactancia teórica para primavera y otoño.....	7
5. Curva de PL de vacas primíparas HF y N con dos planos nutricionales.....	8
6. Efecto de la etapa de lactación en parámetros del estatus energético.	11
7. Concentraciones plasmáticas de NEFA y BHB en vacas múltiparas entre -15 y 60 días posparto.....	15
8. Efecto del avance de la lactación sobre las emisiones de metano.....	20
9. Intensidad de metano por unidad de leche.....	22
10. Caracterización climática.....	25
11. Esquema del cronograma de las determinaciones y muestreos.....	28
12. CEM, PV, CC y balance energético.....	31
13. Curva de parámetros productivos.....	36
14. Perfil de parámetros metabólicos.....	43
15. Producción de LCGP, sólidos y emisiones de metano.....	49
16. Intensidad de metano por kg de LCGP y sólidos, y Y <sub>me</sub> .....	50
17. Vacas del experimento durante las estimaciones emisiones de metano.....	52
18. Esquema de síntesis de la discusión general.....	55

Tabla No.	Página
1. Producción de leche y sólidos en distintas razas lecheras.....	9
2. Emisiones de metano, Y <sub>m</sub> e intensidad de metano según raza.....	21
3. Asignación de pasturas, forraje conservado y afrechillo de arroz durante el experimento.....	25
4. Resultados estadísticos de los parámetros productivos.....	37
5. Concentración promedio de metabolitos y efecto de los factores fijos según modelo.....	44
6. Resultados estadísticos de las EM y variables asociadas.....	50
7. Parámetros estadísticos descriptivos de las EM según raza y período	50

## TABLA DE ABREVIACIONES

% g	Contenido de grasa en la leche
% l	Contenido de lactosa en la leche
% p	Contenido de proteína en la leche
AA	Aminoácidos
BE	Balance energético
BEN	Balance energético negativo
BHB	B-hidroxibutirato
CC	Condición corporal
CEM	Consumo de energía metabolizable
CMS	Consumo de materia seca
DPP	Días pos parto
DR	Danés rojo
EM	Emisiones de metano
GH	Hormona de crecimiento
HF	Holstein Friesian
HFA	Holstein Friesian americano
HFAD	Holstein Friesian americano de alta longevidad
HFAP	Holstein Friesian americano de alta producción
HFNZ	Holstein Friesian neozelandés
iLCGP	Intensidad de metano por kilogramo de LCGP
iS	Intensidad de metano por kilogramo de sólidos (grasa +proteína)
LCGP	Leche corregida por grasa y proteína
N	Normando
NEFA	Ácidos grasos no esterificados
NG	Neoglucogénesis
NR	Noruego rojo
P1	Período 1
PL	Producción de leche
PS	Pardo suizo
PT	Proteína total
PV	Peso vivo
SPBI	Sistema(s) pastoril(es) de baja dependencia de insumos externos
SR	Sueco rojo
TMR	Dieta totalmente mezcladas
Ym	Rendimiento energético de metano relativo a la energía bruta consumida

Yme Rendimiento energético de metano relativo a la energía metabolizable consumida

## 1. INTRODUCCIÓN

Recientemente ha crecido el interés por los sistemas pastoriles de baja dependencia de insumos externos (SPBI) que apuntan a maximizar la producción animal a partir de pasturas y disminuir el consumo de concentrado. En consecuencia, se trata de esquemas de producción animal con una fuerte base pastoril y con un bajo nivel de subsidio energético desde afuera de los límites del establecimiento, por lo que, en principio, su comportamiento productivo estaría fuertemente afectado por la variabilidad climática. En este sentido, se ha manifestado la importancia de adecuar el tipo de vaca y algunos trabajos internacionales han reportado estudios acerca de la capacidad de adaptación de distintas razas o biotipos lecheros (Delaby et al., 2009). En general, se ha observado que las razas doble propósito tienen una mayor capacidad de adaptación a ambientes exigentes y en Uruguay también ha sido reportada la interacción genotipo\*ambiente.

Por otra parte, en el marco de la preocupación in crescendo de los consumidores acerca del impacto ambiental asociado a los procesos de producción, surge la necesidad estratégica de los países agroexportadores de cuantificar y mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero. De manera que los avances en el conocimiento de esta temática obedecen al interés no solo de disminuir la presión sobre el ambiente sino, también, de asegurar los mercados internacionales para los productos agropecuarios del Uruguay. En este contexto, los SPBI cobran importancia en la medida que se cree que son más amigables con el medio ambiente.

Los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (GEI) arrojaron que en Uruguay el metano –que es el principal GEI con balance positivo– proviene mayoritariamente de la fermentación entérica del ganado vacuno (MVOTMA, 2010). Sin embargo, hasta el momento se han reportado pocos trabajos nacionales que estimen experimentalmente las emisiones de metano (EM) de ganado lechero en producción (por ejemplo Dini et al. 2012, Loza et al. 2016). Por tanto, se necesita contar con estimaciones de las EM en condiciones pastoriles que permitan establecer coeficientes propios para las condiciones del país y conocer mejor el efecto de las diversas razas/biotipos vacunos en distintos sistemas de producción.

Este trabajo de tesis se planteó como objetivo general llevar a cabo un primer trabajo exploratorio a nivel nacional sobre la comparación de dos razas lecheras contrastantes en un sistema pastoril de baja dependencia de insumos externos. Específicamente, el énfasis estuvo dado en 1) determinar el comportamiento productivo (producción de leche, leche corregida por grasa y proteína, contenido de sólidos y producción de sólidos) de vacas multíparas Holstein Friesian (HF) y Normando (N) en condiciones de pastoreo en un SPBI con lactancias de otoño, 2) establecer el efecto de la raza (HF vs. N) sobre la curva de PV, CC y parámetros metabólicos en sangre (glucosa,

colesterol, urea, proteína total, albúmina y globulinas), y 3) estudiar el efecto de la raza y etapa de lactancia sobre las emisiones de CH<sub>4</sub> de vacas multíparas.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Según datos del INALE (s.f.) el rodeo lechero nacional está constituido por 440.000 vacas-masa de las cuales el 83 % corresponde a la raza HF de origen norteamericano (HFA), 9 % a cruzas, 6 % a HF de origen neocelandés (HFNZ), 1 % a N y 1 % a Jersey.

La raza HF es originaria de Frisia, Países Bajos (Frenche et al., 1968), y existen varios biotipos de los cuales se destaca el HFA por ser el que tiene mayor presencia en el mundo. Las vacas adultas de este biotipo se caracterizan tener un peso vivo (PV) promedio en torno a 600 kg, altas producciones individuales de leche y un fenotipo de carácter fuertemente lechero.

El ganado N proviene de la región de Normandía, Francia, y ha sido seleccionado buscando el equilibrio entre la producción de leche y carne por lo que se trata de una raza doble propósito que se caracterizan por tener una buena conformación carnicera (Frenche et al., 1968).

Esta revisión se focaliza en el efecto de la etapa fisiológica y genotipo de la vaca lechera sobre el PV y la condición corporal (CC), la producción de leche (PL), la dinámica de parámetros metabólicos en sangre y las EM.



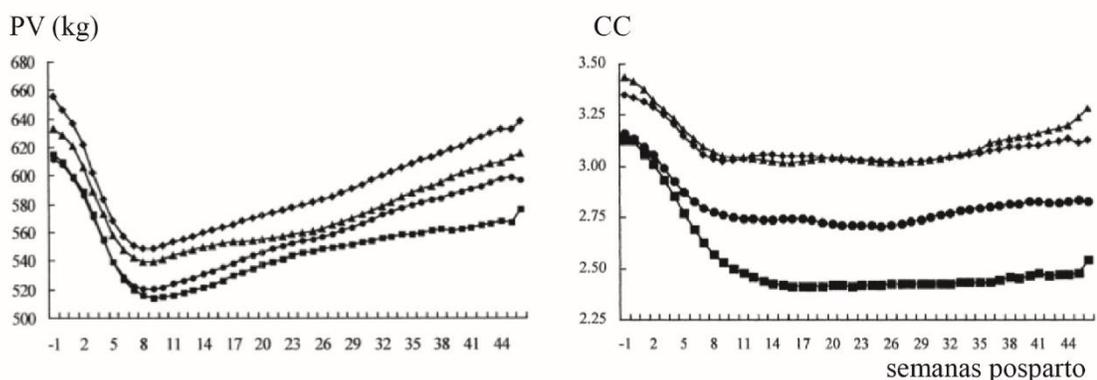
**Figura 1. Vacas de raza Normando (derecha) y Holstein Friesian (izquierda) utilizadas en el experimento de esta investigación.**

## 2.1. EFECTO DEL GENOTIPO SOBRE EL PESO VIVO Y LA CONDICIÓN CORPORAL

Las distintas razas o biotipos lecheros se caracterizan, entre otras cosas, por el PV adulto y las prioridades de partición de la energía entre leche y reservas corporales. Así, se tiene que los genotipos seleccionados para alto nivel de producción de leche individual tienden a presentar menor CC que aquellos seleccionados por contenido de sólidos o razas doble propósito (Roche et al. 2006, Delaby et al. 2009, Pereira et al. 2010, Reiche et al. 2015).

Si bien se han reportado pocos trabajos con Normando, se ha observado que en el promedio de la lactancia las vacas de esta raza estas presentan mayor PV y CC que animales HF (figura 2), tanto en vacas multíparas (Dillon et al. 2003, Delaby et al. 2009) como primíparas (Reiche et al., 2015). No obstante, Bedere et al. (2016) reportaron similar CC y PV en vacas primíparas N y HF al parto.

Asimismo, se ha observado que las razas N y Montbéliarde, ambas doble propósito, tienen similar CC y curva de cambio de CC a lo largo de la lactancia (Dillon et al. 2003, Walsh et al. 2008). Por otra parte, el ganado HF de alta producción ha resultado tener menor CC durante toda la lactancia (Nielsen et al. 2003, Yan et al. 2006a, Walsh et al. 2008) o parte de esta (O'Hara et al., 2016) en comparación con otras razas lecheras como el Sueco Rojo (SR, O'Hara et al. 2016, Ntallaris et al. 2017), Noruego Rojo (NR, Yan et al. 2006a, Walsh et al. 2008, Delaby et al. 2014) o Danés Rojo (DR, Nielsen et al., 2003). No se han encontrado diferencias en CC entre el HF y el Jersey (Nielsen et al. 2003, Alstrup et al. 2015a).



◆, NR; ■, HFA; ▲, MB; ●, HF irlandés seleccionado por contenido de sólido en leche y fertilidad.

**Figura 2. Curva de PV y CC para varias razas lecheras.**

Fuente: modificado de Dillon et al. (2003).

Más aún, investigaciones nacionales (Pereira et al., 2010) e internacionales (Dillon et al. 2003, Roche et al. 2006) ha demostrado que el PV y la CC pueden estar afectados por los biotipos o líneas genéticas intra raciales. En general, los biotipos HF seleccionados para alta producción tienden a tener menores niveles de reservas corporales y a perder más unidades de CC durante la lactancia temprana (Pereira et al., 2010a). Así mismo, ha sido reportado que vacas N seleccionadas para alta producción individual (con igual CC y PV al parto) perdieron CC más rápidamente que aquellas seleccionadas por altos contenidos de sólidos en la leche (Bedere et al., 2016).



A. HFA, fuente: modificado de Europe on livestock UK(s.f.); B. Normando; C. HF biotipo Frizón, fuente: modificado de Fries Holland ras (s.f.); D. Montbéliarde, fuente: modificado de Caraguatá (s.f.).

### Figura 3. Conformación corporal de distintos genotipos lecheros

Las razas o biotipos de alta producción no solamente pierden más unidades de CC y PV (Roche et al., 2009) sino que lo hacen por mayores períodos de tiempo (Pires et al., 2015) y tienen tasas más lentas de recuperación durante la lactancia media y tardía (Dillon et al. 2003, Yan et al. 2006a, Pires et al. 2015). Reiche et al. (2015), en vacas primíparas, reportaron que la raza HF tuvo una mayor pérdida de CC y menor estado corporal en el nadir que el N. Asimismo, la tasa de recuperación de la CC fue similar entre ambas razas y las vacas N acumularon una mayor ganancia de PV al completar la primera

lactancia. Resultados similares han sido observados por Delaby et al. (2009) con vacas primíparas y multíparas en condiciones predominantemente pastoriles.

Más aún, se ha reportado que las dinámicas del PV y de la CC están afectadas por la interacción raza\*estrategia de alimentación. En este sentido, al variar el plano nutricional los genotipos doble propósito son menos sensibles de manera que la raza N tiene más flexibilidad que la raza HF para cambiar de condiciones ambientales (Delaby et al., 2009). Mientras que en condiciones restrictivas ambas razas se comportan de forma similar en términos de pérdida de CC y PV, al ser sometidas a altos planos nutricionales la raza HF pierde más CC y PV que la raza N (Delaby et al., 2009, 2014). Por otra parte, Yan et al. (2006b) encontraron que en planos nutricionales deficientes la raza HF tuvo una menor ganancia de PV que la raza NR, en tanto no hubo diferencias en el plano de alta. Además, en el plano de baja no existieron diferencias raciales en el consumo de energía metabolizable y sí en la PL diaria lo que indica diferentes estrategias de partición de los nutrientes y de la energía según la raza. Así mismo, se ha observado que la CC al secado puede estar afectada por la interacción genotipo\*plano nutricional (Roche et al., 2006).

Asociado a distintas estrategias de alimentación, Horn et al. (2014b) reportaron que el efecto de la época de parto en el cambio diario de PV fue mayor en la raza Pardo Suizo (PS) que un grupo HF seleccionado por persistencia y longevidad. Además, mientras que la raza PS tuvo una mayor pérdida de PV en las lactancias de otoño vs. primavera, en la raza HF no se observó efecto de la estación de parto sobre la pérdida de PV.

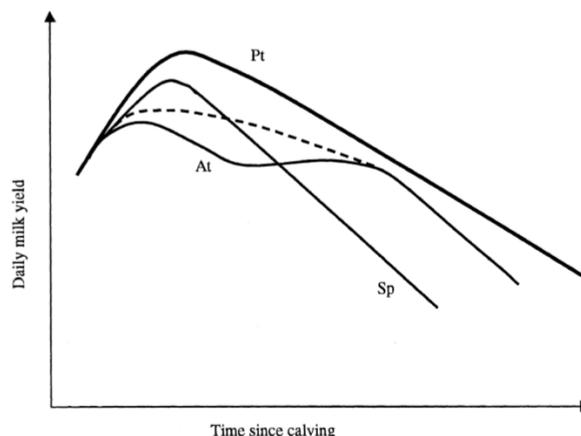
## **2.2. CURVA DE PRODUCCIÓN DE LECHE**

### **2.2.1. Generalidades**

Teóricamente, el ciclo productivo de la vaca lechera está dado por un parto por año en donde la lactancia ocupa 305 días y el período seco 60 días (Schmidt et al., 1984). La curva típica de producción de leche presenta dos etapas bien diferenciadas: una primera, que comienza con el parto y que se caracteriza por un incremento diario en la producción de leche hasta llegar a un máximo (pico de PL), seguida de una segunda, donde se da un decremento relativamente constante en la producción diaria. A su vez, la lactancia suele dividirse en tercios, y normalmente el pico de PL ocurre entre la cuarta y octava semana post parto (Wood 1967, Keown et al. 1986).

No obstante, la curva de PL puede variar dado que está afectada –entre otros– por la genética, la estrategia nutricional y nivel energético de la dieta, así como también el sistema de producción.

Así, en países templados con sistemas de base pastoril, a diferencia de la curva típica que ocurre asociada a los partos de primavera, las lactancias de otoño generalmente presentan dos picos de producción (Naya et al. 2001, Garcia y Holmes 2001). Ha sido indicado que el incremento diario en la PL durante el posparto temprano obedece a la dinámica fisiológica mientras que el segundo pico estaría dado por la mayor disponibilidad en calidad y cantidad de pasturas durante la primavera (Garcia y Holmes, 2001). La caída en la PL durante el invierno indicaría que los sistemas pastoriles no logran cubrir los requerimientos nutricionales para que se exprese el potencial de PL, hecho que se revierte luego en la primavera (Garcia y Holmes, 2001) vinculado a la estacionalidad de la producción de pasturas (Wood, 1972) así como a las distintas estrategias de alimentación adoptadas según la estación de parto (Garcia et al. 1998, Garcia y Holmes 1999). En este sentido, Chilibroste et al. (2002) observaron que en Uruguay, en las lactancias de partos de otoño, el potencial de PL sin explotar era mayor durante el primer pico que durante el segundo. Asimismo, se ha reportado que la estación de partos afecta la duración de la lactancia (MacMillan et al., 1994) y la composición de sólidos (Auld et al., 1998).



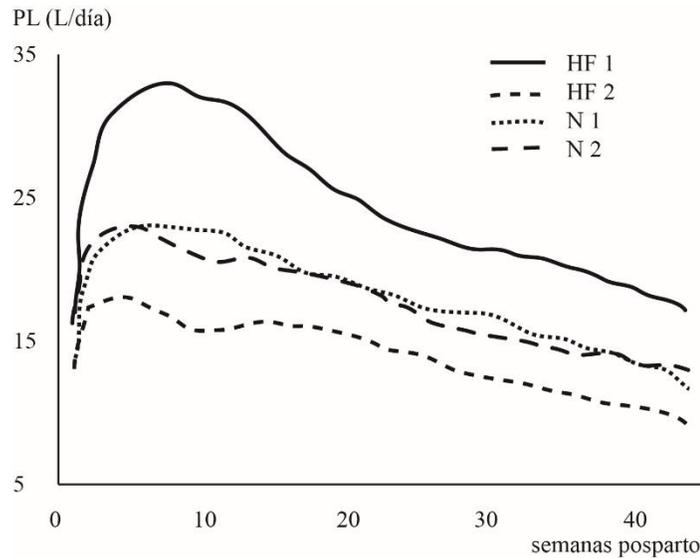
**Figura 4. Curvas de lactancia teórica (Pt), de primavera (Sp) y de otoño (At).**

Fuente: Garcia y Holmes (2001).

### **2.2.2. Efecto del genotipo sobre la curva de producción de leche**

Se ha reportado ampliamente que la mayor PL diaria de las razas o biotipos de alto mérito genético redundan en una mayor PL y sólidos acumulados en la lactancia (Delaby et al. 2009, Pereira et al. 2010a). En este sentido, la raza N tiene menor PL diaria, producción de leche corregida por grasa (LCGP) y PL total acumulada a 305 días de lactancia en comparación con la raza HF (Dillon et al. 2003, Delaby et al. 2009, 2014,

Reiche et al. 2015). Más aún, resultados análogos han sido observados al comparar N con la raza Montbéliarde (Dillon et al., 2003).



**Figura 5. Curva de PL de vacas primíparas de raza HF y N en planos nutricionales de alta (1) y baja (2) oferta.**

Fuente: modificado de Reiche et al. (2015).

Hansen et al. (2006) reportaron que la raza afectó la PL y los días posparto (DPP) al pico de PL y no detectaron que la aceleración de leche –definida por Ingvarlsen et al. (2003) como el incremento o decremento diario en la producción individual– ni el momento en el cual se da la aceleración máxima estuvieran afectados por la raza. Sin embargo, Horan et al. (2005), dentro de la raza HF, observaron que el biotipo HFA tuvo una mayor aceleración en la PL (más positiva hasta el pico de PL y más negativa luego de este) y que alcanzaron el pico de producción antes que los demás biotipos (HFNZ y línea genética longeva).

Además, las razas doble propósito o biotipos seleccionados por contenido de sólidos en leche y fertilidad presentan lactancias más persistentes (Dillon et al. 2003, Yan et al. 2006a) y tienen menos variación en la persistencia al comparar sistemas de alta producción vs. SPBI por lo que los genotipos de alto mérito genético son incapaces de explotar su potencial productivo en estos esquemas de producción (Horan et al., 2005).

### 2.2.3. Efecto del genotipo sobre la composición de la leche

Las razas o biotipos de alto mérito genético producen leche con menor concentración de grasa (Nielsen et al. 2003, Walsh et al. 2008, Pereira et al. 2010a) proteína (Dillon et al. 2003, Horan et al. 2005, Thanner et al. 2014) y lactosa (Walsh et al., 2008).

En este sentido, la leche de N tiene un mayor contenido de proteína que aquella de la raza HF, tanto en la lactancia temprana (Reiche et al., 2015) como en el promedio de la lactancia completa (Dillon et al. 2003, Delaby et al. 2009, 2014, Reiche et al. 2015). Sin embargo, los resultados respecto a la concentración de grasa son inconsistentes: mientras que algunos estudios han observado mayor contenido de grasa en la leche N (Dillon et al. 2003, Delaby et al. 2009, 2014) otros han reportado resultados similares entre estas dos razas (Walsh et al., 2008) e incluso menores en el N (Reiche et al., 2015).

**Tabla 1. Producción de leche y sólidos de distintas razas lecheras de *Bos Taurus*.**

Raza	PL media (kg/vaca/día)	PL total			Producción total de G+P (kg)	
		acumulada (kg)	% G	% P		
HFA*	24,9	6748	3,98	3,49	4,84	504,1
HFNZ*	21,5	5818	4,39	3,61	4,80	465,4
N**	17,9	5641	3,96	3,30	-	399,0
MB***	17,2	5119	3,81	3,49	4,73	373,5
PS****	17,7	5397	4,11	3,41	-	394,0

\*: modificado de Roche et al. (2006); \*\*: Delaby et al. (2009); \*\*\*: Dillon et al. (2003); \*\*\*\*: Horn et al. (2014).

### 2.2.4. Efecto de la interacción genotipo\*sistema de producción

Por otra parte, la interacción raza\*sistema de producción (entendiéndose sistema de producción como variantes asociadas a la época de parto, dieta o estrategia de alimentación) puede afectar la PL y su composición (Horan et al. 2005, Yan et al. 2006a, Horn et al. 2014a).

En este sentido, Delaby et al. (2009, 2014) han establecido que la raza N presenta una mayor flexibilidad que la raza HF al cambiar desde sistemas de alta producción hacia SPBI. En concreto, se ha reportado que la raza HF disminuye más fuertemente el rendimiento diario en PL, grasa y proteína que la raza N al disminuir la disponibilidad de

nutrientes (Delaby et al., 2009). No obstante, Pires et al. (2015) reportaron no haber encontrado efecto significativo de la interacción raza\*sistema de producción sobre ninguno de los parámetros de la lactancia al comparar vacas HF vs. Montbéliarde.

Se ha demostrado que la mayor sensibilidad de la raza HF a dietas más ricas en energía está dada por un mayor incremento en el consumo de energía metabolizable así como una mayor movilización de reservas corporales dirigidas a la PL sin que esto signifique un incremento en la eficiencia biológica de PL (Yan et al., 2006a). Por otra parte, hay evidencia de que los biotipos HF seleccionados por contenido de sólidos y fertilidad tienen una mayor capacidad de respuesta en sistemas pastoriles que aquellos genotipos seleccionados para alta producción (Horn et al., 2014a). No obstante, la PL puede no estar afectada por la interacción biotipo\*estrategia de alimentación (Roche et al. 2006, Walsh et al. 2008) y así mismo, Roche et al. (2006) no encontraron efecto de la interacción biotipo\*estrategia de alimentación sobre la aceleración del contenido de proteína y lactosa y sí sobre la aceleración del contenido de grasa (caída más rápida durante el posparto temprano en el biotipo HFA).

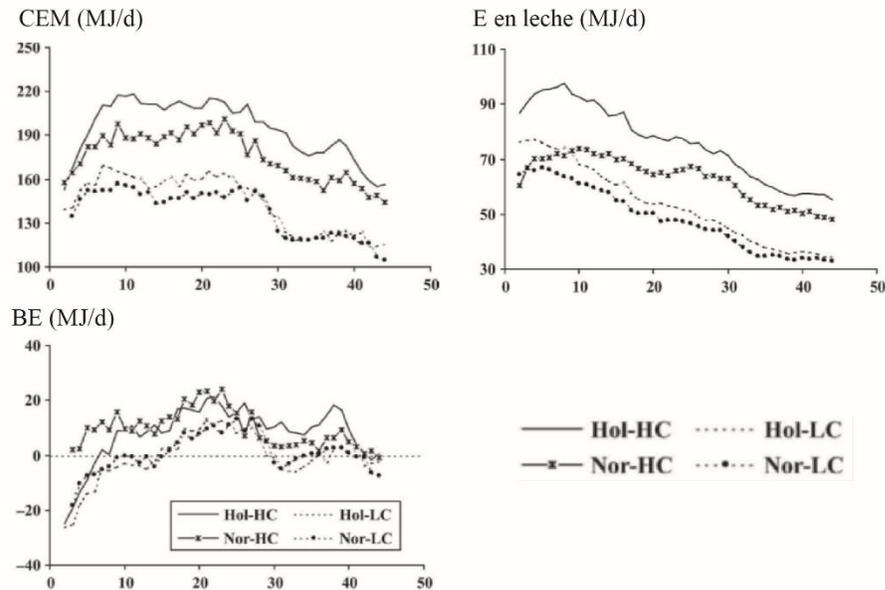
## **2.3. DINÁMICA FISIOLÓGICA Y PARTICIÓN DE LA ENERGÍA DURANTE LA LACTACIÓN Y EL PERÍODO SECO**

### **2.3.2. Generalidades**

La homeostasis radica en el conjunto de procesos de regulación que tienen los organismos y que están dirigidos a mantener dentro de límites más o menos estrechos la composición y propiedades de su medio interno (Bauman y Currie, 1980). Ejemplos de constantes internas reguladas homeostáticamente son la temperatura corporal (Bauman y Currie, 1980) o la concentración de glucosa en sangre (McArt et al., 2013).

Por otra parte, existen cambios metabólicos coordinados con el fin de mantener un determinado estado fisiológico y esto es lo que se conoce como “homeorresis” (Bauman y Currie, 1980). Un ejemplo de ello es el proceso de transición y adaptación metabólica que sufren las vacas lecheras durante el periparto e inicio de la lactancia (Ingvarsen y Andersen 2000, Holtenius et al. 2003, Meikle et al. 2004). En este caso, mediante cambios endócrinos y metabólicos (Holtenius et al., 2003) hay un redireccionamiento del metabolismo hacia la glándula mamaria en orden de proveer la energía y los nutrientes necesarios para la síntesis láctea (Bauman y Currie 1980, Lucy et al. 2001, Pires et al. 2015).

Durante la lactancia temprana, mientras que la PL experimenta una fase creciente hasta llegar a un pico de producción el CMS continúa deprimido (Knight, 2001) y consecuentemente, durante esta etapa la vaca lechera sufre una situación de balance energético negativo (BEN, Bauman y Currie, 1980). Asimismo, durante el BEN los animales movilizan reservas corporales para hacer frente a los requerimientos energéticos (Bauman y Currie 1980, Bell et al. 1995, Vernon y Pond 1997).



Consumo de EM (CEM), energía expedida en la leche (E en leche) y balance energético (BE) para vaca HF (Hol) o NR (Nor) en dietas con alta (HC) o baja (LC) proporción de concentrados.

**Figura 6. Efecto de la etapa de lactación en parámetros del estatus energético.**

Fuente: modificado de Yan et al. (2006a).

La duración del BEN varía según el nivel de PL, estrategias de producción e individuos: en general, el CMS se reestablece entre la semana de lactancia (SL) 8 y 22 (Ingvarlsen y Andersen, 2000) por lo que las vacas se encuentran en BEN típicamente hasta los 4 meses posparto (Knight, 2001). Sin embargo, se han observado situaciones en las que el restablecimiento del balance energético positivo se alcanza luego de las 20 semanas de lactancia (Beever et al., 1998).

### **2.3.2. Metabolismo glucídico**

Durante el inicio de la lactancia los requerimientos de glucosa, aminoácidos (AA) y ácidos grasos aumentan drásticamente y no pueden ser provistos en su totalidad por el CMS y se ha estimado que durante la primera SL los requerimientos serían,

respectivamente, 2.7, 2.0 y 4.5 veces mayores que los requeridos por el concepto en crecimiento (Bell, 1995).

En consecuencia, y dado el rol central que cumple la glucosa en los procesos de crecimiento fetal y síntesis láctea, durante el último tercio de gestación y la lactancia temprana existe un estímulo de la neoglucogénesis (NG) como respuesta al incremento de los requerimientos energéticos (Bell y Bauman, 1997).

Varias hormonas regulan la síntesis de glucosa a nivel hepático como ser la insulina, el glucagón, la hormona de crecimiento (GH, Bell y Bauman, 1997) y algunos glucocorticoides (Cirio y Tebot, 1998).

La insulina aumenta en forma posprandial como consecuencia del pico de AGV en la circulación portal y tiene un efecto hipoglucemiante asociado al efecto depresivo que genera sobre la síntesis de glucosa hepática (“feedback negativo”). Sin embargo, la NG a partir del propionato se incrementa luego de la ingesta. Al respecto, se ha señalado que la insulina disminuye la NG a partir de precursores distintos al ácido propiónico favoreciendo la utilización de este último. Además, estimula la lipogénesis y la síntesis proteica a nivel muscular, es decir, el metabolismo anabólico en los tejidos periféricos en condiciones de BE positivo (Cirio y Tebot, 1998).

Durante los estados fisiológicos de alta demanda energética cae la concentración plasmática de insulina (Walsh et al. 2008, Pereira et al. 2010b, Meikle et al. 2013) y disminuye la relación insulina/glucagón (Cirio y Tebot, 1998) lo que estimula la NG a partir de precursores alternativos al propionato e inhibe la utilización de la glucosa en los tejidos y órganos periféricos (Hart et al., 1978). Más aún, se ha demostrado que mientras que los niveles de insulina aumentan luego del parto en vacas consumiendo dietas totalmente mezcladas (TMR), permanecen bajos en vacas en pastoreo (Meikle et al., 2013).

Durante períodos de subnutrición energética como la lactancia temprana la regulación de la GH sobre la NG juega un rol clave: mientras que la insulina disminuye, la concentración de GH se incrementa junto con la concentración de algunos AA en sangre (Bell y Bauman, 1997), y se ha demostrado que esta hormona estimula la movilización de reservas corporales (Bell y Bauman 1997, Lucy et al. 2001) a la vez que genera un incremento en la PL diaria (Carrquiry et al., 2008, 2009) de manera que constituye una hormona clave en la regulación homeorrética de la dinámica metabólica (Ingvarsen y Andersen, 2000). La GH actúa en varios tejidos, entre ellos la glándula mamaria, mediada por IGF-1 (Cohick, 1998) y durante el BEN de las primeras semanas posparto cuando la concentración de IGF-1 en sangre está disminuida (Radcliff et al., 2003) ocurre un desacople del eje GH - IGF-1 (Vicini et al., 1991).

En síntesis, en condiciones de subalimentación o bajos planos nutricionales la glicemia en sangre disminuye (Drackley et al. 2001, Bjerre-Harpot et al. 2012, Pires et al. 2015) y la importancia relativa de los precursores de la glucosa puede variar: en la medida que el propionato y el lactato provienen del alimento, la participación de estos decrece (Cirio y Tebot, 1998) y la utilización de glicerol y AA glucoformadores a nivel hepático se incrementa (Brockman, 1993).

### **2.3.2.1. Efecto del genotipo sobre la concentración de metabolitos y hormonas del metabolismo glucídico**

Se ha observado que las vacas de alta producción presentan mayor resistencia a la insulina (Xing et al., 1993) y menor concentración de esta hormona (Hart et al., 1978). Sin embargo, existen resultados contradictorios que señalan que los niveles de insulina durante la lactancia temprana no están afectados por el genotipo (Walsh et al. 2008, Pereira et al. 2010b, O'Hara et al. 2016, Ntallaris et al. 2017). No obstante, el efecto de la raza sobre la insulina podría expresarse en condiciones exigentes y en este sentido Pires et al. (2015) reportaron que en dos SPBI (durante la SL 2 y 3) las vacas HF tuvieron niveles más bajos de insulina que aquellas de raza Montbéliarde. Asimismo, se ha observado que la mayor resistencia a la insulina en vacas HF en comparación con SR estuvo asociada a la CC al parto (las vacas SR presentaron mejor CC, O'Hara et al., 2016).

En cuanto a la glicemia existen resultados contradictorios: mientras que Delaby et al. (2009), Reiche et al. (2015) han hallado valores de glicemia similares entre HF y N a los 20 DPP y mayores para HF a los 60 DPP, Pires et al. (2015) observaron que durante la SL 2 y 3 la concentración plasmática de glucosa tendió a ser mayor en la raza HF en comparación con Montbéliarde y Ntallaris et al. (2017) reportaron menores niveles de glucosa en vacas HF en comparación con SR durante el posparto temprano (14 DPP) al tiempo que O'Hara et al. (2016) reportaron valores similares al comparar estas dos razas.

### **2.3.3. Metabolismo lipídico**

Durante la lactancia temprana hay una movilización de las reservas lipídicas y los AG son utilizados en la NG hepática y para proveer energía en algunos órganos periféricos (Bell et al., 1995). Así, los AG, previa  $\beta$ -oxidación, estimulan la actividad de la enzima PEPCCK a través de su forma activada (acetil-CoA, propionil-CoA, butiril-CoA; Cirio y Tebot, 1998).

Durante el proceso de movilización los triacilglicéridos (TAG) se degradan a ácidos grasos no esterificados (NEFA) y glicerol. Los NEFA son utilizados a nivel

hepático tanto para la síntesis de TAG y fosfolípidos (PL) como para su uso dentro de la mitocondria (Cirio y Tebot, 1998). En consecuencia, durante las situaciones de BEN aumenta la concentración de NEFA en sangre (Kessel et al., 2008).

De acuerdo con Cirio y Tebot (1998) los BHB constituyen la sustancia más importante dentro de los cuerpos cetónicos y pueden ser utilizados como sustratos energéticos o durante la lipogénesis en la glándula mamaria. La producción de los cuerpos cetónicos ocurre tanto en el rumen como en el hígado y en este último se realiza dentro de la mitocondria a partir del acetil-CoA de manera que los NEFA son precursores importantes del BHB.

Además, se ha señalado que el aumento de la concentración de la GH estimula la lipólisis (Bell y Bauman, 1997) y por lo tanto tiene una correlación positiva con los niveles de NEFA y BHB en sangre (Djocovick et al., 2015).

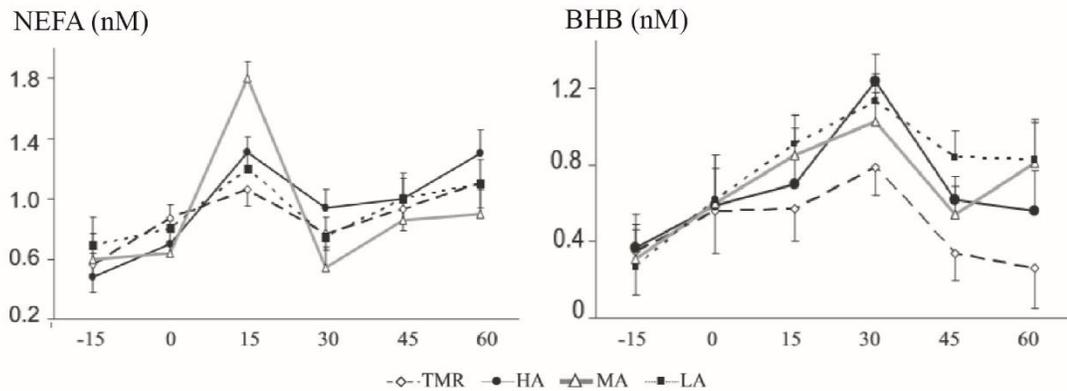
Así mismo, como consecuencia de la movilización de reservas corporales, durante la lactancia temprana ocurre un incremento de la concentración plasmática de NEFA y posteriormente un aumento de la concentración de BHB (Lucy et al. 2001, Meikle et al. 2004, Pereira et al. 2010b, Mouffok et al. 2013, Jeong et al. 2015). Durante la lactancia media y tardía decrecen los niveles de ambos metabolitos (Picioli-Capelli et al., 2014) y se ha observado que la respuesta frente a una restricción nutricional es menor con el avance de la lactancia (Gross et al., 2011).

Por tanto, se ha demostrado que el nivel de BHB en sangre es un indicador del estrés metabólico que supone el BEN (Gross et al. 2011, Bjerre-Harpot et al. 2012) y como consecuencia de las correlaciones encontradas entre el nivel de BEN y la concentración de glucosa, NEFA y BHB, Moyes et al. (2013) han propuesto el “índice de desbalance fisiológico (PI)” según se indica en [1]:

$$PI = (\log [\text{glucosa}] + \log [\text{NEFA}] + \log [\text{BHB}])^{-1} \quad [1]$$

Se ha demostrado que existe una correlación negativa entre la CC en el parto y la concentración de BHB y NEFA en el parto (Meikle et al. 2004, Mouffok et al. 2013, Petrerá et al. 2015).

En el mismo sentido, las vacas que cursan la lactancia temprana consumiendo dietas con menor disponibilidad de nutrientes presentan mayores concentraciones de NEFA (Delaby et al. 2009, Ntallaris et al. 2017) y BHB (Meikle et al. 2013, Pires et al. 2015). No obstante, se ha observado que vacas que consumieron dietas TMR durante esta etapa no mostraron un incremento significativo en el nivel de BHB plasmático (Meikle et al., 2013) y que, en estrategias de alimentación fuertemente pastoriles, la concentración de NEFA y BHB puede estar influenciada –aunque débilmente– por el tipo de mezcla forrajera (Pembleton et al., 2016).



TMR: Dieta totalmente mezclada; HA: alta oferta de pastura (30kg/d); MA: oferta moderada de pastura (15kg/d); LA: baja oferta de pastura.

**Figura 7. Concentraciones plasmáticas de NEFA y BHB en vacas multíparas entre -15 y 60 días posparto.**

Fuente: modificado de Meikle et al. (2013).

Además, asociado a la situación de BEN del periparto, se da una disminución de la concentración plasmática de colesterol (Adrien et al. 2010, Pereira et al. 2010b, Jeong et al. 2015). En efecto, Francisco et al. (2003) han reportado una alta correlación entre el BE, la PL y la concentración de colesterol en sangre. Drackley et al. (2001) sugirieron que una alta glicemia estimularía la síntesis de colesterol a través de un incremento en la concentración de insulina.

### 2.3.3.1. Efecto del genotipo sobre el metabolismo lipídico

Los genotipos de alta PL presentan mayores niveles de NEFA (asociado a una alta movilización de reservas) y BHB (en consecuencia de BEN más pronunciados) durante la lactancia temprana (Pires et al. 2015, Petrerá et al. 2015). En efecto, durante esta etapa, se han reportado mayores niveles de NEFA en la raza HF en comparación con N tanto en vacas primíparas (Reiche et al., 2015) como multíparas (Delaby et al., 2009). Análogamente, se ha observado mayor concentración de BHB en vacas HF en comparación con SR (Pires et al. 2015, Ntallaris et al. 2017).

Por otra parte, hay resultados inconsistentes respecto al efecto del genotipo sobre la concentración plasmática de colesterol. Así, se han reportado niveles mayores (HF vs. raza doble propósito, Petrerá et al., 2015) o menores (HFA vs. HFNZ, Pereira et al., 2010b) en genotipos de alto mérito genético. Además, Adrien et al. (2010) encontraron que la concentración de colesterol no estuvo afectada por la CC.

#### **2.3.4. Metabolismo proteico**

Durante la lactancia temprana existe una movilización de reservas corporales que en situaciones normales implican una pérdida mayoritaria de reservas lipídicas, sin embargo, en situaciones nutricionales exigentes el balance de nitrógeno es negativo y por ende existe una movilización de proteínas musculares que implican que el catabolismo de la proteína lábil aporte AA tanto para la glándula mamaria como para la NG (Bell et al., 2000).

En el posparto temprano el glicerol y el lactato endógeno no son suficientes para cubrir el déficit de propionato y por lo tanto parte de la NG se desarrolla a partir de AA endógenos (Bell y Bauman, 1997). Sin embargo, se ha propuesto que los requerimientos de AA para la NG provienen de la inhibición de la síntesis proteica más que de la movilización real de proteína muscular (Bell, 2000).

Durante los procesos catabólicos hay una desaminación de los AA y los esqueletos carbonados ingresan en las vías glucídicas y lipídicas aportando energía en las situaciones de BEN (Cirio y Tebot, 1998). Más aún, se ha observado una correlación negativa entre la concentración de BHB y 3-metilhistidina en sangre, por lo que la movilización de tejido proteico podría inhibir la síntesis de cuerpos cetónicos (Burhans et al. 2007, van der Drift et al. 2012). De esta manera se libera amoníaco que ingresa al ciclo de la urea en el hígado (Cirio y Tebot, 1998) y se ha observado que aumenta la concentración de urea y amonio en el plasma sanguíneo en condiciones de BEN (Jorritsma et al. 1999, Cavestany et al. 2009). Se ha sugerido, por tanto, que picos de urea en sangre durante las primeras semanas posparto podrían denotar movilización de reservas proteicas para hacer frente el BEN (Adrien et al., 2010).

Sin embargo, la mayor parte del amoníaco que ingresa el ciclo hepático de la urea proviene de la digestión microbiana de los alimentos, y por lo tanto se tiene que la concentración plasmática de urea es un indicador del contenido de nitrógeno de la dieta (Roseler et al. 1993, Baker et al. 1995) ya que al menos un 60% de la urea en sangre proviene del rumen (Cirio y Tebot, 1998). En este sentido, se ha reportado que la concentración de urea en sangre está afectada por la disponibilidad de forraje (Meikle et al., 2013) y por el plano nutricional (Delaby et al., 2009) de manera que los niveles de urea son más bajos en las situaciones más restrictivas.

Por otra parte, se ha observado que durante el parto disminuye la concentración de globulinas (Rowlands et al. 1980, Piccione et al. 2011) y disminuye (Rowlands et al., 2011) o se mantiene relativamente constante el nivel de albúmina en sangre (Piccione et al., 2011). En el caso de las globulinas se ha propuesto que estaría asociado a la exportación masiva de proteínas hacia el calostro y en el caso de la albúmina estaría dado

por la depresión en el CMS que ocurre durante esta etapa (Cavestany et al. 2005, Pereira et al. 2010b, Adrien et al. 2010).

En efecto, Meikle et al. (2013) reportaron menores niveles de PT y albúmina en sangre en vacas que consumían dietas pastoriles más restrictivas lo que sería consecuencia de un balance energético más negativo y se ha demostrado que mientras que la PT en sangre disminuye en vacas multíparas sometidas a planos nutricionales deficientes, se mantiene constante en condiciones nutricionales de alta (Adrien et al., 2010). Además, el perfil de PT y albúmina circulante en sangre están asociados a la funcionalidad hepática (Piccione et al., 2011).

#### **2.3.4. Efecto del genotipo sobre la concentración de metabolitos nitrogenados**

Algunos estudios señalan que la urea en sangre está afectada por la raza (Delaby et al. 2009, Reiche et al. 2015) observándose que los animales seleccionados para alta PL presentan una mayor concentración plasmática. Sin embargo, Pereira et al. (2010b) reportaron concentraciones similares entre biotipos HF durante la lactancia temprana y posteriormente un descenso más drástico en el biotipo HFA.

Pereira et al. (2010b) encontraron que tanto los niveles de PT como de albúmina están afectados por el biotipo, teniéndose valores más altos de PT en plasma en vacas HFA y mayores concentraciones de albúmina en vacas HFNZ.

### **2.4. EMISIONES DE METANO EN GANADO LECHERO**

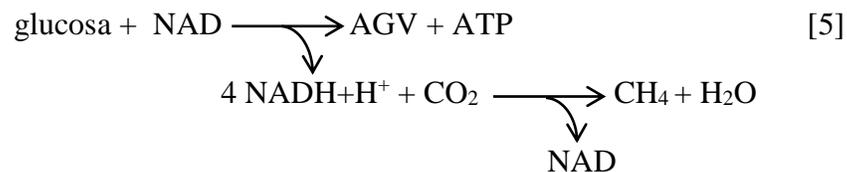
#### **2.4.1. Generalidades**

Durante la glucólisis ruminal se producen ácidos grasos volátiles (AGV), ATP y  $\text{NADH}+\text{H}^+$ . Mientras que el ATP es utilizado como fuente de energía por parte de los microorganismos y los AGV son desechados, el cofactor  $\text{NADH}+\text{H}^+$  debe ser oxidado nuevamente para proveer poder reductor al proceso glucolítico. Ante la ausencia de una cadena respiratoria que sea capaz de aceptar los hidrogeniones del  $\text{NADH}+\text{H}^+$  o  $\text{FADH}_2$  en las condiciones anaeróbicas del rumen el carbono actúa como receptor de estos sintetizándose de este modo metano ( $\text{CH}_4$ , Reilling y Mattioli, s.f.). En efecto, las arqueobacterias metanogénicas sintetizan metano a partir de  $\text{CO}_2$  e hidrogeniones utilizando el hidrógeno como fuente de energía (Martin et al., 2008).

Asimismo, las distintas vías metabólicas que dan origen a los diferentes AGV, originan distintos balances de hidrogeniones y por lo tanto afectan la tasa de síntesis de metano. En efecto, mientras que la formación de propionato no origina metano, la degradación de los carbohidratos a acetato y butirato generan suficientes hidrogeniones para la formación de 1 o ½ molécula de CH<sub>4</sub> respectivamente (Reilling y Mattioli, s.f.). En las ecuaciones [2], [3] y [4] se aprecian dichas relaciones estequiométricas:



Asimismo, en [5] se tiene el resumen de la síntesis de metano entérico:



En 1976 Murray et al. establecieron que aproximadamente el 99% del metano entérico en los rumiantes es excretado mediante eructos y exhalaciones. Esto, como consecuencia de que el 95% del CH<sub>4</sub> ruminal es eructado y el 87% del CH<sub>4</sub> producido a nivel intestinal es absorbido e incorporado a la circulación sanguínea, y posteriormente eliminado por vía pulmonar.

Dado que el metano no puede ser utilizado como fuente de energía para el animal afecta negativamente la eficiencia energética de los rumiantes en producción. Cuantitativamente, representa entre un 2 y 12 % y entre 8 y un 14 % en términos de energía bruta (Johnson y Johnson 1995, Pinares-Patiño et al. 2003, Vlaming 2008) o digestible (Cottle et al., 2011) respectivamente. A nivel internacional, la relación energética entre el CH<sub>4</sub> emitido y la EB consumida se denomina Y<sub>m</sub> (“methane yield”, Lassey, 2007).

#### **2.4.2. Efecto de la dieta sobre las emisiones de metano**

En primer término, las emisiones diarias de metano por animal están dadas por el nivel de consumo, existiendo una relación positiva entre el CMS y la producción de

metano (Lassey et al. 1997, Yan et al. 2006b, Rico et al. 2015). No obstante, se ha observado una variabilidad importante en los niveles de metano generado para niveles iguales de CMS (Lassey et al., 1997). Además, Yan et al. (2006b) reportaron que la relación entre las emisiones diarias de CH<sub>4</sub> y el nivel de CMS se ajusta mejor a relaciones cuadráticas que a lineales.

En cuanto al rendimiento de metano en función del nivel de consumo, Lassey et al. (1997) dieron cuenta de una correlación negativa entre ambas variables.

Dada la estequiometría de producción de metano se tiene que aquellas dietas que favorecen la producción de acetato, es decir, ricas en fibras (Reilling y Mattioli, s.f.) y carbohidratos estructurales (Janssen, 2010) están asociadas a una producción mayor de metano entérico. Si bien la producción total de metano (kg CH<sub>4</sub>/vaca/día) puede tener una relación negativa con la proporción de forraje y el contenido de FDN y FDA (Yan et al. 2006b, Dall-Orsoletta et al. 2016), las dietas con altos contenidos de forraje presentan Ym más altos que aquellas con alta presencia de concentrados (Harper et al., 1999).

En efecto, se ha observado que las dietas con mayor digestibilidad (Hristov et al. 2013, Muñoz et al. 2016) y calidad en general (Wims et al. 2010, Muñoz et al. 2016) tienen menores EM por unidad de MS consumida y en consecuencia ha sido propuesta la utilización de dietas con mayor contenido de carbohidratos fácilmente fermentescibles a los efectos de disminuir el Ym (Martin et al., 2010).

Al respecto, O'Brien (2010) indica que en los sistemas lecheros pastoriles existen pocas posibilidades de bajar las emisiones de metano entérico con base en cambios en la dieta ya que las pasturas son la pieza clave del esquema de producción. Sin embargo, se ha reportado que al comparar vacas consumiendo TMR contra vacas pastoreando raigrás, o raigrás + TMR, las primeras no solamente emitieron mayor cantidad de metano por día sino que el Ym también fue superior (O'Neill et al. 2011, Dall-Orsoletta et al. 2016) y esto fue consecuencia de que el consumo de FDN y la relación FDA/FDN fue mayor en el tratamiento con TMR (Dall-Orsoletta et al., 2016). Más aún, las EM depende principalmente del consumo de FDN digestible (Dini et al., 2012).

Por otra parte, Gidlund et al. (2017) apreciaron que el Ym tendió a ser menor con dietas cuyo ensilaje tuvo mayor relación *Trifolium pratense*/gramíneas (70% vs. 30% MS de *Trifolium pratense*), en tanto Hammond et al. (2014) no observaron diferencias entre trébol rojo y raigrás perenne en el rendimiento de metano.

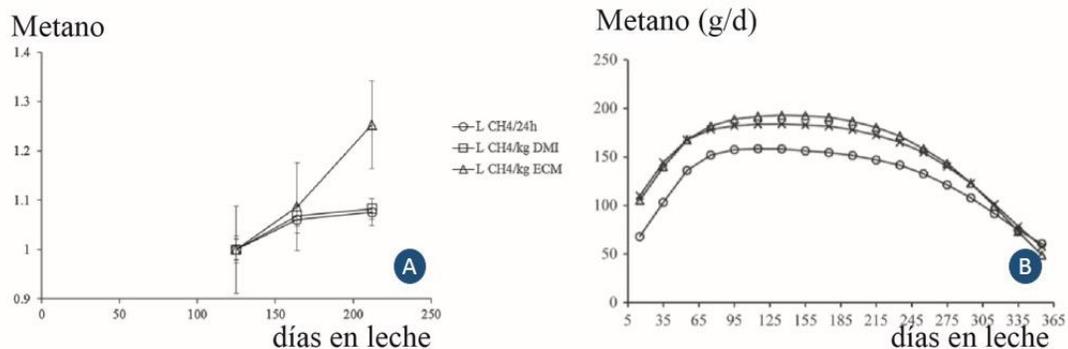
En términos de contenido protéico se ha observado que las más ricas en proteína han disminuido (Muñoz et al. 2015, Gidlund et al. 2017) o no han afectado (Hynes et al., 2016) el Ym. Al respecto, Bannink et al. (2006), Sveinbjörnsson et al. (2006) han propuesto estequímicamente que la fermentación ruminal de las proteínas produce entre

un 30 y un 50 % menos de metano. Asimismo, el incremento de la fracción proteína en las dietas estimula el CMS (Yan et al., 2000), lo que está asociado a menores  $Y_m$ .

Por otra parte se ha observado que a niveles de consumo similares, las EM han sido mayores en verano que en primavera, lo que se ha vinculado con el estado fenológico de las pasturas (Robertson y Waghorn, 2002). Resultados nacionales en ganado de carne han mostrado el mismo comportamiento<sup>1</sup>.

### 2.4.3. Efecto de la etapa fisiológica

La curva de producción de metano a lo largo del ciclo biológico,  $Y_m$  e  $i_m$  ha sido estudiada en forma escasa. En primer lugar, se ha reportado que las EM presentan una curva similar a la de PL dado que aumentan durante la lactancia temprana en correlación con el restablecimiento del CMS (Garnsworthy et al., 2012) y luego decrecen durante las etapas avanzadas (Garnsworthy et al. 2012, Vanlierde et al. 2015). No obstante, en ambos trabajos se encontró que el incremento ocurría hasta las 20 (Garnsworthy et al., 2012) o 15 (Vanlierde et al., 2015) semanas posparto, es decir, más allá de los picos de PL y de CMS.



A: modificado de Alstrup et al. (2015b); B: modificado de Vanlierde et al. (2015).

**Figura 8. Efecto del avance de la lactación sobre las emisiones de metano.**

Por otra parte, existen resultados contradictorios donde se da cuenta de EM similares e incremento en la intensidad de metano ( $i_m$ ) por unidad de producto ( $i_{LCGP}$ :  $gCH_4/kgLCGP$ ;  $i_S$ :  $gCH_4/kg$  grasa + proteína) a lo largo de la lactación y el período seco (Kreuzer y Münger, 2006). En cuanto a la  $i_m$ , esto estaría dado en condiciones de

<sup>1</sup> Orcasberro, S. 2017. Com. personal.

mantenimiento del CMS y caída en la PL a lo largo de la lactación (Cammell et al. 2000, Kreuzer y Münger 2006).

No obstante, Alstrup et al. (2015b) indican que observaron un incremento tanto en la producción de metano como en el  $Y_m$  y en la  $i_m$  con el avance de la lactación (figura 8), lo que no estuvo asociado al CMS ya que la relación  $g\ CH_4/kg\ MS$  también aumentó mientras que el CMS y la fracción forraje:concentrado se mantuvieron constante a lo largo del experimento.

Asimismo, otros factores como la distribución etaria del rodeo, el porcentaje de reemplazos, la eficiencia reproductiva (Garnsworthy, 2011) o el número de partos (Garnsworthy et al., 2012) afectan la producción de metano por unidad de producto.

#### **2.4.4. Efecto del genotipo sobre la producción de metano**

En cuanto al efecto del genotipo sobre las EM la literatura existente es escasa, teniéndose que en parte de los trabajos las estimaciones han sido desarrolladas con base en análisis de aire eructado (por ejemplo: Robertson y Waghorn 2002, Münger y Kreuzer 2006, Hynes et al. 2016), en tanto otros son estudios de sistemas de producción basados en modelos de estimaciones y/o simulaciones (por ejemplo: Chagunda et al. 2009, O'Brien et al. 2010, Ross et al. 2014).

Münger y Kreuzer (2006) observaron que vacas multíparas HF y Fleckvieh-Simmental, con similares PV y CMS, tuvieron emisiones similares (394 vs. 392 g/día) entre ellas y mayores que animales de raza J (309 g/día). Sin embargo, en varias etapas de la lactancia, el ganado doble propósito presentó la mayor  $i_m$  (calculada sobre LCGP) como consecuencia de una menor PL diaria. Asimismo, Hynes et al. (2016) reportaron emisiones,  $Y_m$ , y relación  $CH_4:EM$  (MJ/MJ) similares entre HF y HFxSR.

**Tabla 2. Emisiones de metano,  $Y_m$  e  $i_m$  según raza.**

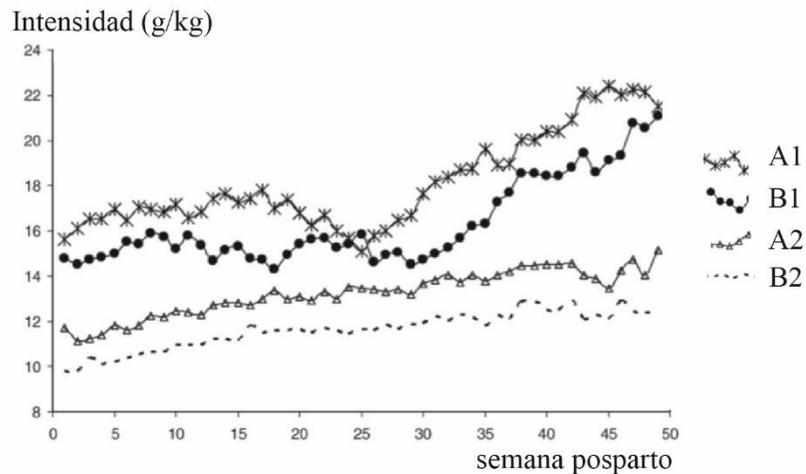
Raza	Período seco			Promedio de la lactación		
	Metano (g/d)	$Y_m$ (g/kg CMS)	Intensidad (g/kg LCG)	Metano (g/d)	$Y_m$ (g/kg CMS)	Intensidad (g/kg LCG)
HF	196 <sup>a</sup>	25,0 <sup>b</sup>	-	394 <sup>A</sup>	24,6	19,8 <sup>B</sup>
J	149 <sup>b</sup>	27,6 <sup>a</sup>	-	309 <sup>B</sup>	25,3	20,4 <sup>B</sup>
Fleckvieh	222 <sup>a</sup>	27,4 <sup>ab</sup>	-	392 <sup>A</sup>	25,6	24,0 <sup>A</sup>

Letras distintas significan diferencias significativas.

Fuente: modificado de Münger y Kreuzer (2006).

Por el contrario, otros trabajos han observado menores emisiones y  $Y_m$  para vacas de alta producción individual, en el principio de la lactación (en tanto no hubo diferencias hacia el final de la lactación, Robertson y Waghorn, 2002) o independientemente de la dieta (alto % de forraje vs. alto % de concentrado, Chagunda et al., 2009).

Por otra parte, en un estudio sistémico de emisiones de GEI con base en modelos de estimación se ha encontrado que la huella de carbono estuvo afectada por la interacción biotipo\*sistema de producción (biotipos HFNZ; HF americano longevo, HFAD; HF americano de alta producción, HFAP; sistemas pastoril, MP; alta carga de pastoreo, HS; alto % de concentrado en la dieta, HC, O'Brien et al., 2010). En efecto, los autores observaron que mientras que los animales de origen norteamericano tuvieron la menor  $i_m$  en el sistema HC el ganado de origen neozelandés lo hizo en HS. Más aún, en cuanto a la  $i_S$  se tuvo que los menores valores de emisiones fueron dadas por el ganado HFNZ en el sistema HS. Finalmente, menores emisiones de GEI por unidad de superficie ( $CO_2$  eq, t./ha) fueron generadas por el biotipo HFNZ en el sistema MP.



Vacas de alto (A) y bajo (B) mérito genético en sistemas de alta (1) y baja (2) oferta de forraje.

**Figura 9. Intensidad de metano por unidad de leche.**

Fuente: modificado de Chagunda et al. (2009).

## **2.5. HIPÓTESIS**

El presente trabajo de investigación parte de la hipótesis de que las vacas HF tienen un mayor carácter lechero que las N dado por una partición de la energía distinta entre las razas. A su vez, las EM no difieren entre razas y la intensidad de metano por unidad de producto es mayor en la raza N.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. LOCALIZACIÓN Y DISEÑO EXPERIMENTAL**

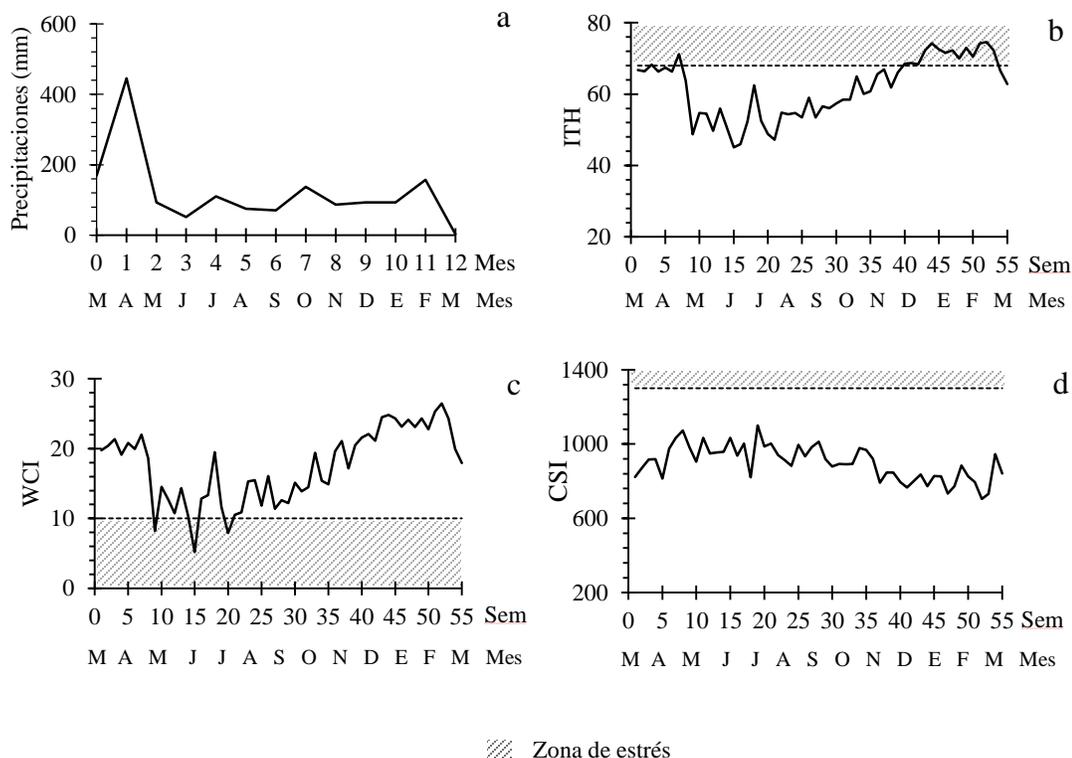
El experimento se llevó a cabo en la Estación Experimental Bernardo Rossengurtt de la Facultad Agronomía (UdelaR) situada en la ruta 26, km. 408 (32°21' S, 54°26' O), departamento de Cerro Largo, Uruguay. Se utilizaron 27 vacas lecheras multíparas de raza Normando (n = 13) y Holstein Friesian (n = 14). Los animales fueron seleccionados de acuerdo a la fecha probable de parto (abril) y en el inicio del experimento las vacas tuvieron un PV promedio de  $675,7 \pm 32,8$  kg y  $678,6 \pm 44,8$  kg para cada raza respectivamente.

Las vacas N parieron el 20/4/2016  $\pm 9,9$  días y las HF el 4/4/2016  $\pm 12,9$  días. A partir del segundo día postparto fueron manejadas en un solo lote en conjunto con el resto de las vacas en ordeño del tambo y permanecieron en condiciones de cielo abierto durante todo el experimento. Las vacas fueron secadas el 24/2/2017 o cuando la PL fuera igual o menor a 4 L/día. Los ordeños se realizaron diariamente a las 7.30 y 16.30 h.

#### **3.2. CONDICIONES CLIMÁTICAS DURANTE EL EXPERIMENTO Y DIETA DE LOS ANIMALES**

Los registros climáticos fueron obtenidos de la estación meteorológica de Melo del Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET, 2017). La mayor singularidad del período en el que se llevó a cabo el experimento fue la alta pluviosidad registradas durante el otoño e invierno de 2016, especialmente en el mes de abril cuando las precipitaciones mensuales acumuladas alcanzaron los 445 mm. En la figura 9 se aprecia el desarrollo de las precipitaciones acumuladas mensuales, el índice de temperatura y humedad (ITH, Kliber, 1964), el “wind chill index” (WCI, Siple y Passel, 1945) y el “cold stress index” (CSI, Donnelly, 1984).

En cuanto a la alimentación de las vacas, en el preparto pastorearon campo natural y se les ofreció cantidades crecientes de afrechillo de arroz hasta alcanzar 8 kg MF/vaca/d. Durante la lactancia la dieta consistió de pasturas cosechadas en pie, heno de moha o praderas, ensilaje de sorgo de planta entera y afrechillo de arroz cuyas ofertas variaron de acuerdo a la disponibilidad de pasturas, estado fisiológico de las vacas y aptitud climática para el pastoreo. El afrechillo fue dispensado en cada ordeño dentro de la sala y el forraje conservado en un potrero destinado a tales efectos. En la tabla se aprecia el detalle del No. de pastoreos diarios, de asignación de forraje conservado y afrechillo durante la lactancia. En el período seco las vacas pastorearon sorgo forrajero (*Sorghum vulgare*). En la tabla 3 se aprecia el número de pastoreos y la oferta de forraje conservado y afrechillo de arroz.



**Figura 10. Precipitación mensual acumulada (a), ITH semanal promedio (b), WCI semanal promedio (c) y CSI semanal promedio (d) para el período temporal del experimento.**

**Tabla 3. Pastoreos diarios y oferta de forraje conservado y afrechillo de arroz durante el experimento\*.**

Fecha	No.	Pastoreos pastura	Ensilaje (kg MS/vaca/d)	Heno (kg MS/vaca/d)	Af. Arroz (kg MS /vaca/ordeño)
28/3/2016	2	cebadilla			1.3
22/4/2016			6	7	1.3
2/5/2016	1	avena	6		1.8
17/5/2016	1	pp 3er. año (festuca+TB+lotus)	6	3.5	1.8
31/5/2016	1	avena	6		2.2
7/8/2016	1	avena		7	2.2
13/8/2016	1	pp 2°. año (cebadilla + TR)		7	2.2

25/8/2016	2	avena	2.2
28/9/2016	2	pp 3er. año (festuca+TB+lotus)	1.8
18/10/2016	2	pp 2°. año (cebadilla + TR)	1.3
27/10/2016	2	pp 3er. año (festuca+TB+lotus)	1.3
15/11/2016	2	pp 2°. año (cebadilla + TR)	1.3
29/11/2016	2	pp 4°. año (alfalfa + TB+ Pasp+Dact)	1.3
13/12/2016	2	pp 3er. año festuca+TB+lotus	1.3
7/1/2017	2	Sorgo forrajero	1.3

\*: la oferta en MS de forraje conservado y afrechillo de arroz están estimadas a partir de la oferta en MF y resultados de % MS según Cozzolino et al. (1994). pp: pradera permanente; Cebadilla: *Bromus auleticus*; Avena: *Avena bizantina*; alfalfa: *Medicago sativa*; Lotus: *Lous cornicolatus*; Festuca: *Festuca arundinaceae*; Dact: *Dactilys glomerata*; TB: *Trifolium repens*; TR: *Trifolium pratense*; Pasp: *Paspalum dilatatum*; Sorgo forrajero: *Sorghum vulgare*.

### 3.3. MEDICIONES Y MUESTREOS

Desde la semana 2 previa al parto y hasta la semana 48 posparto se midió mensualmente el PV y se estimó la CC de acuerdo a una escala de 1 a 5 con 0.25 punto de precisión (Edmonson et al., 1989). El PV fue corregido por peso de útero grávido según Ferrel et al. (1976).

En coincidencia con las determinaciones de PV y CC se extrajeron muestras de 10 mL de sangre de la vena coccígea utilizando tubos vacutainer® heparinizados. La sangre fue centrifugada a 3000 g en la primera hora de extraída y el plasma almacenado a -20 °C hasta el momento de los análisis bioquímicos.

Desde la SL 2 y hasta el momento del secado se midió quincenalmente la PL individual utilizando medidores Waikato® y se tomaron muestras de leche de 60 ml. Dichas muestras fueron refrigeradas a 5 °C con conservante Bronopol® y enviadas al laboratorio COLAVECO (Colonia) para determinar la concentración de sólidos.

A los  $111 \pm 13$  (período 1, P1) y  $222 \pm 13$  (período 2, P2) DPP se estimaron las emisiones de CH<sub>4</sub> mediante el método de trazado con SF<sub>6</sub> (Johnson et al., 1994, modificado por Gere et al., 2012) en 10 vacas de cada raza (n = 20) que fueron seleccionadas aleatoriamente al inicio del experimento. Durante los 5 días que duró cada período experimental se midió individualmente la PL y se extrajeron muestras de leche (am y pm) para el análisis de la composición. P1 se llevó a cabo en invierno (julio-agosto) y P2 en primavera tardía (noviembre).

En la figura 10 se aprecia el esquema del cronograma de muestreos y determinaciones de todo el experimento.



### 3.4. ANÁLISIS QUÍMICOS Y CÁLCULOS

La concentración de grasa, proteína y lactosa en la leche se determinó mediante espectroscopía infrarroja (Bentley 2000 Infrared Milk Analyzer, Bentley Instruments Inc., Chaska, MN, EE.UU.) a través del método IR - IDF 141C:2013 y los resultados están expresadas en % masa/volumen. Se calculó la leche corregida por grasa y proteína (LCGP) de acuerdo con IFCN (2010).

En las muestras de plasma se cuantificó la concentración de glucosa, urea, colesterol, proteína total (PT) y albúmina. La concentración de globulinas se estimó como la diferencia entre la proteína total y la albúmina (Cavestany et al., 2005). Las determinaciones se realizaron por colorimetría utilizando kits comerciales (BioSystems SA, Barcelona, España) según los siguientes métodos: glucosa: oxidasa/peroxidasa, urea: ureasa/salicilato, colesterol: oxidasa/peroxidasa, PT: biuret, albúmina: verde de bromocresol. Para la glucosa y el colesterol se utilizó un espectrofotómetro lector de microplacas MRC instrument UTC2100c® y los demás análisis se realizaron con un espectrofotómetro lector de microplacas Thermo Scientific Multiskan FC. Los CV para los controles de alta y baja concentración fueron 4.81 y 5.19, 4.9 y 7.92, 5.6 y 6.8, 6.4 y 5.4, 4.36 y 6.53 % para la glucosa, colesterol, urea, PT y albúmina respectivamente.

Los requerimientos energéticos y el consumo de energía metabolizable (CEM) se estimaron mensualmente según NRC (2001). El CEM se calculó a partir de la SL 2 ya que en el parto se asumió que los animales mantenían PV y CC para poder comenzar con el cálculo hacia adelante.

En las muestras de aire eructado se determinó la concentración de CH<sub>4</sub> y SF<sub>6</sub> mediante cromatografía de gases (Agilent 7890B) en el laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Agronomía (UdelaR). La cuantificación de metano se realizó utilizando un loop de 3 mL, columna capilar HP-PLOTQ (0.25 mm d.i., 30 m de largo) y detector de ionización de llamas. Para la concentración de SF<sub>6</sub> se utilizó un loop de 1 mL, columna capilar HPMOLSIV (0.25 mm d.i., 30 m de largo).

Las emisiones diarias de metano (EM) se estimaron según Johnson et al. (1994, ver anexo 1) y se calculó la intensidad de metano por unidad de LCGP (iLCGP, g/kg) y por unidad de sólidos (iS, g/kg grasa + proteína). Se estimó el rendimiento energético de metano en relación al CEM (Y<sub>me</sub>, adimensional).

### 3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para todas las variables el diseño experimental fue complemento al azar (DCA) y el análisis estadístico se llevó a cabo utilizando modelos mixtos (PROC MIXED) del paquete estadístico SAS (del SAS Institute).

En el caso del PV, CC, BE, CEM, PL, PLCGP, composición de la leche y rendimiento de sólidos se consideraron como efectos fijos la raza, la SL y la interacción raza\*SL y como efecto aleatorio el individuo anidado dentro de la raza (modelo 1). Las variables de respuesta se analizaron como medidas repetidas en el tiempo siendo la SL el factor de repetición.

Los parámetros metabólicos fueron analizados con el modelo 1 y con el modelo 2 siendo la diferencia entre ambos que en el segundo caso el factor de repetición fue la fecha de muestreo (0; 1; 2;...; 12).

En el modelo 1 y 2 se utilizó la estructura de covarianza sp(spow) dado que las fechas de muestreo no tuvieron un espaciamiento uniforme en el tiempo (Littel et al., 2006).

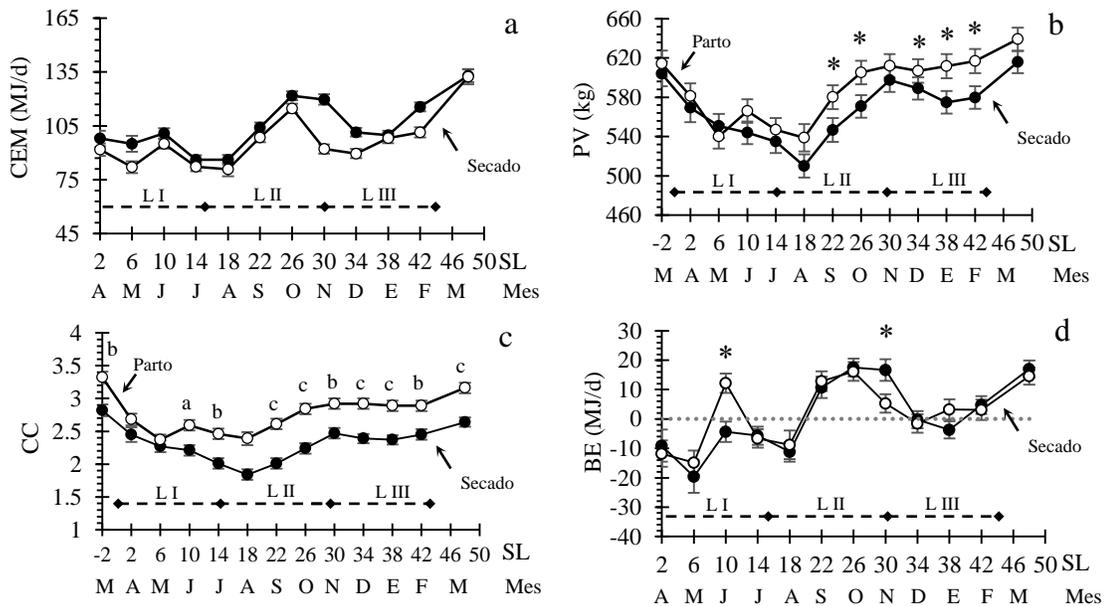
En el caso de las EM y las demás variables asociadas se consideraron como efectos fijos la raza, el período experimental y la interacción raza\*período y como efecto aleatorio el individuo anidado en la raza. Las variables de respuesta se analizaron como medidas repetidas en el tiempo siendo el período experimental el factor de repetición con estructura de covarianza ar(1).

En todos los casos se testearon como covariables los días en gestación, la paridad y la fecha de parto, y fueron mantenidas en el modelo siempre que  $P \leq 0.05$ . Los grados de libertad se ajustaron según el método de Kenward-Rogers y las medias se separaron con LSD Fisher considerándose efecto significativo de los factores fijos en caso de  $P \leq 0.05$  y tendencia con  $P \leq 0.1$ .

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. CONSUMO DE ENERGÍA METABOLIZABLE, PESO VIVO, CONDICIÓN CORPORAL Y BALANCE ENERGÉTICO

#### 4.1.1. Resultados



Diferencias significativas entre razas están indicadas con \* ( $P < 0.05$ ) y con letras (a:  $0.001 \leq P < 0.01$ ; b:  $0.0001 \leq P < 0.001$ ; c:  $P < 0.0001$ )

**Figura 12.** CEM (a), PV (b), CC (c) y BE (d) en las vacas HF (●) y N (○).

El CEM estuvo afectado por la raza (HF:  $156.0 \pm 2.8$  MJ, N:  $143.2 \pm 3.0$  MJ,  $P = 0.0039$ ) y por la SL ( $P < 0.0001$ ), y tendió fuertemente a estar afectado por la interacción raza\*SL ( $P = 0.0530$ ). A su vez, fue similar entre la SL 2 y la SL 6 ( $P = 0.2447$ ) y luego aumentó hasta la SL 10 ( $P = 0.0462$ ). En la SL 14 el CEM disminuyó ( $P = 0.0010$ ) y se mantuvo constante hasta la SL 18 ( $P = 0.8489$ ). Luego, se observó un incremento hasta la SL 26 en ambas razas ( $P < 0.0001$ ) manteniéndose constante hasta la SL 34 en la raza HF

( $P > 0.05$ ) y decreciendo un mes antes en la raza N ( $P < 0.0001$ ). Finalmente, entre la SL 34 y el período seco se observó un incremento en el CEM ( $P = 0.0007$ ).

EL PV estuvo afectado por la interacción raza\*SL ( $P = 0.0255$ ) y por la SL ( $P < 0.0001$ ), y fue similar entre razas (HF:  $569.2 \pm 10.1$  kg, N:  $589.9 \pm 10.5$  kg;  $P = 0.1689$ ). En ambos genotipos el PV disminuyó entre el parto y la SL 6 ( $P < 0.0001$ ). Mientras que en las vacas HF el PV siguió disminuyendo hasta la SL 18 ( $P < 0.05$ ) en el N hubo un aumento entre la SL 6 y la SL 10 ( $P = 0.0006$ ) y luego decreció hasta la SL 18 ( $P = 0.0130$ ) alcanzando niveles similares a los de la SL 6 ( $P = 0.9487$ ). En ambas razas hubo una ganancia de PV entre la SL 18 y la SL 30 ( $P < 0.0001$ ) al tiempo que las vacas N tendieron a tener mayor PV en la SL 22 ( $P = 0.0546$ ) y tuvieron mayor PV en la SL 26 ( $P = 0.0454$ ). Por otra parte, mientras que en la raza HF el PV disminuyó entre la SL 30 y 38 ( $P = 0.0102$ ) en la raza N se mantuvo constante hasta la SL 42 ( $P = 0.5896$ ). En ambas razas el PV fue mayor en el período seco en comparación con el momento previo al secado ( $P < 0.0001$ ).

La CC estuvo afectada por la interacción raza\*SL ( $P = 0.0206$ ), así mientras que en el parto la raza N tuvo mayor CC que la raza HF ( $P = 0.0002$ ), se observó un decremento en ambas razas entre el parto y la SL 6 ( $P < 0.0001$ ) siendo similar entre genotipos en la SL 2 y la SL 6 ( $P > 0.05$ ). Posteriormente, mientras que la CC siguió disminuyendo hasta la SL 18 ( $P < 0.0001$ ) en las vacas HF, en la raza N la CC aumentó hasta la SL 10 ( $P = 0.0020$ ) y luego disminuyó hasta la SL 18 ( $P = 0.0483$ ) alcanzando una CC similar a la de la SL 6 ( $P = 0.8124$ ). Entre la SL 18 y la SL 30 la CC aumentó en ambas razas ( $P < 0.0001$ ) y se mantuvo en niveles similares entre este momento y la SL 42 ( $P = 0.7188$ ). La CC fue mayor en el período seco que en el momento previo al secado ( $P < 0.0001$ ).

El BE estuvo afectado por la interacción raza\*SL ( $P = 0.0500$ ). Así, ambas razas estuvieron en una situación de BEN y similar entre la SL 2 y la SL 6 ( $P = 0.1575$ ) y aumentó luego en la SL 10. Sin embargo, las vacas N tuvieron un mayor BE ( $P = 0.0010$ ) que las HF durante ese momento y además fue positivo. Luego, mientras que en la raza HF el BE se mantuvo negativo y en niveles similares entre la SL 10 y la SL 18 ( $P = 0.1445$ ), en la raza N el BE disminuyó en la SL 14 ( $P < 0.0001$ ) y se mantuvo en niveles similares hasta la SL 18 ( $P = 0.7051$ ). Posteriormente hubo un incremento en el BE entre la SL 18 y la SL 26 ( $P < 0.0001$ ) y mientras que las vacas HF mantuvieron el BE hasta la SL 30 ( $P > 0.05$ ) en la raza N se observó un descenso ( $P = 0.0130$ ) entre la SL 26 y la SL 30 al tiempo que en las vacas HF esto ocurrió entre la SL 30 y la SL 34 ( $P < 0.001$ ). En ambas razas el BE fue positivo en el período seco y mayor que en la SL 38 ( $P < 0.0001$ ). A su vez, las vacas HF tuvieron un BE mayor que las vacas N en la SL 30 ( $P = 0.0167$ ).

#### **4.1.2. Discusión**

El CEM se mantuvo deprimido durante las primeras semanas pos parto y luego aumentó hacia la SL 10 indicando que en ese momento los animales tuvieron un restablecimiento del CEM posiblemente asociado al restablecimiento del CMS posparto que se espera ocurra entre la SL 8 y la SL 20 (Ingvarsen y Andersen, 2000) más que a una diferencia en la oferta de forraje. Sin embargo, luego de la SL 10 el CEM disminuyó y se mantuvo en bajos niveles hasta la SL 18 (es decir hasta el mes de agosto) de manera que el estado de CEM deprimido durante el invierno estaría explicado por la menor disponibilidad teórica de pasturas en esa estación (valores esperados a partir de estimaciones, ver anexo 2). El aumento ocurrido durante la primavera se revirtió en el inicio del verano probablemente asociado al estrés calórico (West et al., 2003) dado que durante los meses de diciembre, enero y febrero el ITH promedio superó el umbral de estrés calórico (ver materiales y métodos, figura 9).

Además, el CEM estuvo afectado por la raza teniéndose que las vacas HF tuvieron un mayor consumo que las N lo que podría estar asociado a la mejor CC de las segundas dado que la capacidad de consumo puede disminuir con el aumento de las reservas lipídicas (Forbes 1986, Ingvarsen y Andersen 2000). Así mismo, el mayor CEM de la raza HF es concordante con las diferencias raciales en PL (ver 4.2) y reportes previos de resultados análogos al comparar vacas HF y DR con PV similares (Nielsen et al., 2003).

El perfil general del PV es concordante con lo reportado previamente: pérdida luego del parto y posteriormente ganancia hasta el período seco (Dillon et al., 2003). Sin embargo, el período de pérdida de PV fue más largo que lo reportado por Roche et al. (2006) lo que podría ser consecuencia de que las vacas tuvieron lactancias de otoño de manera que el inicio de la lactancia media (cuando se espera que los animales estén comenzando el estado de anabolismo) ocurrió durante el invierno y por lo tanto el CEM aún se encontraba deprimido. En efecto, la dinámica del PV presentó un perfil similar al observado para el CEM.

Más aún, se observó que en la SL 10 la raza N aumentó el PV mientras que en las vacas HF tuvo un comportamiento monótono decreciente hasta la SL 18, lo que está en concordancia con lo reportado por Horn et al. (2014) quienes observaron que los partos de otoño estuvieron asociados no solo a un período más largo de pérdida de reservas corporales, sino, que la raza de mayor mérito genético perdió más PV. A su vez, entre la SL 6 y la SL 10 ocurrió un incremento en el CEM en ambas razas, que en el caso del N se expresó en la ganancia de PV mientras que en el HF este continuó decreciendo. Por tanto, frente al incremento en el CEM parecería que las razas difirieron en la estrategia de utilización de la energía y de los nutrientes, es decir, al tiempo que la raza N expresó su carácter doble propósito, la raza HF priorizó otros destinos antes que el anabolismo de los tejidos periféricos (Yan, 2006b).

Al final del ciclo productivo, en el período seco, las vacas HF alcanzaron el mismo PV observado durante el parto mientras que las vacas N tuvieron 30 kg más en valor absoluto que no significaron una diferencia estadística en relación a su PV parto. No obstante, este aumento en valor absoluto en la raza N podría estar asociado a la característica de crecimiento lento observado en esta raza que determina que las vacas multíparas sigan creciendo durante la etapa adulta. Al respecto, en Francia se ha observado crecimiento en vacas N durante la segunda lactancia<sup>2</sup> y en Uruguay, en cabañas de reproductores, se ha detectado crecimiento de las hembras hasta los 6 años de edad inclusive<sup>3</sup>.

La mayor CC de la raza N durante la mayor parte del ciclo productivo responde al carácter doble propósito de esta en comparación con la orientación fuertemente lechera de la raza HF. Resultados similares han sido reportados previamente por Delaby et al. (2009), Reiche et al. (2015). Por otra parte, la pérdida de CC observada en ambas razas durante la lactancia temprana indican que los animales no lograban cubrir los requerimientos y por tanto se encontraban en una situación de BEN (Bauman y Currie 1980, Bell et al. 1995).

Asimismo, a pesar de que el N tuvo una mayor CC durante la mayor parte del ciclo productivo, durante el posparto (SL 2 y 6) presentó una CC similar a las vacas HF lo que implica una mayor capacidad de movilización de reservas corporales durante esta etapa dado que las razas tuvieron diferente CC en el parto. En efecto, la capacidad de movilizar reservas durante la lactancia temprana depende, entre otros factores, del nivel de reservas parto (Broster y Broster, 1998). Tal es así, que se ha sugerido que la correlación positiva entre la CC al parto y la movilización de reservas el posparto estaría asociado a diferentes planos nutricionales durante el parto más que a la variación individual de manera que existe una cierta inercia en la movilización de reservas durante la lactancia temprana que es independiente (aunque parcialmente) del CMS y del genotipo (Friggens et al., 2007).

Durante el inicio de la lactancia el CEM es insuficiente y la situación de BEN determina que parte de los requerimientos energéticos sean provistos endógenamente mediante la movilización de reservas corporales, tanto a través de la lipólisis (Bell et al., 1995) como de la utilización de las reservas proteicas (Bell et al., 2000). Por otra parte, en forma similar a lo que ocurrió con el PV, las vacas N aumentaron la CC en la SL 10 mientras que la raza HF continuó perdiendo estado corporal, indicando que en las primeras hubo un mejor equilibrio entre las glándula mamaria y los tejidos periféricos durante el proceso de partición de la energía en respuesta al aumento del CEM (Yan et al., 2006b).

Análogamente a lo observado en el PV, luego de la SL 10, en la medida que el CEM se mantuvo deprimido, ambas razas perdieron CC hasta el mes de agosto (SL 18) y

---

<sup>2</sup> Delaby, L. 2017. Com. personal.

<sup>3</sup> Chiarino, I. 2017. Com. personal.

a partir de entonces ambos genotipos ganaron CC hasta la SL 30 alcanzando una meseta que fue superada en el período seco.

En síntesis, el perfil de CC estuvo afectado por la interacción raza\*SL observándose comportamientos similares entre genotipos en las etapas donde el CEM estuvo deprimido y una mayor ganancia de CC en la raza N en las etapas de restablecimiento del CEM. Esto, resulta concordante con lo reportado por Friggens et al. (2007), quienes sugirieron que la dinámica de la CC está afectada genéticamente, y Delaby et al. (2009). Más aún, Delaby et al. (2009) observaron que no hubo diferencia entre vacas HF y N en la intensidad de pérdida de CC en condiciones nutricionales de baja, mientras que en planos nutricionales de alta las primeras tuvieron una mayor pérdida de CC. Por lo tanto, podría interpretarse que la interacción raza\*SL observada en este estudio resulta, al menos en parte, de la interacción raza\*CEM, es decir, en cierto modo, una versión longitudinal en el tiempo de lo reportado por Delaby et al. (2009).

El BE fue similar entre ambas razas durante la mayor parte del tiempo y en términos generales siguió un patrón similar al del CEM, lo cual es lógico en la medida que el BE es el resultado del balance entre los requerimientos y el consumo (Knight, 2001).

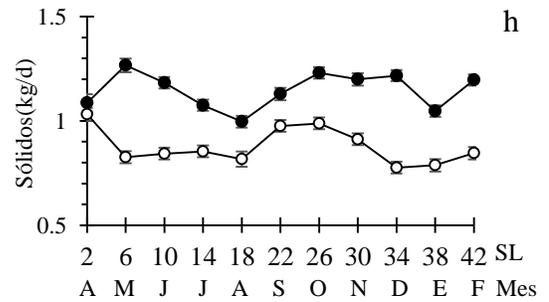
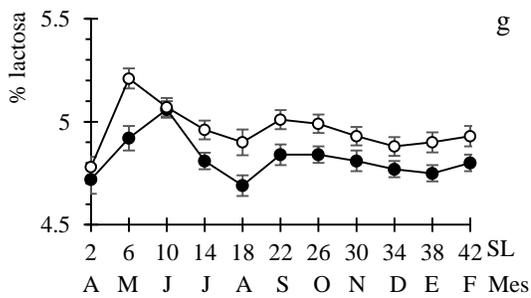
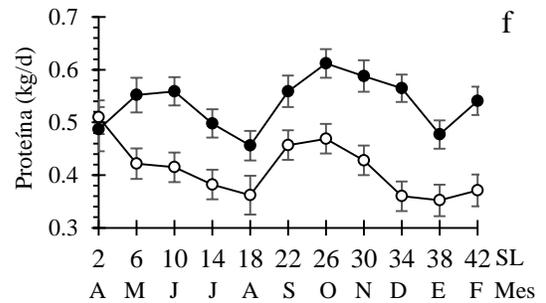
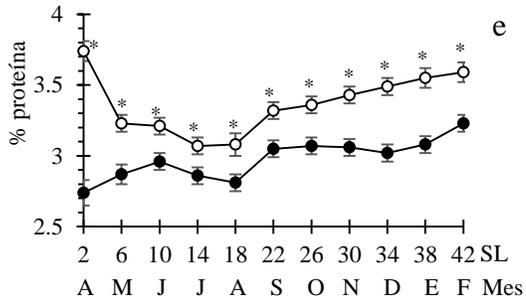
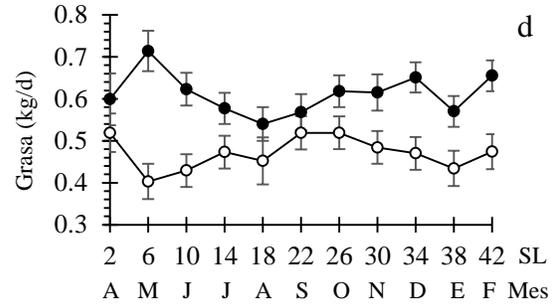
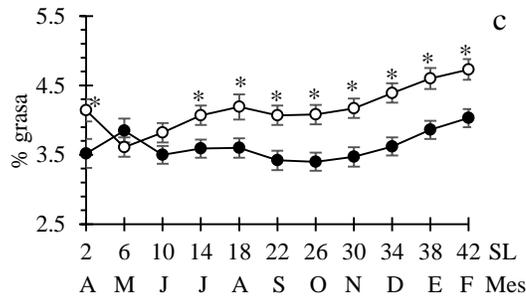
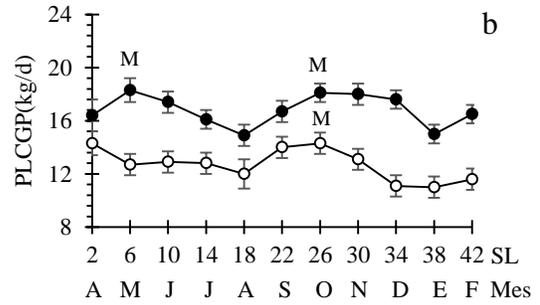
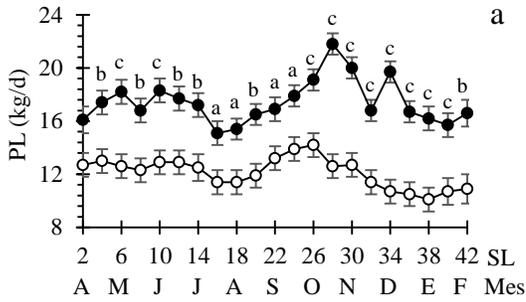
Durante el posparto temprano el BE fue negativo y similar en ambas razas indicando que la energía exportada en la leche fue mayor a la consumida. Si bien en ambas razas el BE mejoró entre la SL 6 y la SL 10 en respuesta al aumento del CEM, en la raza N se alcanzó una situación positiva al tiempo que las vacas HF no lograron superar el BEN lo que resulta concordante con el hecho de que las primeras aumentaron el CEM manteniendo la PL mientras que las segundas aumentaron tanto el CEM como la PL. Es decir, frente al restablecimiento del consumo, la partición de la energía fue distinta según la raza, así, las vacas N mantuvieron la PL en la SL 10 y alcanzaron una situación de anabolismo (aumentó el PV y la CC) mientras que en las vacas HF mantuvieron el pico de PL alcanzado en la SL 6 y el aumento en el CEM no fue suficiente para cubrir los requerimientos de manera que el PV y la CC siguieron disminuyendo.

Luego, en la medida que el invierno avanzó y el CEM se mantuvo deprimido en ambas razas, el BEN fue similar entre ellas y negativo, situación que se revirtió en primavera. Durante el verano el BE disminuyó en ambas razas y fue cero entre la SL 34 y 38 lo que se corresponde con la caída registrada en el CEM.

## **4.2. PRODUCCIÓN DE LECHE Y SÓLIDOS**

### **4.2.1. Resultados**

#### **4.2.1.1. Producción de leche y LCGP**



En a: letras distintas significan diferencias significativas diferentes entre razas, a:  $0.001 < P \leq 0.05$ ; b:  $0.0001 < P \leq 0.001$ ; c:  $P \leq 0.0001$ . En b, los máximos dentro de cada raza se indican con M. En c y en e las diferencias entre razas se indican con \*.

**Figura 13. Curva de PL (a), PLCGP (b), contenido de grasa (c), producción de grasa (d), contenido de proteína (e), producción de proteína, contenido de lactosa (g) y producción de sólidos (grasa + proteína, f) en las vacas HF (●) y N (○).**

**Tabla 4. Media según raza y efecto de la raza, SL e interacción raza\*SL sobre las variables productivas**

Variable	$\bar{x} \pm EE$		P-valor		
	HF	N	Raza	SL	Raza*SL
PL (kg/d)	$17.4 \pm 1.0$	$12.1 \pm 1.0$	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
LCGP (kg/d)	$16.7 \pm 0.5$	$12.8 \pm 0.5$	< 0.0001	0.0002	0.0785
% grasa	$3.66 \pm 0.08$	$4.23 \pm 0.09$	< 0.0001	< 0.0001	0.0785
% proteína	$3.01 \pm 0.04$	$3.39 \pm 0.04$	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
% lactosa	$4.83 \pm 0.03$	$4.96 \pm 0.03$	0.0003	< 0.0001	0.1220
Grasa (kg/d)	$0.612 \pm 0.024$	$0.476 \pm 0.024$	0.0005	0.4491	0.274
Proteína (kg/d)	$0.535 \pm 0.019$	$0.411 \pm 0.020$	0.0001	< 0.0001	0.0220
Sólidos (kg/d)	$1.146 \pm 0.038$	$0.887 \pm 0.040$	< 0.0001	0.0121	0.0353

EE: error estándar.

La PL estuvo afectada por la interacción raza\*SL ( $P < 0.0001$ ), SL ( $P < 0.0001$ ) y las vacas HF tuvieron una mayor PL que las vacas N ( $17.4 \pm 1.0$  vs.  $12.1 \pm 1.0$  L/d en promedio,  $P < 0.0001$ ). A su vez, las vacas HF tuvieron dos picos de PL: el primero en la lactancia temprana entre la SL 6 y la SL 10 ( $P < 0.05$ ) y el segundo en lactancia media en la SL 28 ( $P < 0.05$ ). La curva de PL de las vacas N fue distinta, así, tuvieron una PL relativamente constante durante las primeras 16 SL y un solo pico de PL que ocurrió en la lactancia media en torno a SL 26 ( $P < 0.05$ ). La diferencia entre razas se maximizó en torno al primer máximo que presentaron las vacas HF y desde la SL 26 en adelante (ver figura 12). Además, en términos estimativos, la raza HF tuvo una PL total acumulada a 305 días de 5337 kg, 1650 kg más en comparación con las vacas N que produjeron 3690 kg aprox.

La curva de producción de LCGP siguió, en términos generales, el mismo comportamiento que la curva de PL y tendió a estar afectada por la interacción raza\*SL ( $P = 0.0785$ ). Las vacas HF tuvieron una mayor producción diaria de LCGP ( $P < 0.0001$ ) y presentaron dos picos, en tanto las vacas N presentaron un único pico que ocurrió durante la lactancia media. En términos estimativos, la diferencia en LCGP total acumulada a 305 días fue de 1190 kg dado que la producción fue de 3904 kg en la raza N y 5093 kg en la HF aproximadamente.

#### 4.2.1.2 Composición de la leche y producción de sólidos

El contenido de grasa fue mayor en la leche de las vacas N ( $4.23 \pm 0.09$  vs.  $3.66 \pm 0.08$  %,  $P < 0.0001$ ), estuvo afectado por la SL ( $P < 0.0001$ ) y tendió a estar afectado por la interacción raza\*SL ( $P = 0.0785$ ). A su vez, en la raza HF disminuyó entre la SL 6 y la SL 10 ( $P = 0.0408$ ) y luego se mantuvo constante hasta la SL 26 ( $P = 0.5265$ ) observándose, posteriormente, un incremento entre este momento y la SL 42 ( $P = 0.0002$ ). En el caso del N, el contenido de grasa disminuyó entre la SL 2 y la SL 6 ( $P = 0.0011$ ) y luego aumentó hasta el momento del secado ( $P < 0.0001$ ). En términos generales, el % de grasa en la leche describió una curva con comportamiento decreciente (N) o relativamente constante (HF) durante la lactancia temprana y posteriormente creciente hasta el momento del secado.

La producción diaria de grasa estuvo afectada por la interacción raza\*SL ( $P = 0.0274$ ) y las vacas HF tuvieron una mayor producción diaria de grasa ( $0.612 \pm 0.024$  vs.  $0.476 \pm 0.024$  kg/d,  $P = 0.0005$ ). Mientras que la producción en la SL 2 y la SL 6 fue similar en las vacas HF ( $P = 0.1275$ ) se observó una disminución en las vacas N ( $P = 0.0302$ ). Posteriormente, en las vacas HF hubo un incremento la producción diaria de grasa entre la SL 18 y la SL 34 ( $P = 0.0170$ ) y disminuyó en la SL 38 ( $P = 0.0452$ ). En las vacas N la producción de grasa sufrió un incremento entre la SL 6 y la SL 22 ( $P = 0.0218$ ) y fue mayor en esta última en comparación con la SL 34 ( $P = 0.0342$ ). En ambas razas se observó una tendencia a aumentar la producción entre la SL 34 y el momento del secado ( $P = 0.0516$ ). Las vacas HF tuvieron una producción total acumulada a 305 días de lactancia de 186.7 kg al tiempo que las vacas N produjeron 145.2 kg (valores estimados).

El contenido de proteína en la leche estuvo afectado significativamente por la interacción raza\*SL ( $P < 0.0001$ ), la raza ( $P < 0.0001$ ) y la SL ( $P < 0.0001$ ). Así, las vacas N produjeron leche con mayor tenor proteico que las vacas HF ( $3.39 \pm 0.04$  vs.  $3.01 \pm 0.04$  %,  $P < 0.0001$ ) y mientras que el % de proteína en la leche de las vacas HF aumentó entre la SL 2 y la SL 10 ( $P = 0.0145$ ), lo opuesto sucedió en la raza N ( $P < 0.0001$ ). A su vez, en ambos genotipos el tenor proteico disminuyó entre la SL 10 y la SL 18 ( $P < 0.05$ ) y aumentó entre la SL 18 y el momento previo al secado ( $P < 0.0001$ ). No obstante, mientras que en las vacas N el crecimiento fue monótono, en la raza HF el % de proteína fue similar entre la SL 22 y la SL 38 ( $P > 0.05$ ).

La producción diaria de proteína estuvo afectada por la interacción raza\*SL ( $P = 0.0220$ ), la raza ( $P = 0.0001$ ) y la SL ( $P < 0.001$ ). Dentro de cada raza, las vacas HF tuvieron una producción similar entre la SL 2 y la SL 10 ( $P = 0.0804$ ) y posteriormente disminuyeron la producción hasta la SL 18 ( $P = 0.0006$ ). En las vacas N la producción decreció entre la SL 2 y la SL 18 ( $P = 0.0006$ ) y en ambas razas hubo un pico de producción de proteína en torno a la SL 26 que en el caso de la raza N la producción

disminuyó entre la SL 26 y la SL 34 ( $P = 0.0003$ ), en tanto en las vacas HF esto ocurrió entre la SL 26 y la SL 38 ( $P < 0.0001$ ). En valores absolutos, la raza HF tuvo una producción total acumulada de 163.2 kg de producción de proteína al tiempo que la raza N produjo 125.4 kg.

Análogamente a la producción de proteína, la producción de sólidos (grasa y proteína) estuvo afectada por la interacción raza\*SL ( $P = 0.0353$ ) y fue mayor en las vacas HF que en las N ( $1.146 \pm 0.038$  vs.  $0.887 \pm 0.040$  kg/d,  $P < 0.0001$ ). En el caso de la raza HF, la producción de sólidos fue similar entre la SL 2 y LS 6 ( $P = 0.1141$ ) y se observó una disminución en el N durante este período ( $P = 0.0110$ ). A su vez, entre la SL 6 y la SL 18 la producción de sólidos disminuyó en las vacas HF ( $P = 0.0001$ ) y se mantuvo constante en las vacas N ( $P = 0.9223$ ). En ambas razas, creció la producción entre la SL 18 y la SL 26 ( $P < 0.05$ ) y posteriormente, entre este momento y la SL 34, las vacas HF mantuvieron el nivel de producción ( $P = 0.8325$ ) al tiempo que las vacas N lo disminuyeron ( $P = 0.0028$ ). Finalmente, se observó un incremento en la raza HF entre la SL 38 y SL 42, ( $P = 0.0136$ ) mientras que no se observaron diferencias en las vacas N ( $P > 0.05$ ). La producción total acumulada a 305 días de lactancia, en términos absolutos, fue mayor en la raza HF (349.5 vs. 270.5 kg).

El contenido de lactosa estuvo afectado por la raza ( $P = 0.0003$ ) y la SL ( $P < 0.0001$ ). Así, las vacas N produjeron leche con un contenido promedio de  $4.96 \pm 0.03$  % de lactosa en tanto en las vacas HF fue  $4.83 \pm 0.03$  %. Independientemente de la raza, el contenido de lactosa en la leche presentó una curva con dos picos, el primero durante la lactancia temprana en torno a la SL 6 ( $P < 0.0001$ ) y el segundo durante la lactancia media en la SL 22 ( $P < 0.005$ ). Finalmente el contenido de lactosa decreció entre este momento y la SL 34 ( $P = 0.0189$ ) y luego aumentó hasta el momento del secado ( $P = 0.0222$ ).

#### **4.2.2. Discusión**

En concordancia con lo reportado por Delaby et al. (2009), Reiche et al. (2015), Beerda et al. (2016), la raza HF produjo mayor cantidad de leche con menor contenido de grasa, proteína y lactosa que la raza N.

A su vez, la curva de PL de la raza HF presentó dos picos lo que es coincidente con lo reportado previamente para partos de otoño en sistemas pastoriles (García y Holmes 2001, Naya et al. 2001). En este sentido, la PL depende en primer lugar del CEM (Chamberlain y Wilkinson, 2002) y, en efecto, durante la transición entre lactancia temprana y media se observó un bajo nivel de CEM, situación que se revirtió en primavera. En este momento las vacas HF aumentaron su PL diaria presentando un segundo pico. Por otra parte, las vacas N tuvieron un solo pico de PL que ocurrió durante el primavera y a su vez fue de menor magnitud y duración que el homólogo observado en las vacas HF.

Además, debe tenerse en cuenta que si bien en términos absolutos la raza N mostró una curva con un perfil similar al de las vacas HF, durante la lactancia temprana no se encontró que hayan presentado un pico significativo de PL. Esta ausencia de pico de PL podría asociarse a una partición de la energía diferencial puesto que mientras que las vacas HF continuaron perdiendo CC durante la SL 10 las vacas N aumentaron la CC de manera que en estas últimas la energía retenida tuvo como destino tanto la PL como el anabolismo de los tejidos periféricos. A su vez, la menor magnitud y duración (en comparación con las vacas HF) del pico de PL observado en la lactancia media estaría dada por el carácter menos lechero de la raza N que implicaría una mayor inhibición del metabolismo mamario y síntesis láctea durante las etapas avanzadas de la lactancia (Capuco et al., 1997).

En concordancia con lo reportado por Dillon et al. (2003) las vacas N produjeron leche con mayor contenido de grasa que las vacas HF. Resultados similares han sido reportados anteriormente al comparar genotipos con distinto mérito genético para la PL (Oldenbroek et al. 1984, Nielsen et al. 2003, Pereira et al. 2010a); más aún, en Nueva Zelanda se observó que el incremento en la PL dado por la introducción de genes HFA tuvo un efecto dilución que generó menores contenidos de grasa y proteína (Laborde et al., 1998).

Por otra parte, el contenido de grasa en la leche de las vacas HF fue similar a lo reportado por Delaby et al. (2009) mientras que en el caso del N el % observado fue mayor al encontrado por estos mismos autores para la raza. Esta diferencia observada en las vacas N podría ser consecuencia del sistema de producción ya que es posible que la dieta del presente experimento haya tenido mayor contenido de fibra, lo que se sabe, aumenta la concentración grasa en la leche (Hoden y Coulon, 1991). No obstante, también es posible que se trate de diferencias de origen genético puesto que hay distintas líneas dentro de la raza N (Bedere et al., 2016).

Típicamente se espera que el contenido de grasa sea alto en los primeros DPP y luego disminuya en la medida que avanza la lactancia como consecuencia de un efecto dilución (Chilliard y Bocquier, 2000) asociado al incremento de la PL que ocurre hasta el pico (Coulon et al., 1991). En el N, el contenido de grasa describió la curva típica a pesar de que la PL se mantuvo relativamente constante hasta la SL 14. Contrariamente, en las vacas HF el contenido no varió hasta la SL 18 y luego aumentó de manera que a partir de entonces la curva fue similar entre las razas. La diferencia entre razas en la curva de contenido de grasa durante el inicio de la lactancia (SL 2) podría estar explicado por las diferencias raciales en las reservas corporales con las que llegaron al parto, es decir, dado que durante esta etapa gran parte de los lípidos de la leche son sintetizados en la glándula mamaria a partir de los NEFA originados durante el proceso de depleción (Herdt, 2000), es posible que el bajo contenido de grasa observado en la raza HF haya sido consecuencia de una menor movilización de reservas corporales asociadas a la CC al parto (ver curva de CC, figura 12.c).

La producción de grasa es el producto de la concentración y el volumen de leche producido, de manera que la curva de descrita por las razas es distinta en la medida que estas tendieron a tener no solamente diferentes curvas de % grasa (durante la lactancia temprana) sino también diferentes curvas de PL. Así, el pico de producción de leche durante la lactancia temprana en la raza HF tuvo una respuesta análoga en la producción de grasa. Más aún, durante esta etapa las vacas N disminuyeron la producción de grasa como consecuencia de una disminución el contenido de grasa y una PL relativamente constante. En resumidas cuentas, el aspecto más importante en cuanto a la producción de grasa es que la raza HF compensó la menor concentración con mayores volúmenes de PL de manera que tuvo una mayor producción diaria, lo que está en concordancia con la literatura al respecto (Delaby et al. 2009, Reiche et al. 2015).

El contenido de proteína en la leche fue mayor en la raza N. Este resultado concuerda con lo reportado previamente (Dillon et al. 2003, Walsh et al. 2008) y es consistente con el carácter doble propósito de la raza (Oldenbroek et al., 1984). Además, para ambas razas, los resultados observados fueron fue similares a los reportados por Delaby et al. (2009) para el caso de vacas N y HF sometidas a una estrategia nutricional de baja.

Por otra parte, mientras que en la raza N el contenido de proteína presentó una curva típica (Coulon et al., 1991) en las vacas HF este fue bajo en SL 2 (2.74 %) y luego aumentó hasta la SL 10 (2.96 %) describiendo posteriormente un perfil similar al de las primeras. Dado que el contenido de proteína está asociado al balance energético (Bjerre-Harpot et al., 2012) y a la disponibilidad de nutrientes (Boivin et al., 2013), el bajo contenido de proteína observado en la raza HF durante las primeras SL podría indicar una deficiencia en este sentido, lo que resulta coherente con la menor CC al parto y menor contenido de grasa durante el posparto.

En cuanto a la curva de producción de proteína, las vacas HF tuvieron una mayor producción diaria de proteína que redundó en una mayor producción acumulada de proteína al final de la lactancia, y que, al igual que en el caso de la grasa, se trata de una compensación del menor contenido a través de mayores volúmenes de PL.

Coincidentemente con lo reportado por Dillon et al. (2003), Walsh et al. (2008) el contenido de lactosa fue mayor en la leche de las vacas N. Asimismo, y a diferencia de lo que ocurrió con la concentración de grasa y proteína, no estuvo afectado por la interacción raza\*SL. La ausencia de dicho efecto podría ser consecuencia del rol de la lactosa como agente osmótico en la síntesis de la leche (Chilliard y Bocquier, 2000) dado que esta afecta la importación de agua a la luz alveolar a los efectos de alcanzar una concentración dada (Guinard-Flament et al., 2006).

Por otra parte, el contenido de lactosa, grosso modo, describió la curva esperada aumentando durante las primeras SL hasta alcanzar el máximo en la SL 6 (N) y SL 10

(HF) y posteriormente decreciendo hasta el secado (Schmidt et al., 1984). No obstante, hubo un segundo pico, de menor magnitud, que ocurrió durante la lactancia media. Teniendo en cuenta que la concentración de lactosa en la leche es un indicador del estatus energético (Bjerre-Harpot et al., 2016), el aumento observado en setiembre respecto a agosto es coincidente con el aumento del CEM, el perfil de BE, PV y CC, y el comportamiento productivo observado en este momento.

### **4.3. DINÁMICA DE METABOLITOS EN SANGRE**

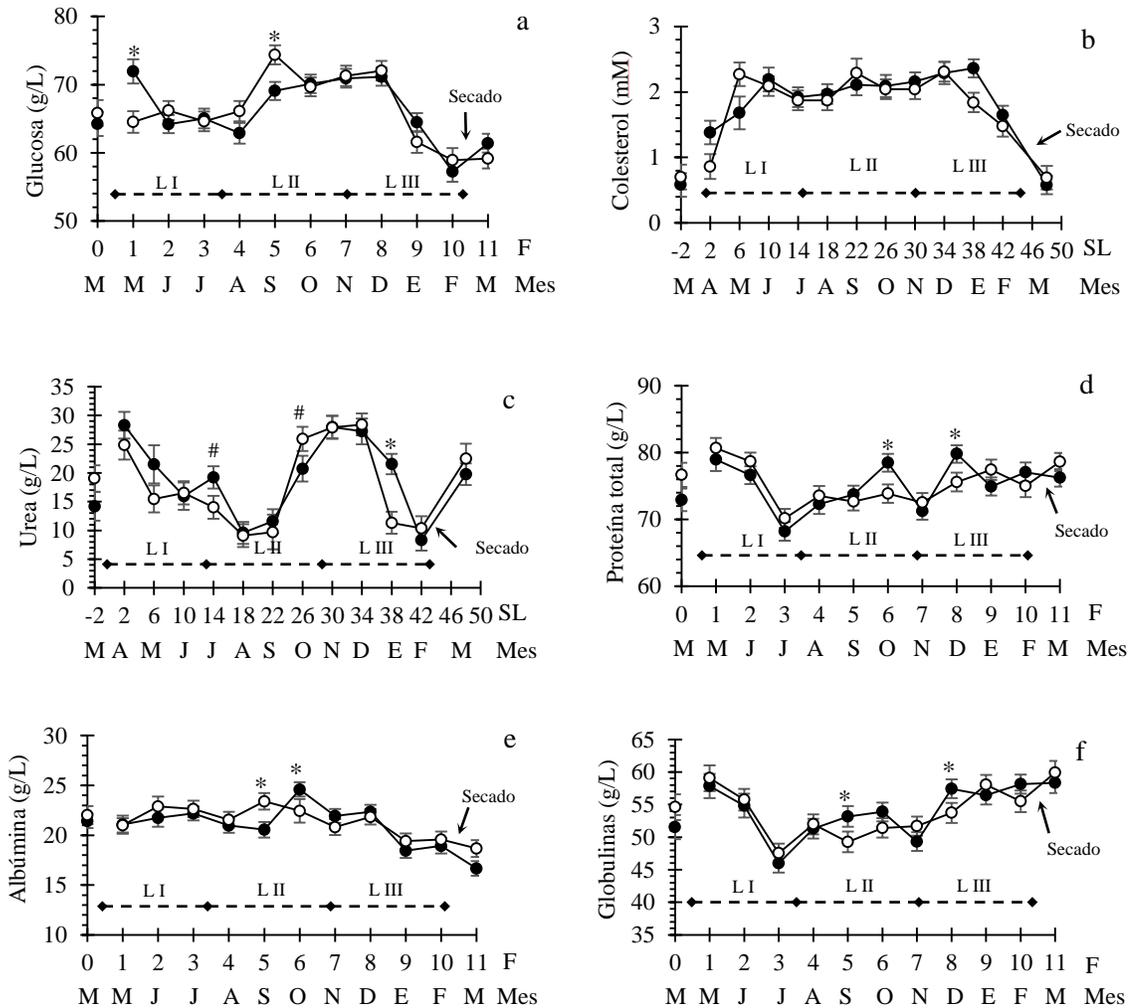
#### **4.3.1. Resultados**

Ninguno de los metabolitos analizados estuvo afectado por la raza ( $P > 0.05$ ) y sí fue significativo el efecto de la SL o fecha de muestreo ( $P < 0.0001$ ), así como la interacción entre el factor de repetición (que varió según el modelo) y la raza ( $P < 0.05$ ). En el caso de la glucosa y la urea se encontró que estuvieron afectadas significativamente por la interacción raza\*SL ( $P < 0.05$ ) y no se observó un efecto significativo de esta interacción en el caso de la PT, albúmina ni globulinas. Asimismo, la interacción raza\*fecha no tuvo un efecto significativo sobre la concentración de urea, y sí afectó el resto de los metabolitos con excepción del colesterol. Para la glucosa, el P-valor de la interacción fue más significativo en el modelo 2 (raza y fecha de muestreo como factores fijos) que en el modelo 1 (raza y SL). En ambos modelos el colesterol varió únicamente con la fecha de muestreo ( $P < 0.05$ ). Se presentan a continuación, con más detalle, los resultados de la glucosa, PT, albúmina y globulinas según el modelo 2, y los de urea y colesterol según el modelo 1 (ver tabla 5).

Mientras que en las vacas HF la glucemia fue mayor en la F1 (fecha 1) que en la F0 ( $P = 0.0017$ ) y la F2 ( $P = 0.0004$ ), en las vacas N no se encontraron diferencias significativas en ninguno de los períodos comprendidos entre la F0 y la F4 ( $P > 0.05$ ). A su vez, en la F1, las vacas HF presentaron una mayor concentración plasmática de glucosa que las vacas N ( $P = 0.0019$ ). En ambas razas, la glucemia aumentó entre la F4 y la F5 ( $P < 0.01$ ). Además, en la F5 la raza N tuvo un nivel mayor de glicemia que la raza HF ( $P = 0.0068$ ). Independientemente de la raza, la glucemia disminuyó entre la F8 y la F10 ( $P < 0.0001$ ), y fue similar entre esta última y la medición en el período seco (F11;  $P = 0.1495$ ).

Independientemente de la raza, la concentración de urea fue mayor en la SL 2 que en el parto ( $P = 0.0004$ ) y a su vez decreció entre la SL 2 y la SL 18 ( $P < 0.0001$ ). Se observó un pico en la lactancia media en torno a la SL 30 siendo la concentración mayor en ese momento que en la SL 18 ( $P < 0.0001$ ) y la SL 42 ( $P < 0.0001$ ). Al comparar

las razas, mientras que la concentración de urea en la raza HF tendió a ser mayor en la SL 14 ( $P = 0.0607$ ) y fue mayor en la SL 38 ( $P = 0.0003$ ), la raza N tendió a presentar niveles más altos en la SL 26 ( $P = 0.0607$ ). Finalmente, en ambas razas hubo un aumento en el período seco respecto al final de la lactancia ( $P = 0.0006$ ).



a. glucosa; b. colesterol; c. urea; d. PT; e. albúmina, f. globulinas. Diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre razas están indicadas con \* y tendencia ( $0.05 < P \leq 0.10$ ) con #.

**Figura 14. Perfil de parámetros metabólicos en sangre según raza (HF: ●; N: ○).**

**Tabla 5. Concentración promedio y efecto de los factores fijos según modelo.**

Metabolito	Raza	Concentración media y P- valor							
		Modelo 1			Modelo 2				
		$\bar{x} \pm EE$	Raza	SL	Raza*SL	$\bar{x} \pm EE$	Raza	Fecha	Raza*Fecha
Glucosa (g/L)	HF	66.15 ± 0.59	0.7989	<0.0001	0.0165	66.06 ± 0.53	0.8659	< 0.0001	<b>0.0087</b>
	N	65.92 ± 0.64				66.18 ± 0.55			
Urea (g/L)	HF	18.28 ± 0.44	0.4128	<0.0001	<b>0.0180</b>	18.25 ± 0.51	0.6836	< 0.0001	0.1555
	N	17.72 ± 0.51				18.55 ± 0.54			
Colesterol (mM)	HF	1.77 ± 0.08	0.4944	<0.0001	0.1128	1.75 ± 0.07	0.5723	< 0.0001	0.1707
	N	1.69 ± 0.08				1.69 ± 0.08			
Proteína total (g/L)	HF	75.16 ± 0.76	0.6944	<0.0001	0.1030	75.03 ± 0.75	0.7066	< 0.0001	<b>0.0053</b>
	N	75.60 ± 0.81				75.44 ± 0.78			
Albumina (g/L)	HF	21.01 ± 0.37	0.4967	<0.0001	0.0857	21.00 ± 0.36	0.4262	< 0.0001	<b>0.0311</b>
	N	21.49 ± 0.39				21.42 ± 0.38			
Globulinas (g/L)	HF	54.07 ± 0.79	0.8931	<0.0001	0.0785	54.02 ± 0.79	0.9941	< 0.0001	<b>0.0522</b>
	N	54.23 ± 0.85				54.03 ± 0.83			

La concentración plasmática de colesterol estuvo afectada únicamente por la SL ( $P < 0.0001$ ) y se observó que los niveles en la SL 2 fueron mayores que los del parto ( $P = 0.0112$ ). Durante la lactancia temprana hubo un incremento entre la SL 2 y la SL 10 ( $P < 0.0001$ ) y luego se mantuvo en niveles similares hasta la SL 38 ( $P > 0.05$ ). Finalmente, entre este momento y el período seco hubo una caída en la concentración de colesterol ( $P < 0.0001$ ).

En ambas razas la PT aumentó entre el parto y la F1 ( $P = 0.0010$ ) y decreció entre este momento y la F3 ( $P < 0.0001$ ). A su vez, las vacas HF presentaron una mayor concentración de PT que las vacas N en la F6 ( $P = 0.0163$ ) y en la F8 ( $P = 0.0313$ ). En la F7 la raza HF presentó una concentración de PT similar a la raza N ( $P = 0.5135$ ) y menor que las observadas en F6 y F8 ( $P < 0.0001$ ).

Tanto en las vacas HF como N la concentración de albúmina fue similar entre el parto y la F1 ( $P = 0.6452$ ) y se mantuvo en niveles similares hasta la F4 ( $P > 0.05$ ). En la raza HF la concentración tendió a disminuir entre la F3 y la F5 ( $P = 0.0836$ ) y luego aumentó entre la F5 y la F6 ( $P < 0.0001$ ) en tanto en la raza N la concentración de albúmina tendió a aumentar entre la F4 y la F5 ( $P = 0.0556$ ). Las vacas N tuvieron una mayor concentración de albúmina que las HF en la F5 ( $P = 0.0052$ ) y menor en la F6 ( $P = 0.0341$ ). Luego, la concentración disminuyó en ambas razas hasta el período seco ( $P < 0.05$ ).

La concentración de globulina en plasma sanguíneo fue mayor en la F1 que en el parto ( $P = 0.0010$ ) y luego disminuyó hasta la F3 ( $P < 0.0001$ ). Posteriormente, mientras que en la raza N la concentración aumentó paulatinamente entre la F3 y la F11 ( $P < 0.0001$ ), en la raza HF si bien la concentración también aumentó en este período, se observó un caída en la F6 respecto a la F5 ( $P = 0.0078$ ) y la F7 ( $P < 0.0001$ ).

#### **4.3.2. Discusión**

Los perfiles de los parámetros metabólicos fueron analizados con dos modelos estadísticos que se diferenciaron en el factor de repetición: SL (modelo 1) o fecha de muestreo (modelo 2) y se reportan, para cada metabolito, los resultados obtenidos con el modelo que se observó significancia de la interacción raza\*factor de repetición. En el modelo 1, el factor de repetición fue la SL de manera que la interacción implica que –al menos en parte– los genotipos respondieron diferencialmente a distintas etapas fisiológicas. En cambio, en el modelo 2 la interacción genotipo\*fecha estaría asociada al comportamiento de los genotipos en distintas condiciones de cantidad y calidad de forraje así como de las condiciones ambientales de cada fecha de muestreo, más que a la variabilidad de los DPP que tuvieron las vacas entre sí (dispersión del grado de avance de la lactancia) para una fecha de muestreo dada.

Durante la lactancia temprana baja la sensibilidad a la insulina de los tejidos periféricos (Cronjé, 2000) y la vaca lechera sufre un estado de resistencia a la insulina (Kahn, 1978) que determina una mayor disponibilidad de glucosa para la glándula mamaria (Cronjé, 2000). A su vez, hay evidencia de que el efecto genético sobre la PL está dado, al menos en parte, por la sensibilidad a la insulina (Cronjé et al., citados por Cronjé, 2000) y se encontró que dentro de la raza HF el biotipo HFA tiene un mayor desacople del eje somatotrófico (Lucy et al., 2009) y una mayor resistencia a la insulina (Chagas et al., 2009). Mientras que en el parto la concentración plasmática de glucosa fue similar entre razas, en el posparto temprano (SL 2) se mantuvo en niveles similares en las vacas N y aumentó y fue mayor en las HF lo que podría ser un indicio de un mayor desarrollo de la resistencia a la insulina asociado al mayor carácter lechero de estas últimas (Cronjé, 2000). En este sentido, se ha reportado mayor concentración de glucosa en la raza HF a los 60 DPP (Delaby et al. 2009, Reiche et al., 2015). A su vez, durante las primeras 10 semanas posparto, se ha observado que frente a la infusión de insulina la glucemia disminuyó menos en cabras lecheras de raza Saanen (alta producción) que en otro genotipo de bajo mérito genético para la PL (Cronjé, 2000). No obstante, los resultados de este trabajo resultan contradictorios con los publicados por otros autores (Pires et al. 2015, Ntallaris et al. 2017). Asimismo, resultaría importante contar con la concentración de insulina en sangre a los efectos de poder tener mayores elementos de discusión.

Asimismo, la glucosa es el punto central de las vías energéticas y por tanto refleja correctamente el estatus energético (Bjerre-Harpot et al., 2016). En efecto, la concentración de glucosa tuvo un perfil análogo al del BE disminuyendo en los meses de invierno y siendo similar entre razas en este momento. Luego, si bien en setiembre aumentó en ambas razas, fue mayor en el N indicando una mayor respuesta a nivel metabólico y mejor BE en esta raza frente al incremento del CEM. Posteriormente, en coincidencia con la caída en el CEM y el empeoramiento del BE durante los meses de verano, se registró una disminución en la concentración de la glucosa que ocurrió en paralelo con la estabilización de la CC. En el período seco, tanto el CEM como el BE, la CC y la concentración plasmática de glucosa fueron mayores respecto a los valores de diciembre y enero.

El colesterol estuvo afectado únicamente por la SL y contrariamente a lo reportado por Pereira et al. (2010), Petrerá et al. (2015), no estuvo afectado por el genotipo.

A su vez, presentó bajas concentraciones durante el período de transición (tanto el parto como en el posparto temprano) posiblemente asociado al BEN del parto (Adrien et al. 2010, Jeong et al. 2015) y posteriormente aumentó hasta la SL 6 manteniéndose en niveles similares hasta la SL 38. Se ha reportado que el colesterol aumenta en la lactancia temprana (Cavestany et al. 2005, Meikle et al. 2013) asociado a movilización lipídica y síntesis de lipoproteínas (Margolles, 1983) en situaciones de BEN

(Cavestany et al., 2005) y si bien no se encontraron estudios que muestren el perfil para la lactancia completa, se ha reportado que este puede aumentar hasta la SL 6 (Francisco et al., 2002).

El contenido de urea fue mayor en la SL 2 que en el parto lo que podría ser un indicio de movilización de reservas proteicas (Adrien et al., 2010). En este sentido, se ha reportado que la movilización de proteína lábil para hacer frente al BEN puede ocurrir hasta las 3 semanas posparto (Bell et al., 2000) de manera que los resultados de este trabajo son concordantes en la medida que se observaron valores altos en la SL 2 y luego descendieron.

Asimismo, se ha reportado que el contenido de urea en sangre está correlacionado positivamente con el BE (Jorritsma et al. 1999, Cavestany et al. 2009) y por lo tanto la disminución de la concentración de urea hasta la SL 18 y posterior aumento en la primavera resulta coincidente con el perfil del BE. Durante la fase de incremento en primavera la raza N tendió a presentar mayor concentración de urea que la raza HF lo que es coincidente con el perfil de glucosa y fortalece la idea de que esta raza responde más enfáticamente en términos metabólicos al mejorar las condiciones ambientales.

Finalmente en los meses de verano la concentración de urea disminuyó en ambas razas a niveles similares a los observados en invierno, no obstante el CEM y el BE si bien disminuyeron, no lo hicieron en esos niveles y por tanto la caída de urea podría estar dada por la conjugación del BE (Cavestany et al. 2009, Delaby et al. 2009) y de la calidad del forraje dado que la urea plasmática proviene en un 60% del rumen (Cirio y Tebot, 1998) y es un indicador del nitrógeno de la dieta (Baker et al., 1995). Es esperable que el contenido de proteína en las pasturas haya sido menor en verano que en primavera (Carámbula, 2007).

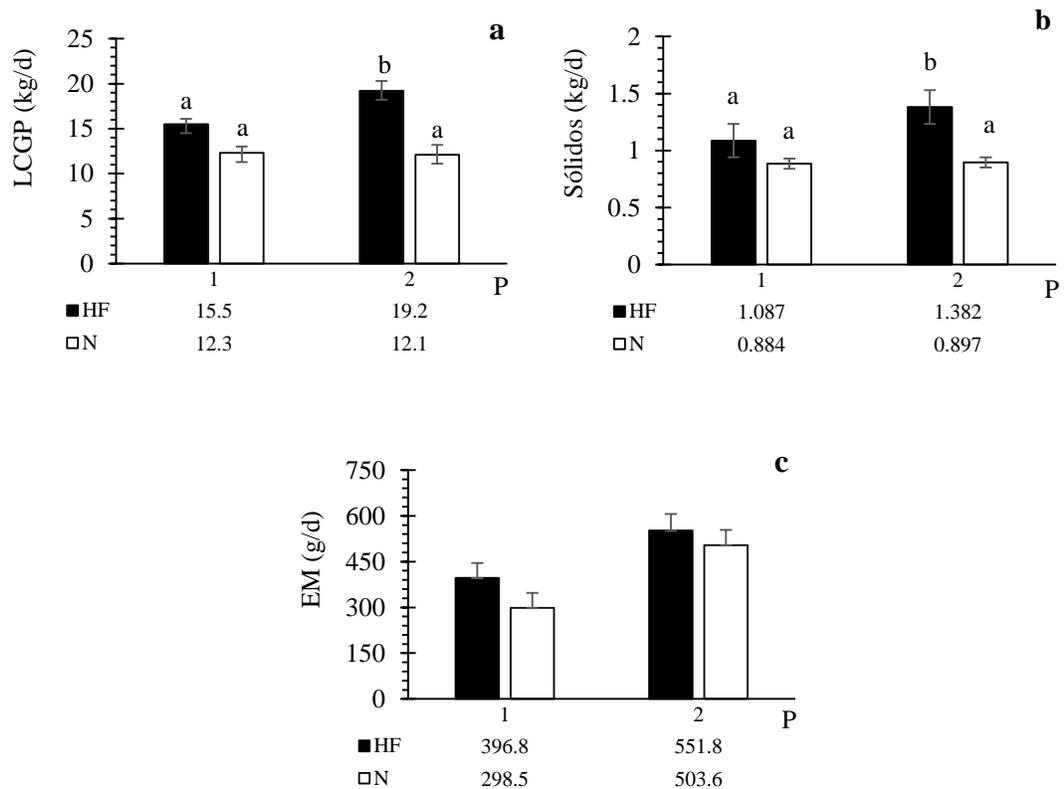
Tanto la PT como la albúmina en sangre han sido asociadas con el estatus energético de la vaca lechera (Meikle et al., 2013) y en este sentido el perfil de la PT fue similar al del BE durante la lactancia temprana y media. En el caso de la PT, tanto el incremento entre el parto y la SL 2, así como el posterior decrecimiento hasta la F3 está dado por la fracción de globulinas ya que la concentración de albúmina se mantuvo en niveles similares durante todo este período. En este sentido, es coincidente con observaciones previas donde se encontró que el perfil de PT está afectado mayoritariamente por la fracción globulinas (Piccione et al., 2011). A su vez, se ha reportado que la concentración de globulinas disminuye previo al parto y aumenta durante el posparto temprano (hasta la SL 3) disminuyendo luego durante el transcurso de la lactancia temprana (Rowlands et al., 1980), lo que resulta concordante con los resultados de este experimento.

A su vez, la concentración de albúmina se mantuvo en niveles similares durante la lactancia temprana y en la lactancia media se registró un aumento que ocurrió un mes antes en la raza N. Dado que los cambios en la concentración de albúmina ha sido propuesto como indicador de la tasa de síntesis hepática (Piccione et al., 2011), los

resultados podrían indicar que, frente al aumento del CEM y mejoramiento del BE (en primavera), la respuesta a nivel de funcionamiento hepático ocurrió antes en las vacas N lo que está en la misma línea de lo observado para el caso de la glucosa y la urea.

## 4.4. EMISIONES DE METANO

### 4.4.1. Resultados



Letras distintas significan diferencias intra-raziales entre períodos

**Figura 15. Producción de LCGP, sólidos y EM según raza y período.**

La producción de LCGP fue mayor en la raza HF ( $P = 0.029$ ). A su vez, mientras que en esta raza aumentó entre el P1 y el P2 ( $P < 0.05$ ) en la raza N se mantuvo relativamente constante ( $P > 0.1$ ) de manera que estuvo afectada por la interacción raza\*período ( $P = 0.0213$ ). Así mismo, la producción de sólidos (grasa + proteína) fue mayor en la raza HF ( $P = 0.0002$ ) y estuvo afectada por la interacción raza\*período ( $P = 0.0211$ ).

**Tabla 6. LCGP, sólidos, EM, intensidades de metano y Yme.**

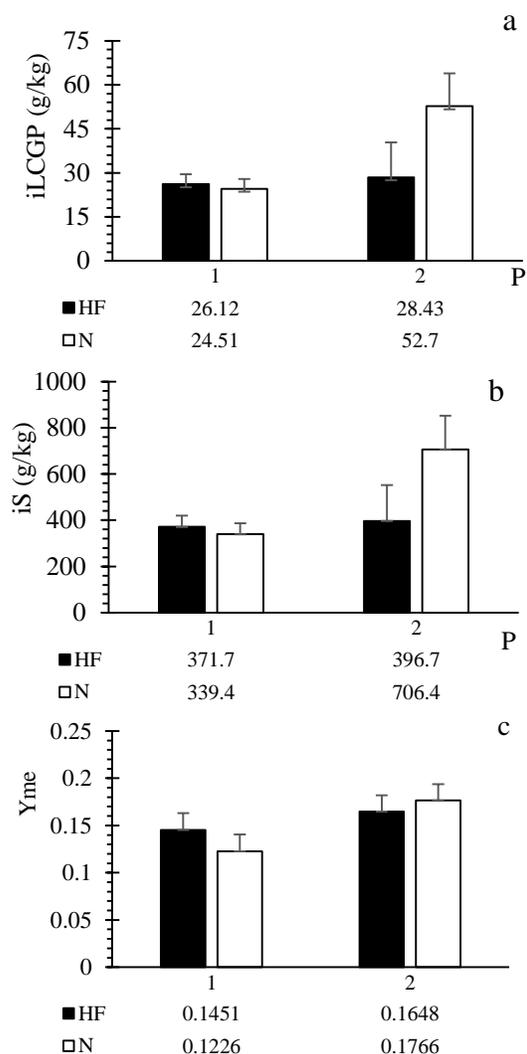
Variable	$\bar{x} \pm EE$		P-valor		
	HF	N	Raza	Período	Raza*Per.
LCGP (kg/d)	17.4 ± 0.7	12.2 ± 0.7	< 0.0001	0.0304	0.0226
Sólidos (kg/d)	1.23 ± 0.05	0.891 ± 0.05	0.0002	0.0144	0.0234
EM (g/d)	474.3 ± 37.9	401.0 ± 36.6	0.1759	0.0031	0.6098
iLCGP (g/kg)	27.3 ± 6.3	38.6 ± 5.9	0.2108	0.0893	0.1494
iS (g/kg)	383.3 ± 81.6	523.1 ± 77.5	0.2336	0.0958	0.1480
Yme	0.15 ± 0.01	0.15 ± 0.01	0.7889	0.0413	0.2789

**Tabla 7. Parámetros estadísticos descriptivos de las EM según raza y período**

Período	Raza			
	HF		N	
	1	2	1	2
CV (%)	28.0	29.1	6.6	44.4
Máx (g/d)	667.1	714.4	329.5	672.7
Mín (g/d)	161.7	236.1	265.6	268.6

En valores absolutos, las vacas HF presentaron mayores EM que las N (474.3 ± 37.9 vs. 401.0 ± 36.6 g/d), no obstante, no se encontraron diferencias significativas entre razas (P = 0.1759; ver tabla 6). A su vez, las EM fueron menores en el P1 que en el P2 (347.6 ± 33.7 g/d vs. 527.7 ± 36.7 g/d; P = 0.0031).

En cuanto a la intensidad de metano por unidad de producto, similar a lo ocurrido con las EM, se observó que la iLCGP fue similar entre razas a pesar de la diferencia importante en términos absolutos (HF: 27.3 ± 6.3 g/kg; N: 38.6 ± 5.9 g/kg, P = 0.2108) y tendió a ser mayor en el P2 respecto a P1 (27.4 ± 2.4 g/kg vs. 40.6 ± 8.1 g/kg; P = 0.0893).



Letras diferentes significan diferencias intra-razales entre períodos.

**Figura 16. iLCGP, iS y Yme.**

Así mismo, la iS tendió a aumentar con el avance de la lactancia (P1:  $355.5 \pm 33$  g/kg, P2:  $551 \pm 105.9$  g/kg;  $P = 0.0958$ ). Al igual que en casos previos, no se encontraron diferencias significativas entre razas ( $P = 0.2336$ ) a pesar de que las medias tuvieron una diferencia en términos absolutos de 200 g/kg. Además, mientras que en el caso de las vacas N el incremento en valor absoluto fue de 366.5 g/kg entre P1 y P2, en las vacas HF la diferencia ascendió a 25.6 g/kg, no obstante, no se detectó que la interacción raza\*período tuviera un efecto significativo sobre la iS ( $P = 0.1480$ ).

Finalmente, el Yme estuvo afectado únicamente por el período observándose que el rendimiento energético de metano relativo al CEM fue mayor en P2 que en P1 (P1:  $0.13 \pm 0.01$ , P2:  $0.17 \pm 0.01$ ;  $P = 0.0413$ ) y similar entre razas (HF:  $0.15 \pm 0.01$ , N:  $0.15 \pm 0.01$ ;  $P = 0.7889$ ).

#### **4.4.2. Discusión**

Las EM promedio observadas en la raza N de  $401.0 \pm 36.6$  g/d resultan similares a lo reportado por Münger y Kreuzer (2006) quienes obtuvieron EM de 392 g/d para el caso de la raza Fleckvieh, también doble propósito. Por otra parte, los valores observados para la raza HF –que estuvieron en torno a 473.3 g/d– fueron mayores que los reportados por Dini et al. (2012; 370 g/d), Loza et al. (2016; 349.4 g/d) para el caso vacas HF en condiciones de pastoreo; más aún, el trabajo publicado por Loza et al. (2016) se llevó a cabo con vacas HF del mismo rodeo experimental que el utilizado para esta tesis. Las diferencias observadas podrían estar dadas por la calidad de la pastura consumida, ya que tanto en el trabajo de Dini et al. (2012) como en el de Loza et al. (2016) las vacas consumieron pasturas de alta calidad mientras que en el presente experimento es esperable que la dieta haya tenido una calidad inferior (en P1 se utilizó forraje conservado y en P2 se consumió una pradera mixta de 3<sup>er</sup>. año en la cual la festuca se encontraba en estado reproductivo, ver figura 16).

Además, las EM no estuvieron afectadas por la raza a pesar de la alta diferencia en valor absoluto. La ausencia del efecto de la raza podría estar dado, al menos en parte, por los altos CV observados en cada raza. En efecto, la alta variabilidad entre individuos ha sido asociada, en parte, a la técnica de trazado con SF<sub>6</sub> (Lassey et al., 2011) y constituye una de las principales debilidades de esta (Pinares-Patiño et al. 2011, Gere 2012), no obstante, continúa siendo la única técnica validada en condiciones de pastoreo. Más aún, otros trabajos nacionales han encontrado un CV en torno al 28 %<sup>4</sup> lo que resulta similar a los valores observados en este trabajo, sobre todo en el caso de la raza HF (ver tabla 7). Así mismo, se ha reportado anteriormente que las EM no están afectadas por el genotipo

---

<sup>4</sup> Orcasberro, S. 2017. Com. personal.

cuando se compara razas con PV y CMS similares (Kreuzer y Münger 2006, Hynes et al. 2016).



**Figura 17. Vacas del experimento pastoreando una pradera mixta de 3<sup>er</sup>. año en la cual la festuca se encontraba en estado reproductivo.**

Por otra parte, se observó que las EM fueron mayores en el P2 (inicio lactancia tardía) que en el P1 (inicio lactancia media) lo que podría explicarse por el aumento en el CEM observado en los meses de primavera respecto al invierno (ver capítulo 4.1.1.1.). Esto, es concordante con lo observado por Garnsworthy et al. (2012) quienes encontraron que las EM aumentaron durante las primeras 10 SL asociado al restablecimiento del consumo de materia seca. Sin embargo, los resultados reportados en la literatura internacional son contradictorios: así, mientras que Cammel et al. (2000), Kreuzer y Münger (2006), no observaron efecto de la etapa de lactancia sobre las EM, Alstrup et al. (2015) reportaron que tanto las EM como la relación  $CH_4$ :MS consumida (g/kg) aumentaron durante toda la lactancia. Así mismo, es posible que el incremento en observado en el P2 se deba –en parte– a una sobreestimación causada por el funcionamiento de la cápsula de liberación de  $SF_6$  puesto que se ha reportado la necesidad de ajustar la tasa de emisión de  $SF_6$  ( $Q_{SF_6}$ ) para el caso de cápsulas de teflón como las utilizadas en este experimento (Moate et al., 2015).

La iLCGP de 27.6 g/kg en la raza HF resultan superiores a los 18.3 y 14.5 g/kg reportados por Loza et al. (2016), Hynes et al. (2016) respectivamente. Así mismo, la iLCGP de la raza N resulta muy alta en comparación con los resultados reportados por Münger y Kreuzer (2006) para el caso de otra raza doble propósito (Fleckvieh). La mayor intensidad de metano por unidad de producto, tanto en el caso de la LCGP como de los

sólidos estaría dada por la menor productividad por animal ocurrida en el presente experimento posiblemente asociado a las condiciones propias de los SPBI.

Además, al margen de que no hubo diferencias significativas entre razas, las vacas HF tuvieron una menor iLCGP lo que, teniendo en cuenta que en términos absolutos las vacas N presentaron menores EM, implica que la mayor productividad individual de las primeras logró compensar las diferencias en EM. Si bien existen escasos estudios publicados en el tema, se ha reportado que la iLCGP es mayor en las razas doble propósito que en las razas específicamente lecheras (Fleckvieh vs., HF y Jersey, Münger y Kreuzer, 2008) a la vez que es similar entre genotipos de alto mérito genético (Yan y Mayne 2009, Hynes et al. 2016). A su vez, diversos estudios muestran un incremento de la iLCGP en la medida que avanza la lactancia como consecuencia de que disminuye la producción individual (Hattan et al. 2001, Kreuzer y Münger 2006, Alstrup et al. 2015).

En cuanto a la iS mientras que en el caso de las vacas N el incremento en valor absoluto fue de 366.5 g/kg entre el P1 y el P2, en las vacas HF la diferencia ascendió a 25.6 g/kg y por lo tanto podría presumirse que el efecto del período sobre la iS sería consecuencia del aumento en las EM ocurrida en ambas razas y a la interacción raza\*período observada en la producción diaria de sólidos.

Finalmente, el Yme de 0.15 es más alto que lo reportado por Hynes et al. (2016), quienes encontraron valores promedio en torno a 0.09. No obstante, debe señalarse que dichos valores fueron obtenidos con dietas de alta calidad (Hynes et al., 2016), mientras que en este caso se trabajó en condiciones restrictivas y con muy baja presencia de concentrado, característica estructural de los SPBI. Como se dijo anteriormente, en el P2 las vacas pastorearon una pradera en la cual la festuca se encontraba en estado reproductivo mientras que en el P1 el forraje estuvo constituido por *Avena bizantina* y silo de sorgo, de manera que es esperable que la calidad de la dieta haya disminuido en el segundo período. En relación a esto, y dado que existe un estímulo de la flora celulolítica en la medida que aumenta el contenido de fibra en la dieta (Yan et al. 2006b, Dall-Orsoletta et al. 2016) y que el rendimiento estequiométrico de metano es más alto para el caso del ácido acético en comparación con los ácidos butírico y propiónico (Reilling y Mattioli, s.f.), es posible que la pérdida de eficiencia en el P2 respecto al P1 fuera consecuencia de una peor calidad (probable) en el forraje consumido en primavera. En efecto, se ha reportado ampliamente que las dietas de mala calidad provocan un aumento en la pérdida de energía bajo forma de CH<sub>4</sub> en relación a la energía ingerida (Wims et al. 2010, Muñoz et al. 2015).

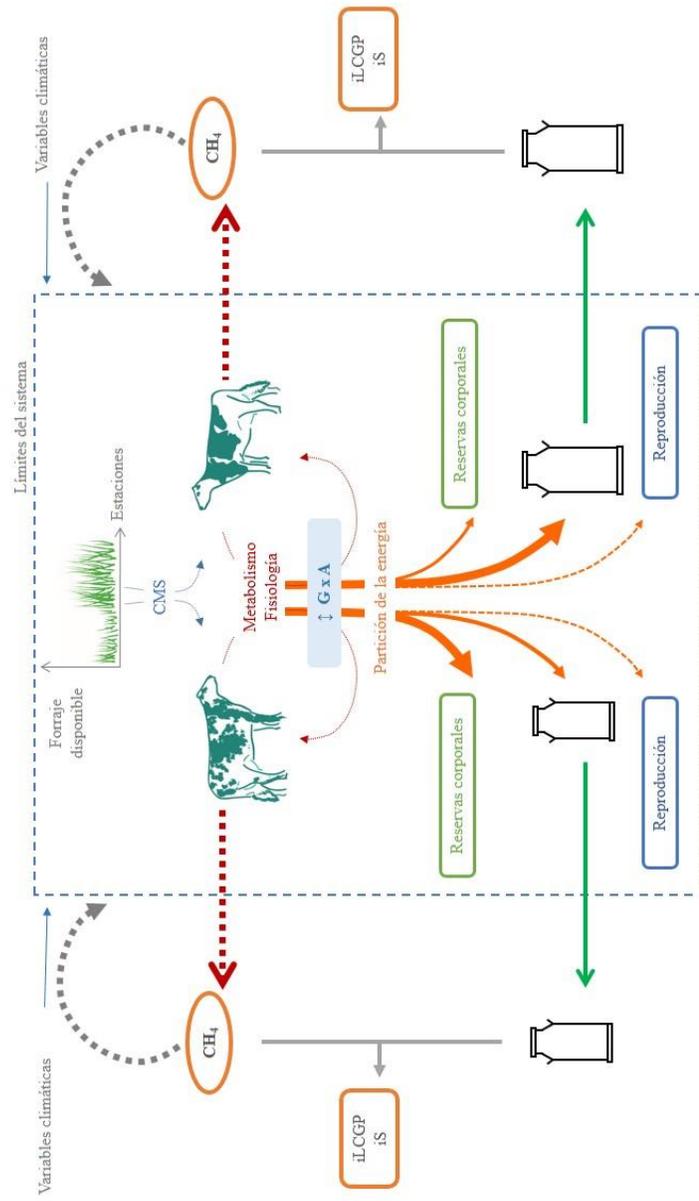
## 4.5. DISCUSIÓN GENERAL

Tanto a nivel nacional como internacional, la investigación en lechería ha referido principalmente al desafío fisiológico que atraviesa la “vaca de transición” durante el parto y el establecimiento de la lactancia (por ejemplo: Meikle et al. 2004, Cavestany et al. 2005, Adrien et al. 2011, Meikle et al. 2013). No obstante, y en concordancia con algunos trabajos tempranos en el tema (por ejemplo: García y Holmes, 1999), los resultados de este trabajo demuestran que pueden existir desafíos para la vaca lechera en etapas más avanzadas de la lactancia. Esto, posiblemente dado por el desajuste entre la oferta y la demanda de nutrientes así como las condiciones climáticas lo que en conjunto determinan un contexto de alta exigencia para los animales en los sistemas pastoriles que mantienen al ganado en condiciones de cielo abierto durante todo el año.

En este sentido, los SPBI se caracterizan por estar sujetos a la variabilidad ambiental y por tanto la curva de producción de forraje y las condiciones climáticas afectan el comportamiento productivo de los animales. En efecto, los resultados de este trabajo demuestran que la respuesta productiva estuvo asociada no solo a la etapa fisiológica, sino, también a la respuesta diferencial de los genotipos al contexto ambiental que varió a lo largo del año. Esto, es lo que Chillibroste (2012) ha conceptualizado en términos de “valor productivo” de los sistemas como respuesta directa a la interacción entre el genotipo y el “valor ambiental” del sistema (entendiéndose como ambiente las características físicas, el clima, la topografía, las pasturas, entre otros). En el mismo sentido, se ha reportado que la cuenca lechera del NE del Uruguay (donde se realizó el experimento de esta tesis) se caracteriza por estar constituida por sistemas de producción con baja utilización de insumos externos y que asociado a ello tienen un desempeño productivo inferior a la media del país (Astigarraga et al., s.f.).

Los pocos estudios publicados en la comparación de vacas HF y N (e incluso en la comparación de HF con otras razas doble propósito) en general han trabajado con diseños factoriales 2x2 (2 genotipos y 2 planos nutricionales) y han encontrado que el comportamiento de los animales está afectado por la interacción genotipo\*ambiente (Yan et al. 2006b, Delaby et al. 2009). En este trabajo, todas las vacas fueron sometidas a las mismas condiciones, sin embargo, se encontró que la respuesta tanto a nivel productivo como metabólico estuvo afectada por la interacción raza\*SL poniéndose de manifiesto que la dinámica propia del sistema estudiado implicó la sucesión de planos nutricionales de alta y de baja a lo largo del año. Más aún, se podría decir que la curva de producción potencial estuvo modulada por las condiciones ambientales y por la oferta en cantidad y calidad de forraje, lo que es concordante con los perfiles metabólicos que dan indicios de una alta exigencia metabólica durante el invierno y distintas estrategias de adaptación entre las razas estudiadas.

**Figura 18. Esquema de la interacción genotipo\*ambiente en la PL, parámetros metabólicos e intensidad de metano por unidad de producto.**



Así, la partición de la energía fue distinta entre genotipos de manera que el fuerte carácter lechero de las vacas HF estuvo asociado a un período más largo de pérdida de PV y CC y diferencias en el perfil de los parámetros metabólicos durante el incremento del CEM en el inicio de la primavera (retraso en el aumento de la concentración plasmática de glucosa, urea y albúmina respecto a las vacas N posiblemente asociado a diferencias en el BE y en la tasa de actividad hepática).

Por otra parte, la interacción entre el CEM y las diferencias raciales en la partición de la energía (y consecuentemente PL) determinó que en valores absolutos, la iLCGP e iS variaran de manera distinta según la raza al comparar distintos momentos de la lactancia (P1 y P2). Por tanto, a la luz de estos resultados (aunque sin diferencias estadísticamente significativas) sería conveniente estudiar el efecto de los genotipos sobre las EM ya no, desde una perspectiva meramente del genotipo en un diseño clásico de dietas o planos nutricionales, sino a lo largo del ciclo productivo y considerado la interacción genotipo\*sistema.

En síntesis, el estudio del potencial de los recursos genéticos en distintos sistemas de producción lechera, implican la necesidad de un abordaje holístico en la medida que hay una integración que va desde la PL hasta las EM y cuyo vínculo central está dado por las estrategias fisiológicas de adaptación propias de cada genotipo en función de la flexibilidad fisiológica y estrategias de adaptación propias de estos. Así mismo, las razas estudiadas manifestaron diferencias en la partición de la energía entre producción de leche y reservas corporales, y considerando que la raza N es de doble propósito, sería conveniente estudiar el efecto de la raza sobre la intensidad de metano por unidad de producto contabilizando no solo la PL sino también la producción de carne a nivel global de un esquema de SPBI. Esto es, complejizar el sistema para poder tener una visión mejor lograda del comportamiento de distintas razas en condiciones de alta exigencia ambiental teniendo en cuenta la eficiencia de producción de leche y de carne. Finalmente, y teniendo en cuenta que se ha reportado que la selección de la vaca HF de alta producción está asociada a pérdidas de eficiencia reproductiva (Lucy et al., 2001) y se han hallado diferencias raciales entre HF y N (Delaby et al., 2009), debería estudiarse el impacto de la eficiencia reproductiva de las razas N y HF sobre el propio SPBI como efecto acumulativo.

A partir de lo obtenido hasta el momento, y en función del material muestreado a lo largo del ensayo aún disponible, se estima conveniente cuantificar la concentración plasmática de NEFA, BHB e insulina, y calcular el índice de desbalance fisiológico (Moyes et al., 2013) y RQUICKI (Holtenius y Holtenius, 2007) a los efectos de tener más elementos que permitan establecer claramente el estatus metabólico a lo largo de la lactancia y el período seco.

Así mismo, sería pertinente estudiar el grado de ajuste de la curva de PL al modelo bifásico propuesto por Grossman y Koops (1989) a los efectos de poder derivar la

ecuación de aceleración de PL y estudiar el grado de asociación con el desbalance fisiológico según lo propuesto por Ingvarlsen et al. (2003).

Además, se prevé realizar la cuantificación de las EM en las muestras obtenidas previo al secado y durante el período seco y que no fueron incorporadas en el presente trabajo de tesis.

En síntesis, se buscará completar los análisis y los cálculos necesarios para el óptimo aprovechamiento del experimento realizado.

## **5. CONCLUSIONES**

En este trabajo, se demostró que el comportamiento productivo y fisiológico de vacas lecheras de dos razas contrastantes estuvo afectado por la interacción entre el genotipo, el grado de avance de la lactancia y el ambiente.

A su vez, la respuesta productiva de los animales estuvo sustentada por diferentes estrategias a nivel fisiológico según la raza en respuesta al valor ambiental del sistema que se reflejó en diferentes perfiles de PV, CC y parámetros metabólicos a lo largo del ciclo biológico.

Las EM tuvieron una diferencia importante entre razas en valor absoluto, no obstante, no se detectaron diferencias significativas. La ausencia de efecto de la raza podría deberse, al menos parcialmente, a la variabilidad asociada a la técnica de estimación utilizada.

De la interacción entre las EM y la producción de LCGP y sólidos, surgió que la iLCGP y la iS tendieron a estar afectadas por el período experimental siendo la presión ambiental por unidad de producto mayor en primavera (inicio de lactancia tardía). A priori, estos resultados podrían parecer contradictorios en la medida que la primavera significó mejores condiciones y mayor CEM, sin embargo, la respuesta productiva difirió entre las razas y al tiempo que las vacas HF tuvieron una iLCGP y iS similar entre P1 y P2, las vacas N produjeron leche y sólidos con mayores iLCGP y iS (comparaciones en valor absoluto).

## **6. RESUMEN**

El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto de la raza y SL sobre la producción de leche (PL) y sólidos, parámetros metabólicos en sangre y emisiones de metano (EM). Se utilizaron vacas multíparas de raza Holstein Friesian (HF, n = 14) y Normando (N, n = 13). Quincenalmente se midió la PL, y una vez por mes se determinó la producción de sólidos, composición de la leche, la LCGP, el PV, la CC, la concentración de parámetros metabólicos en sangre, el consumo de energía metabolizable (CEM) y el balance energético (BE). En dos períodos experimentales (P1, 111 DPP; P2, 222 DPP) se determinaron las emisiones de metano (EM) mediante la técnica de trazado con SF<sub>6</sub> en 20 vacas seleccionadas al azar al inicio del experimento y se calculó la intensidad de metano por unidad de LCGP (iLCGP, g CH<sub>4</sub> /kg LCGP) y por unidad de sólidos (iS, g CH<sub>4</sub> /kg grasa + proteína), y el rendimiento energético de metano en relación al CEM (Y<sub>me</sub>, adimensional). Las vacas HF produjeron mayor cantidad de leche con menos contenido de sólidos que las N (P < 0.05). El PV fue similar entre razas (P > 0.1) y la CC mayor en la raza N (P < 0.05), ambas variables estuvieron afectadas por la interacción raza\*SL (P < 0.05). La concentración de metabolitos en sangre estuvo afectada por la interacción raza\*SL (P < 0.05) observándose diferencias entre razas durante la lactancia temprana y media. Finalmente, tanto las EM como el Y<sub>me</sub> estuvieron afectadas por el período (P < 0.05) mientras que la iLCGP e iS tendieron a ser afectadas por el período (P < 0.10).

**Palabras claves:** Sistemas pastoriles de baja dependencia de insumos externos; Genotipos lecheros; Parámetros metabólicos; Emisiones de metano.

## **7. SUMMARY**

The main goal of this experiment was to study the effect of breed and week of lactation on milk production, milk solids production and methane emissions. 27 multiparous dairy cows of Holstein Friesian (n = 14) and Normande (n = 13) breed were enrolled. Twice per month the milk yield was measured. Once a month it was measured the milk composition and milk solid yield, BCS, LW and concentration of blood metabolic parameters. Also, metabolic energy intake (MEI) and energy balance (EB) was determined once a month. In two lactation stages (period 1: 111 DIM; period 2: 222 DIM) the methane emissions were estimated by the SF<sub>6</sub> tracer technique using 20 cows randomly selected at the beginning of the experiment and it was calculated the methane intensity per unit of fat and protein corrected milk or per unit of solid (fat + protein). The energetic methane yield relative to metabolic energy intake (Y<sub>me</sub>, MJ CH<sub>4</sub> /MJ MEI) was estimated. The HF cows produced more milk with less solids content than N cows (P < 0.05). LW was similar (P > 0.1) between breed and N cows had a higher BCS (P < 0.05), furthermore, LW and BCS was affected by the interaction of breed and week of lactation (P < 0.05). Metabolites concentration was affected by the interaction of breed and week of lactation (P < 0.05) and it was observed differences between breeds in early and mid lactation. Finally, ME and Y<sub>me</sub> were different between periods (P < 0.05) and iLCGP and iS tended to be affected by the period (P < 0.1).

Keywords: Low input pastoral systems; Dairy genotypes; Metabolic parameters; Methane emissions.

## **8. BIBLIOGRAFÍA**

1. Adrien, M. L.; Mattiauda, D.; Artegoitia, V.; Carriquiry, M.; Motta, G.; Bentancur, O.; Meikle, A. 2010. Nutritional regulation of body condition score at the initiation of the transition period in primiparous and multiparous dairy cows under grazing conditions; milk production, resumption of postpartum ovarian cyclicity and metabolic parameters. *Animal*. 6: 292-299.
2. Alstrup, L.; Frydendahl, A. L.; Lund, P.; Weisbjerg, M. R. 2015a. Effect of fat supplementation and stage of lactation on methane production in dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*. 207: 10-19.
3. \_\_\_\_\_; Nielsen, M. O.; Lund, P.; Sehested, J.; Larsen, M. K.; Weisbjerg, M. R. 2015b. Milk yield, feed efficiency and metabolic profile in Jersey and Holstein cows assigned to different fat supplementation strategies. *Livestock Science*. 178: 165-176.
4. Auldish, M. J.; Walsh, B. J.; Thomson, N. A. 1998. Seasonal and lactational influences on bovine milk composition. *New Zealand Journal of Dairy Research*. 65: 401-411.
5. Baker, L. D.; Ferguson, J. D.; Chalupa, W. 1995. Responses in urea and true protein of milk to different protein feeding schemes for dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 78: 2424-2434.
6. Bannink, A.; Kogut, J.; Dijkstra, J.; France, J.; Kebreab, E.; Van Vuuren, A. M.; Tamminga, S. 2006. Estimation of stoichiometry of volatile fatty acid production in the rumen of lactating dairy cows. *Journal of Theoretical Biology*. 238: 36-51.
7. Basset-Mens, C.; Ledgard, S.; Boyes, M. 2009. Eco-efficiency of intensification scenarios for milk production. *New Zealand Journal of Ecological Economy*. 68: 1615-1625.
8. Bauman, D. E.; Currie, W. B. 1980. Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation; a review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *Journal of Dairy Science*. 63: 1514-1529.
9. Bedere, N.; Delaby, L.; Ducrocq, V.; Leurent-Colette, S.; Disenhaus, C. 2016. Toward improved postpartum cyclicity of primiparous dairy cows; effects of

- genetic merit for production traits under contrasting feeding systems. *Journal of Dairy Science*. 99: 1266-1276.
10. Beaver, D. E.; Cammell, S. B.; Sutton, J. D.; Rowe, N.; Perrott, G. E. 1998. Energy metabolism in high yielding cows. *In*: Winter Meeting of the British Society of Animal Science (35<sup>th</sup>., 1998, Pencuik). Proceedings. Pencuik, British Society of Animal Welfare. p. 13.
  11. Bell, A. W. 1995. Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. *Journal of Animal Science*. 73: 2804–2819.
  12. \_\_\_\_\_.; Bauman, D. E. 1997. Adaptations of glucose metabolism during pregnancy and lactation. *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia*. 2: 265-278.
  13. \_\_\_\_\_.; Burhans, W. S.; Overton, T. R. 2000. Protein nutrition in late pregnancy, maternal protein reserves and lactation performance in dairy cows. *Proceedings of the Nutrition Society*. 59: 119-126.
  14. Bjerre-Harpøth, V.; Friggens, N. C.; Thorup, V. M.; Larsen, T.; Damgaard, B. M.; Ingvarsen, K. L.; Moyes, K. M. 2012. Metabolic and production profiles of dairy cows in response to decreased nutrient density to increase physiological imbalance at different stages of lactation. *Journal of Dairy Science*. 95: 2362-2380.
  15. Brockman, R. P. 1993. Glucose and short-chain fatty acid metabolism. *In*: Forbes, J. M.; France, J. eds. *Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism*. Wallingford, UK, CAB International. pp. 247-265.
  16. Broster, W. H.; Broster, V. J. 1998. Body score of dairy cows. *Journal of Dairy Research*. 65:155–173.
  17. Burhans, W. S.; Briggs, E. A.; Rathmacher, J. A.; Bell, A.W. 1997. Glucogenic supplementation does not reduce body tissue protein degradation in periparturient dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 80: 166.
  18. Cammell, S. B.; Beaver, D. E.; Sutton, J. D.; France, J.; Aderman, G.; Humphries, D. J. 2000. An examination of energy utilization in lactating dairy cows receiving total mixed ration base don maize-silage. *Animal Science*. 71: 585-596.

19. Capuco, A. V.; Akers, R. M.; Smith, J. J. 1977. Mammary growth in Holstein cows during the dry period: quantification of nucleic acids and histology. *Journal of Dairy Science*. 80: 477–487.
20. Carriquiry, M.; Weber, W. J.; Crooker, B. 2008. Administration of bovine somatotropin in early lactation; a meta-analysis of production responses by multiparous Holstein cows. *Journal of Animal Science*. 91: 2641-2652.
21. \_\_\_\_\_; Weber, W. J.; Dahlen, C. R.; Lamb, G. C.; Baumgard, L. H.; Crooker, B. A. 2009. Production response of multiparous Holstein cows treated with bovine somatotropin and fed diets enriched with n-3 or n-6 fatty acids. *Journal of Dairy Science*. 92: 4852-64
22. Cavestany, D.; Kulcsár-huszenicza, M.; Meikle, A. 2005. Studies of the transition cow under a pasture-based milk production system; metabolic profiles. *Journal of Veterinary Medicine*. 52: 1-7.
23. \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; Crespi, D.; Chilliard, Y.; Manna, A. L.; Balogh, O.; Keresztes, M.; Delavaud, C.; Huszenicza, G.; Meikle, A. 2009. Effect of prepartum energetic supplementation on productive and reproductive characteristics, and metabolic and hormonal profiles in dairy cows under grazing conditions. *Reproduction in Domestic Animals*. 44: 663-671.
24. Chagunda, M. G. G.; Römer, D. A. M.; Roberts, D. J. 2009. Effect of genotype and feeding regime on enteric methane, non-milk nitrogen and performance of dairy cows during the winter feeding period. *Livestock Science*. 122: 323-332.
25. Chilibroste, P.; Naya, H.; Urioste, J. I. 2001. Evaluación cuantitativa de curvas de vacas Holando en Uruguay. III. Implicancias biológicas de las curvas de producción. *In*: Congreso de la Asociación Argentina de Producción Animal (24°. 2002, Rafaela). Resúmenes. Rafaela, Asociación Argentina de Producción Animal. p. irr.
26. \_\_\_\_\_. 2012. Estrategias de alimentación en sistemas de producción de leche de base pastoril. *Cangüé*. no. 32: 2-8.
27. Chilliard, Y.; Bocquier, F. 2006. Direct effects of photoperiod on lipid metabolism, leptin synthesis and milk secretion in Adult Shee. *In*: Cronjé, P.B. ed. *Ruminant physiology*. Wallingford, UK, CABI. pp. 205-224.

28. Cirio, A.; Tebot, I. 1998. Fisiología metabólica de los rumiantes. Montevideo, Uruguay, Universidad de la República. Facultad de Veterinaria. 141 p.
29. Cohick, W. S. 1998. Role of the insulin-like growth factors and their binding proteins in lactation. *Journal of Dairy Science*. 81: 1769–1777.
30. Cottle, D.; Nolan, J.; Wiedemann, S. 2011. Ruminant enteric methane mitigation; a review. *Animal Production Science*. 51: 491-514.
31. Cozzolino, D.; Pigurina, G.; Methol, M.; Acosta, Y.; Mieres, J.; Bassewitz, H. 1994. Guía para la alimentación de ruminantes. 2a ed. Montevideo, Uruguay, INIA. 60 p.
32. Dall-Orsoletta, A. C.; Almeida, J. G. R.; Carvalho, P. C. F.; Savian, J. V.; Ribeiro-Filho, H. M. N. 2016. Ryegrass pasture combined with partial total mixed ration reduces enteric methane emissions and maintains the performance of dairy cows during mid to late lactation. *Journal of Dairy Science*. 99: 4374-4383.
33. Delaby, L.; Faverdin, P.; Michel, G.; Disenhaus, C.; Peyraud, J. L. 2009. Effect of different feeding strategies on lactation performance of Holstein and Normande dairy cows. *Animal*. 3: 891-905.
34. \_\_\_\_\_.; Hennessy, D.; Gallard, Y.; Buckley, F. 2014. Animal choice for grass systems. *In: General Meeting of the European Grassland Federation (25<sup>th</sup>, 2014, Aberystwyth, Wales). EGF at 50; the future of European Grasslands. Grassland Science in Europe*. 19: 795-797.
35. Dillon, P.; Buckley, F.; O'Connor, P.; Hegarty, D.; Rath, M. 2003. A comparison of different dairy cow breeds on a seasonal grass-based system of milk production 1. Milk production, live weight, body condition score and DM intake. *Livestock Production Science*. 83: 21–33.
36. Dini, Y.; Gere, J.; Birano, C.; Manetti, M.; Juliarena, P.; Picasso, V.; Astigarraga, L. 2012. Methane emission and milk production of dairy cows grazing pastures rich in legumes or rich in grasses in Uruguay. *Animals*. 2 (2): 288-300.
37. Djoković, R.; Cincović, M.; Belić, B.; Toholj, B.; Davidov, I.; Hristovska, T. 2015. Relationship between blood metabolic hormones, metabolites and energy balance in Simmental dairy cows during peripartum period and lactation. *Pakistan Veterinary Journal*. 35(2): 163-167.

38. Drackley, J. K.; Overton, T. R.; Douglas, G. N. 2001. Adaptations of glucose and long-chain fatty acid metabolism in liver of dairy cows during the periparturient period. *Journal of Dairy Science*. 84: E100-E112.
39. Francisco, C. C.; Chamberlain, C. S.; Waldner, D. N.; Wettemann, R. P.; Spicer, L. J. 2002. Propionibacteria fed to dairy cows; effects energy balance, plasma metabolites and hormones, and reproduction. *Journal of Dairy Science*. 85:1738–1751
40. \_\_\_\_\_; Spicer, L. J.; Payton, M. E. 2003. Predicting cholesterol, progesterone, and days to ovulation using postpartum metabolic and endocrine measures. *Journal of Dairy Science*. 86: 2852–2863.
41. French, M. H.; Johansson, I.; Joshi, N. R.; MacLaughlin, E. A. 1968. *Razas europeas de ganado bovino*. Roma, Italia, FAO. v.1, 418 p.
42. Garcia, S. C.; Cayzer, F. J.; Holmes, C. W.; MacDonald, A. 1998. The effect of calving season on milk production; a systems study. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 58: 61-63.
43. \_\_\_\_\_; Holmes, C. W. 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.
44. \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. 2001. Lactation curves of autumn- and spring-calved cows in pasture-based dairy systems. *Livestock Production Science*. 68: 189-203.
45. Garnsworthy, P. C.; Craigon, J.; Hernandez-Medrano, J. H.; Saunders, N. 2012. Variation among individual dairy cows in methane measurements made on farm during milking. *Journal of Dairy Science*. 95: 3181-3189.
46. Gidlund, H.; Hetta, M.; Krizsan, S. J.; Lemosquet, S.; Huhtanen, P. 2017. Effects of soybean meal or canola meal on milk production and methane emissions in lactating dairy cows fed grass silage-based diets. *Journal of Dairy Science*. 98: 8093-106.
47. Gross, J.; van Dorland, H.; Bruckmaier, R. M.; Schwarz, F. J. 2011. Performance and metabolic profile of dairy cows during a lactational and deliberately induced negative energy balance with subsequent realimentation. *Journal of Dairy Science*. 94: 1820-1830.

48. Guinard-Flament, J., Delamaire, E.; Lemosquet, S.; Boutinaud, M.; David, Y. 2006. Changes in mammary uptake and metabolic fate of glucose with once-daily milking and feed restriction in dairy cows. *Reproduction, Nutrition, Development*. 46: 589–598.
49. Hammond, K. J.; Humphries, D. J.; Westbury, D. B.; Thompson, A. C.; Crompton, L. A.; Kirtom, P.; Green, C.; Reynolds, C. K. 2014. The inclusion of forage mixtures in the diet of growing dairy heifers; impacts on digestion, energy utilization, and methane emissions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 197: 88-95.
50. Hansen, J. V.; Friggens, N. C.; Højsgaard, S. 2006. The effect of breed and parity on milk yield, and milk yield acceleration curves. *Livestock Science*. 104: 53-62.
51. Harper, L.; Denmead, O.; Freney, J.; Byers, F. 1999. Direct measurements of methane emissions from grazing and feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 77: 1392-1401.
52. Hart, I. C.; Bines, J. A.; Morant, S. V.; Ridley, J. L. 1978. Endocrine control of energy metabolism in the cow; comparison of the levels of hormones (prolactin, growth hormone, insulin and thyroxine) and metabolites in the plasma of highland low-yielding cattle at various stages of lactation. *Journal of Endocrinology*. 77:333-345.
53. Herdt, T. H. 2000. Ruminant adaptation to negative energy balance. Influences on the etiology of ketosis and fatty liver. *Veterinary Clinics of North America-Food Animal Practice*. 16: 215-230.
54. Holtenius, K.; Agenäs, S.; Delavaud, C.; Chilliard, Y. 2003. Effects of feeding intensity during the dry period. 2. Metabolic and hormonal responses. *Journal of Dairy Science*. 86: 883-891.
55. Horan, B.; Dillon, P.; Berry, D. P.; O'Connor, P.; Rath, M. 2005. The effect of strain of Holstein-Friesian, feeding system and parity on lactation curves characteristics of spring-calving dairy cows. *Livestock Production Science*. 95: 231-241.
56. Horn, M.; Steinwider, A.; Pfitser, R.; Gasteiner, J.; Vestergaard, M.; Larsen, T.; Zollitsch, W. 2014a. Do different cow types respond differently to a

reduction of concentrate supplementation in an Alpine low-input dairy system? *Livestock Science*. 170: 72-83.

57. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; Starz, W.; Pfitser, R.; Zollitsch, W. 2014b. Interactions between season and cattle breed in a seasonal Alpine organic and low-input dairy system. *Livestock Science*. 160: 141-150.
58. Hristov, A. N.; Oh, J.; Firkins, J. L.; Dijkstra, J.; Kebreab, E.; Waghorn, G.; Makkar, H. P.; Adesogan, A. T.; Yang, W.; Lee, C.; Gerber, P. J.; Henderson, B.; Tricarico, J. M. 2013. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations; a review of enteric methane mitigation options. *Journal of Animal Science*. 91:5045–5069.
59. Hynes, D. N.; Stergiadis, S.; Gordon, A.; Yan, T. 2016. Effects of concentrate crude protein content on nutrient digestibility, energy utilization, and methane emissions in lactating dairy cows fed fresh-cut perennial grass. *Journal of Dairy Science*. 99: 8858-8866.
60. INALE (Instituto Nacional de la Leche, UY). s.f. Encuesta lechera INALE 2014; datos preliminares. Montevideo. 46 p.
61. Ingvarstsen, K. L.; Andersen, J. B. 2000. Integration of metabolism and intake regulation; a review focusing on periparturient animals. *Journal of Dairy Science*. 83: 1573-1597.
62. \_\_\_\_\_.; Dewhurst, R.; Friggens, N. 2003. On the relationship between performance and health; is it yield or metabolic imbalance that cause production diseases in dairy cattle? A position paper. *Livestock Production Science*. 83: 277-308.
63. Janssen, P. H. 2010. Influence of hydrogen on rumen methane formation and fermentation balances through microbial growth kinetics and fermentation thermodynamics. *Animal Feed Science and Technology*. 160: 1–22.
64. Jeong, J. K.; Choi, I. S.; Kang, H. G.; Hur, T. Y.; Jung, Y. H.; Kim, I. H. 2015. Relationship between serum metabolites, body condition, peri- and postpartum health and resumption of postpartum cyclicity in dairy cows. *Livestock Science*. 181: 31-37.
65. Johnson, K.; Johnson, D. 1995. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*. 73: 2483-2492.

66. Kahn, C. R. 1978. Insulin resistance, insulin insensitivity, and insulin unresponsiveness; a necessary distinction. *Metabolism*. 27: 1893– 1902.
67. Keown, J. F.; Everett, R. W.; Empet, N. B.; Wadell, L. H. 1986. Lactation curves. *Journal of Dairy Science*. 69: 769-781.
68. Kessel, S.; Stroehl, M.; Meyer, H. H. D.; Hiss, S.; Sauerwein, H.; Schwarz, F. J.; Bruckmaier, R. M. 2008. Individual variability in physiological adaptation to metabolic stress during early lactation in dairy cows kept under equal conditions. *Journal of Animal Science*. 86: 2903–2912.
69. Knight, C. 2001. Lactation and gestation in dairy cows; flexibility avoids nutritional extremes. *Proceedings of the Nutrition Society*. 60: 527-537.
70. Laborde, D.; Holmes, C. W.; Garcia-Muñiz, J. G.; Wichtel, J. 1998. Reproductive performance of Holstein-Friesian cows differing genetically in live weight. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*. 58: 73-75.
71. Lassey, K.; Ulyatt, M.; Martin, R.; Walker, C.; Shelton, I. 1997. Methane emissions measured directly from grazing livestock in New Zealand. *Atmospheric Environment*. 31: 2905-2914.
72. \_\_\_\_\_. 2007. Livestock methane emission; from the individual grazing animal through national inventories to the global methane cycle. *Agricultural and Forest Meteorology*. 142: 120-132.
73. Loza, C.; Orcasbero, M. S.; Gere, J.; Juliarena, P.; Álvarez-Oxiley, A.; Astigarraga, L. 2016. Efecto de la altura de la pastura sobre la producción y las emisiones de metano de vacas lecheras en pastoreo. *In*: Congreso de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal (25°. 2016, Recife). Resúmenes. Recife, Asociación Latinoamericana de Producción Animal. pp. irr.
74. Lucy, M. C.; Jiang, H.; Kobayashi, Y. 2001. Changes in the somatotropin axis associated with the initiation of lactation. *Journal of Dairy Science*. 84: E113–E119.
75. McArt, J.; Nydam, D. V.; Oetzel, G. R.; Overton, T. R.; Ospina, P. A. 2013. Elevated non-esterified fatty acids and  $\beta$ -hydroxybutyrate and their association with transition dairy cow performance. *The Veterinary Journal*. 198: 560-570.

76. Macmillan, K. L.; Taufa, V. K.; Pearce, M. G. 1984. Calving patterns and their effects on herd production. In: Ruakura's Farmers Conference (36<sup>th</sup>, 1984, New Zealand). Proceedings. Ruakura, New Zeland. Ministry of Agriculture and Fisheries. pp. 25-28.
77. Margolles, E. 1983. Metabolitos sanguíneos en vacas altas productoras durante la gestación y lactancia en las condiciones de Cuba y su relación con trastornos del metabolismo. *Revista Cubana de Ciencia Veterinaria*. 10: 228–235.
78. Martin, C.; Morgavi, D.; Doreau, M. 2010. Methane mitigation in ruminants; from microbe to the farm scale. *Animal*. 4: 351-365.
79. Meikle, A.; Kulcsar, M.; Chilliard, Y.; Febel, H.; Delavaud, C.; Cavestany, D.; Chilbroste, P. 2004. Effects of parity and body condition at parturition on endocrine and reproductive parameters of the cow. *Reproduction*. 127: 727-737.
80. \_\_\_\_\_; Adrien, M. L.; Mattiauda, D. A.; Chilbroste, P. 2013. Effect of sward condition on metabolic endocrinology during the early postpartum period in primiparous grazing dairy cows and its association with productive and reproductive performance. *Animal Feed Science and Technology*. 186: 139-147.
81. Moyes, K. M.; Larsen, T.; Ingvarsen, K. L. 2013. Generation of an index for physiological imbalance and its use as a predictor of primary disease in dairy cows during early lactation. *Journal of Dairy Science*. 96: 2161-2170.
82. Mouffok, C. E.; Madani, T.; Semara, L.; Ayache, N.; Rahal, A. 2012. Correlation between body condition score, blood biochemical metabolites, milk yield and quality in algerian montbéliarde. *Pakistan Veterinary Journal*. 33(2): 191-194.
83. Münger, A.; Kreuzer, M. 2006. Methane emission as determined in contrasting dairy cattle breeds over the reproduction cycle. In: International Conference on Greenhouse Gases and Animal Agriculture (2<sup>nd</sup>, 2005, Zurich). Proceedings. Amsterdam, Elsevier. pp. 119-122 (International Congress Series).
84. Muñoz, C.; Letelier, P. A.; Ungerfeld, E. M.; Morales, J. M.; Hube, S.; Pérez-Prieto, L. A. 2016. Effects of pregrazing herbage mass in late spring on enteric methane emissions, dry matter intake, and milk production of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 99: 1-11.

85. Murray, R.; Bryant, A.; Leng, R. 1976. Rates of production of methane in the rumen and large intestine of sheep. *British Journal of Nutrition*. 36: 1-14.
86. MVOTMA (Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, UY). 2010. Tercera comunicación nacional a la conferencia de las partes en la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Montevideo, Uruguay. 165 p.
87. Naya, H.; Urioste, J. I.; Chilbroste, P. 2001. Evaluación cuantitativa de curvas de lactancia de vacas Holando en Uruguay. II. Ajuste de un modelo bifásico. *In*: Congreso de la Asociación Argentina de Producción Animal (24<sup>o</sup>., 2002, Rafaela). Resúmenes. Rafaela, Asociación Argentina de Producción Animal. p. irr.
88. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; Franco, J. 2002. Identification of production environments and presence of GxE interactions in Uruguay using Holstein Herds records. *In*: World Congress on Genetics Applied to Livestock Production (7<sup>th</sup>., 2002, Montpellier, France). Proceedings. Montpellier, INRA. p. irr.
89. Nielsen, H. M.; Friggens, N. C.; Løvendahl, P.; Jensen, J.; Ingvarsten, K. L. 2003. Influence of breed parity, and stage of lactation on lactational performance and relationship between body fatness and live weight. *Livestock Production Science*. 79: 119-133.
90. Ntallaris, T.; Humblot, P.; Båge, R.; Sjunnesson, Y.; Dupont, J.; Berglund, B. 2017. Effect of energy balance profile on metabolic and reproductive response in Holstein and Swedish Red cows. *Theriogenology*. 90: 276-283.
91. O'Brien, D.; Shalloo, L.; Grainger, C.; Buckley, F.; Horan, B.; Wallace, M. 2010. The influence of strain of Holstein-Friesian cow and feeding system on greenhouse gas emissions from pastoral dairy farms. *Journal of Dairy Science*. 93: 3390-3402.
92. O'Hara, L.; Båge, R.; Holtenius, K. 2016. The impact of body condition after calving on metabolism and milk progesterone profiles in two breeds of dairy cows. *Acta Veterinaria Scandinavica*. 58 (supl. 1): 91-94.
93. Oldenbroek, J. 1984. Holstein Friesians, Dutch Friesians and Dutch Red and White on two complete diets, with a different amount of roughage; performance in first lactation. *Livestock Production Science*. 11: 401-415.

94. O'Neill, B. F.; Deighton, M. H.; O'Loughlin, B. M.; Mulligan, T. F. J.; Boland, M.; O'Donovan, M.; Lewis, E. 2011. Effects of a perennial ryegrass diet or total mixed ration diet offered to springcalving Holstein-Friesian dairy cows on methane emissions, dry matter intake, and milk production. *Journal of Dairy Science*. 94:1941–1951.
95. Pembleton, K. G.; Hills, J. L.; Freeman, M. J.; McLare, D. K.; French, M.; Rawnsley, R. P. 2016. More milk from forage; milk production, blood metabolites, and forage intake of dairy cows grazing pasture mixtures and spatially adjacent monocultures. *Journal of Dairy Science*. 99: 3512-3528.
96. Pereira, I.; Laborde, D.; Carriquiry, M.; López-Villalobos, N.; Meikle, A. 2010a. Blood metabolic profiles in Uruguayan Holstein and Uruguayan Holstein x New Zealand Holstein-Friesian dairy cows. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*. 70: 311-315.
97. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 2010b. Productive and reproductive performance of Uruguayan Holstein and Uruguayan Holstein x New Zealand Holstein Friesian cows in a predominantly pasture-based system. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*. 70: 306-310.
98. Petrera, F.; Napolitano, F.; Dal Prà, A.; Abeni, F. 2015. Plasma parameters related to energy and lipid metabolism in periparturient Modenese and Italian Friesian cows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 99: 962-973.
99. Piccioli-Cappelli, F.; Looor, J. J.; Seal, C. J.; Minuti, A.; Trevisi, E. 2014. Effect of dietary starch level and high rumen-undegradable protein on endocrine-metabolic status, milk yield, and milk composition in dairy cows during early and late lactation. *Journal of Dairy Science*. 97 :7788–7803.
100. Piccione, G.; Messina, V.; Schembari, A.; Casella, S.; Giannetto, C.; Alberghina, D. 2011. Changes of some haematochemical parameters in dairy cows during late gestation, post partum, lactation and dry periods. *Veterinarija Ir Zootechnika*. 58: 59-64.
101. Pinares-Patiño, C.; Baumont, R.; Martin, C. 2003. Methane emissions by Charolais cows grazing a monospecific pasture of timothy at four stages of maturity. *Canadian Journal of Animal Science*. 83: 769-776.

102. Pires, J. A. A.; Chilliard, Y.; Delavaud, C.; Rouel, J.; Pomiès, D.; Blanc, F. 2015. Physiological adaptations and ovarian cyclicity of Holstein and Montbéliarde cows under two low-input production systems. *Animal*. 9: 1986-1995.
103. Radcliff, R. P.; McCormack, B. L.; Crooker, B. A.; Lucy, M. C. 2003. Growth hormone (GH) binding and expression of GH receptor 1A mRNA in hepatic tissue of periparturient dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 86:3933–3940.
104. Reiche, A.; Delaby, L.; Colette, S.; Gallard, Y. 2015. Quelle vache laitière pour quel système? – Influence du type de vaches et du niveau des apports nutritifs sur les performances des vaches laitières – Cas particulier des primipares. Mémoire Ing. Agr. Paris, France. AgroCampus Ouest et INRA de Rennes. 20 p.
105. Reilling, A. E.; Mattioli, G. A. s.f. Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes. 2ª. ed. La Plata, Argentina, Universidad Nacional de La Plata (U.N.L.P.). Facultad de Ciencias Veterinarias. Cátedra de Fisiología. 72 p.
106. Rico, D. E.; Chouinard, P. Y.; Hassanat, F.; Benchaar, C.; Gervais, R. 2015. Prediction of enteric methane emissions from Holstein dairy cows fed various forage sources. *Animal*. 2016. 10: 203–211.
107. Robertson, L. J.; Waghorn, G. C. 2002. Dairy industry perspectives on methane emissions and production from cattle fed pasture or total mixed rations in New Zealand. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*. 62: 213-218.
108. Roche, J. R.; Berry, D. P.; Kolver, E. S. 2006. Holstein-Friesian strain and feed effects on milk production, body weight, and body condition score profiles in grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 89: 3532-3543.
109. Roseler, D. K.; Ferguson, J. D.; Sniffen, C. J.; Herrema, J. 1993. Dietary-Protein degradability effects on plasma and milk urea nitrogen and milk non protein nitrogen in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 76: 525–534.
110. Ross, S. A.; Chagunda, M. G. G.; Topp, C. F. E.; Richard, E. 2014. Effect of cattle genotype and feeding regime on greenhouse gas emissions intensity in high producing dairy cows. *Livestock Science*. 170: 158-171.
111. Rowlands, G. J.; Manston, R.; Stark, A. J.; Russell, A. M.; Collis, K. A.; Collis, S. C. 1980. Changes in albumin, globulin, glucose and cholesterol

concentrations in the blood of dairy cows in late pregnancy and early lactation and relationships with subsequent fertility. *The Journal of Agricultural Science*. 94: 517-527.

112. Schmidt, G. H.; Van Vleck, L. D.; Hutjens, M. F. 1984. Principles of dairy science. 2<sup>nd</sup>. ed. New Jersey, USA, Prentice-Hall. 466 p.
113. Sveinbjornsson, J.; Huhtanen, P.; Uden, P. 2006. The Nordic cow model, Karoline-development of volatile fatty acids sub model. In: Kebreab, E.; Dijkstra, J.; Bannink, A.; Gerrits, W. J. J.; France, J. eds. Nutrient digestion and utilization in farm animals; modelling approaches. Oxfordshire, UK, CABI. pp. 1-14.
114. Thanner, S.; Dohme-Meier, F.; Görs, S.; Metges, C. C.; Bruckmaier, R. M.; Schori, F. 2014. The energy expenditure of 2 Holstein cow strains in an organic grazing system. *Journal of Dairy Science*. 97: 2789-2799.
115. van der Drift, S. G.; Houweling, M.; Schonewille, J. T.; Tielens, A. G.; Jorritsma, R. 2012. Protein and fat mobilization and associations with serum beta-hydroxybutyrate concentrations in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 95: 4911-4920.
116. Vanlierde, A.; Vanrobays, M. L.; Dehareng, F.; Froidmont, E.; Soyeurt, H.; McParland, S.; Lewis, E.; Deighton, M. H.; Grandl, F.; Kreuzer, M.; Gredler, B.; Dardenne, P.; Gengler, N. 2015. Hot topic; innovative lactation-stage-dependent prediction of methane emissions from milk mid-infrared spectra. *Journal of Dairy Science*. 98: 5740-5747.
117. Vernon, R. G.; Pond, C. M. 1997. Adaptations of maternal adipose tissue to lactation. *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia*. 2: 231-241.
118. Vicini, J. L.; Buonomo, F. C.; Veenhuizen, J. J.; Miller, M. A.; Clemmons, D. R.; Collier, R. J. 1991. Nutrient balance and stage of lactation affect responses of insulin, insulin-like growth factors I and II, and insulin-like growth factor-binding protein 2 to somatotropin administration in dairy cows. *Journal of Nutrition*. 121:1656-1664.
119. Vlaming J. 2008. Quantifying variation in estimated methane emission from ruminants using the SF<sub>6</sub> tracer technique. Thesis PhD. Palmerston North, New Zealand. Massey University. 186 p.
120. Walsh, S.; Buckley, F.; Pierce, K.; Byrne, N.; Patton, J.; Dillon, P. 2008. Effects of breed and feeding system on milk production, body weight, body

condition score, reproductive performance, and postpartum ovarian function. *Journal of Dairy Science*. 91: 4401–4413.

121. West, J. W.; Mullinix, B. G.; Bernard, J. K. 2003. Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 86: 232–242.
122. Wims, C. M.; Deighton, M. H. ; Lewis, E.; O'Loughlin, B.; Delaby, L.; Boland, T. M.; O'Donovan, M. 2010. Effect of pregrazing herbage mass on methane production, dry matter intake, and milk production of grazing dairy cows during the mid-season period. *Journal of Dairy Science*. 93: 4976–4985.
123. Wood, P. D. P. 1967. Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature*. 216: 164-165.
124. \_\_\_\_\_. 1972. A note on seasonal fluctuations in milk production. *Animal Production*. 15: 89-92.
125. Xing, G. Q.; Mackenzie, D. D. S.; McCutcheon, S. N.; Wickam, B. W. 1993. Pancreatic insulin responses to exogenous glucose in Friesian heifers of low or high genetic merit for milk-fat yield. *Animal Production*. 56: 171–178.
126. Yan, T.; Agnew, R. E.; Gordon, F. J.; Porter, M. G. 2000. Prediction of methane energy output in dairy and beef cattle offered grass silage-based diets. *Livestock Science*. 64: 253-263.
127. \_\_\_\_\_.; Mayne, C. S.; Keady, T. W. J.; Agnew, R. E. 2006a. Effects of dairy cow genotype with two planes of nutrition on energy partitioning between milk and body tissue. *Journal of Dairy Science*. 89: 1031-1042.
128. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. S.; Porter, M. G. 2006b. Effects of dietary and animal factors on methane production in dairy cows offered grass silage-based diets. In: International conference on greenhouse gases and animal agriculture (2<sup>nd</sup>, 2006, Zurich). Proceedings. Amsterdam, Elsevier. pp. 123-126 (International Congress Series).

## 9. ANEXOS

### 9.1. TÉCNICA DE ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE METANO MEDIANTE TRAZADO CON SF<sub>6</sub>

Murray et al. (1976) establecieron que aproximadamente el 99% del metano entérico en los rumiantes es excretado mediante eructos y exhalaciones. Esto, como consecuencia de que el 95% del CH<sub>4</sub> ruminal es eructado y el 87% del CH<sub>4</sub> producido a nivel intestinal es absorbido en este y eliminado por vía pulmonar. Posteriormente, Johnson et al. (1994) desarrollaron una técnica para estimar dichas emisiones de metano mediante la utilización de SF<sub>6</sub> como gas trazador.

El principio general consiste en la colocación en el retículo rumen de una cápsula que contiene SF<sub>6</sub> y que libera este gas a una tasa conocida. Luego, muestras de aire exhalado y eructado son tomadas en la zona del ollar de la vaca. En dichas muestras el gas trazador es excretado junto con el metano. Matemáticamente, la relación entre la tasa de emisión de CH<sub>4</sub> y la tasa de liberación de SF<sub>6</sub> es similar a la relación entre la concentración de metano y la concentración del gas trazador en las muestras de aire (Johnson et al., 1994). Se tiene, por tanto, la siguiente expresión analítica:

$$\frac{Q_{CH_4}}{Q_{SF_6}} = \frac{[CH_4]}{[SF_6]} \quad [1]$$

Dónde:  $Q_{CH_4}$  es la tasa de emisión de metano,  $Q_{SF_6}$  es la tasa de liberación del gas de la cápsula, y  $[CH_4]$  y  $[SF_6]$  son las concentraciones de los gases en cuestión en las muestras de aire recogidas en la zona del ollar del animal.

De la ecuación 1 se puede calcular la tasa de emisión metano, de manera que esta está dada por 2:

$$Q_{CH_4} = Q_{SF_6} * \frac{[CH_4]}{[SF_6]} \quad [2]$$

Un aspecto importante a tener en cuenta, son las exigencias que debe cumplir el gas trazador: ser inocuo para el animal (no tóxico), estar en bajas concentraciones en la atmósfera, ser fácilmente cuantificable a concentraciones muy pequeñas (límite de cuantificación bajo, Gere, 2012).

Por su parte, y según la variante de la técnica, las muestras de aires son recogidas en recipientes de PVC o aluminio, durante un tiempo determinado (conocido como “tiempo medio” [tm]) que puede variar de 1 a 10 días según el protocolo (Pinares-Patiño et al., 2012). Los recipientes son colgados en el cuello del animal o en bozales, y se

encuentran en vacío ( $p < 3$  kPa; Pinares-Patiño et al., 2012), de manera que el aire exhalado y eructado por el animal ingresa por diferencia de presión (método de muestreo pasivo). Para obtener una muestra compuesta representativa del periodo experimental – integrada en todo el  $t_m$ – es necesario que exista un restrictor de flujo, el cual es diverso en su construcción según la variante de la técnica utilizada.

Es importante señalar, además, que el flujo de aire que ingresa al tubo colector de muestra depende del vacío que este tenga. Más aún, el flujo es del tipo laminar o “flujo de Poiseuille” (Gere, 2012). Por lo tanto, depende de la diferencia de presión entre el punto de ingreso y el punto más distal del cilindro de recolección. La ecuación 3 expresa la ley de Poiseuille:

$$\Phi = \frac{dV}{dt} = \frac{\pi r^4}{8\eta} \left(-\frac{\Delta P}{\Delta z}\right) \quad [3]$$

Dónde:  $\Phi$  es el flujo (volumen de fluido que atraviesa una superficie determinada por unidad de tiempo),  $\eta$  la viscosidad dinámica, y  $\frac{\Delta P}{\Delta z}$  la variación de presión entre los puntos extremos del sistema de recolección de muestra (ingreso en el restrictor de flujo y fondo del cilindro de acero inoxidable).

De la ecuación 2 se desprende que el flujo crece con el aumento de la diferencia de presión entre el interior del tubo colector y la atmósfera (zona del ollar del animal) donde se colecta la muestra. Por lo tanto, en la medida que transcurre el tiempo, y el tubo empieza a tener menos vacío, el flujo de aire es cada vez menor (Gere 2012, Pinares-Patiño et al. 2012). Lo anterior, implica por un lado que este sistema de muestreo pasivo es imperfecto en la medida que los gases emitidos al inicio del periodo de muestreo contribuyen en mayor medida que aquellos emitidos al final.

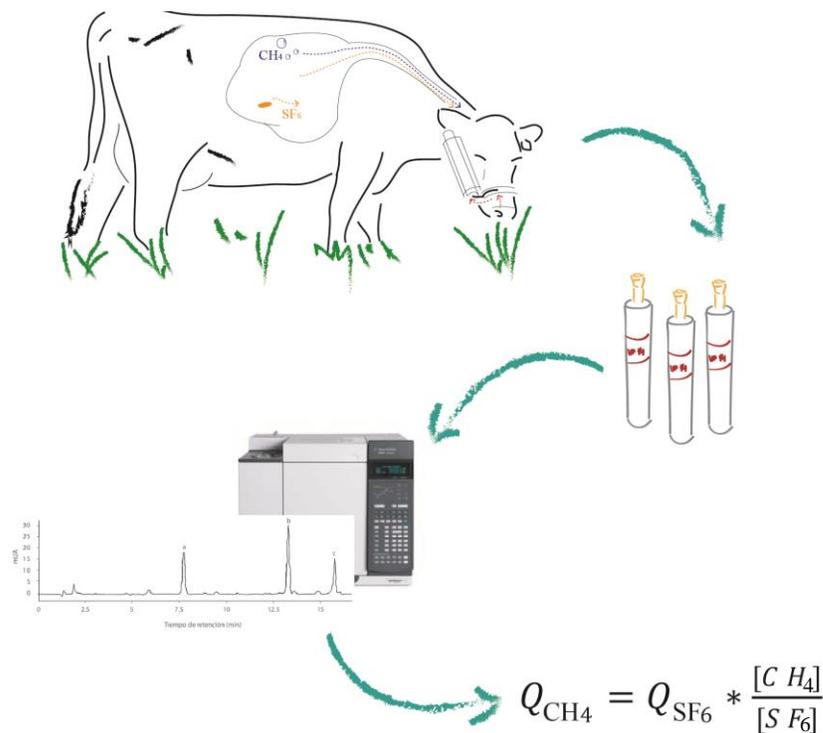
Asimismo, Gere (2012) indica que la presión en el interior del tubo de recolección varía en función del tiempo, y la resolución de la ecuación diferencial que surge de plantear dicho problema está expresada como sigue:

$$\frac{P(t)}{P_0} = 1 - e^{-\frac{c}{V} * t} \quad [4]$$

Dónde:  $P(t)$  es la presión en el tubo de acero inoxidable en función del tiempo,  $P_0$  la presión atmosférica,  $c$  la conductancia del restrictor de flujo,  $v$  el volumen del recipiente y  $t$  el tiempo de recolección (que en este trabajo se denomina  $t_m$ ).

A los efectos de disminuir lo más posible el sobre muestreo al inicio del periodo en detrimento del final, Gere (2012) propone que –teóricamente– el  $t_m$  debiera ser significativamente menor que la relación  $v/c$  para que dentro  $P$  varíe linealmente con el

tiempo en el tubo. No obstante, es necesario tener un volumen de muestra suficiente, de manera que para satisfacer ambas necesidades, los restrictores de flujo se regulan para obtener una presión final de 500 mbar (en la práctica se acepta un rango de 300 a 600 mBar<sup>5</sup>). En otras palabras, el flujo del restrictor debe ser suficientemente pequeño como para que la variación de presión (es decir, llenado del tubo colector con la muestra) sea lo más lenta posible a los efectos de evitar un sobre muestreo al principio del periodo en detrimento de un sub muestreo al final de este (Dini, 2012).



**Figura 19.** Esquema ilustrativo del método de estimación de metano mediante la técnica de trazado con SF<sub>6</sub>.

## 9.2. CURVA TEÓRICA DE DISPONIBILIDAD DE FORRAJE

A los efectos meramente ilustrativos y para la contextualización de los resultados obtenidos, se presenta a continuación la curva esperada de forraje utilizable según mes. Los cálculos están basados en la planilla electrónica desarrollada por el Prof. Zanoniani

<sup>5</sup> Gere, J. 2017. Com. personal.

del GD Producción de Pasturas del Departamento de Producción Animal y Pasturas de la Facultad de Agronomía, UdelaR.

Debe tenerse presente que los cálculos son estimaciones a partir de las mezclas forrajeras presentes en la plataforma de pastoreo de las VO del rodeo experimental de la EEER. Así mismo, es importante mencionar que la planilla electrónica utilizada fue desarrollada con fines didácticos y aplicación en el ejercicio de la profesión de Ingeniero Agrónomo, de manera que los resultados obtenidos deben analizarse con cuidado en la medida que no fueron previstos a priori para actividades de investigación.

