

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFFECTO DEL CONTROL DE LA ALIMENTACIÓN Y EL AMBIENTE SOBRE
LA PRODUCCIÓN Y CONDICIÓN CORPORAL DE VACAS LECHERAS DE
PARICIONES OTOÑALES EN LACTANCIA TEMPRANA**

por

**Francisco ÁLVAREZ DE AGOSTINI
Lucía GIL ZIBIL
Pedro LUST ORDEIX**

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

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2020**

Tesis aprobada por:

Director: -----
Ing. Agr. PhD. Pablo Chilibroste

Ing. Agr. PhD. Diego Mattiauda

Zootecnista MSc. Gabriel Menegazzi

Ing. Agr. PhD. Alejandro La Manna

Fecha: 2 de setiembre de 2020

Autores: -----
Francisco Ruben Álvarez De Agostini

Lucía Gil Zibil

Pedro Lust Ordeix

AGRADECIMIENTOS

A nuestro tutor el Ing. Agr. PhD. Pablo Chilbroste por brindarnos la oportunidad de realizar este trabajo, su paciencia y orientación durante este proceso.

Al equipo de trabajo de la EEMAC Ma. Noel, Lourdes, Gabriel, Matías, Joaquín, Oliver, Graciana, a los funcionarios del tambo y el laboratorio.

A Oscar Bentancur por la ayuda en el análisis estadístico.

A las funcionarias de biblioteca que siempre estuvieron dispuestas a brindarnos el apoyo necesario.

A nuestros amigos y amigas que nos han acompañado durante toda la carrera, siendo un apoyo incondicional en los momentos difíciles, compartiendo con alegría nuestros logros como si fuesen de ellos.

A nuestras familias, en especial nuestros padres que nos dieron la oportunidad de llegar donde hoy estamos.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.1.1 <u>Objetivos generales</u>	2
1.1.2 <u>Objetivos específicos</u>	2
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1 CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR LECHERO EN URUGUAY	3
2.2 AMBIENTE	4
2.2.1 <u>Temperatura y humedad</u>	4
2.2.2 <u>Barro</u>	6
2.3 PRODUCCIÓN DE LECHE Y ÉPOCA DE PARTO	6
2.3.1 <u>Efecto del clima sobre la curva de lactancia</u>	7
2.3.2 <u>Efecto de la época de parto sobre la alimentación</u>	7
2.4 SISTEMAS DE AMBIENTE CONTROLADO	8
2.4.1 <u>Sistemas de confinamiento a cielo abierto</u>	9
2.4.2 <u>Sistemas de estabulación con cama caliente</u>	10
2.5 SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN.....	10
2.6 EFECTO DEL USO DE DTM Y DPM SOBRE LA PRODUCCIÓN DE LECHE	11
2.7 EFECTO DEL USO DE DTM Y DPM SOBRE LA COMPOSICIÓN DE LECHE	12
2.7.1 <u>Grasa</u>	13
2.7.2 <u>Proteína</u>	16
2.7.3 <u>Lactosa</u>	17

2.8 EFECTO DEL USO DE DTM Y DPM SOBRE LA CONDICIÓN CORPORAL	18
2.9 HIPÓTESIS	20
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	21
3.1 LOCALIZACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL.....	21
3.2 ANIMALES	21
3.3 MANEJO Y ALIMENTACIÓN PREPARTO.....	21
3.4 TRATAMIENTOS	21
3.5 INSTALACIONES Y RUTINA	23
3.6 ALIMENTACIÓN.....	24
3.6.1 <u>Forraje</u>	24
3.6.2 <u>Suplemento</u>	25
3.7 MEDICIONES.....	25
3.7.1 <u>Producción y composición de leche</u>	25
3.7.2 <u>Condición corporal</u>	26
3.7.3 <u>Disponibilidad de forraje</u>	26
3.7.4 <u>Consumo de suplemento</u>	26
3.7.5 <u>Clima</u>	26
3.7.6 <u>Balance energético</u>	26
3.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	28
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	29
4.1 CLIMA	29
4.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA DIETA	32
4.3 PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LECHE	37
4.3.1 <u>Producción de leche</u>	38
4.3.2 <u>Composición de leche</u>	41
4.4 CONDICIÓN CORPORAL.....	47

5. <u>CONCLUSIONES</u>	49
6. <u>RESUMEN</u>	50
7. <u>SUMMARY</u>	51
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	52

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Temperaturas medias, máximas y mínimas de los meses marzo, abril y mayo para el experimento y el período histórico (1961-1990).....	30
2. Temperatura, humedad e ITH promedio semanal del experimento	31
3. Composición química de las DTM y DPM ofrecida a los tratamientos durante los meses del experimento	32
4. Oferta de DTM y de forraje para los tratamientos DTM (100% DTM), DPM-AC (pastoreo+DPM en establo con ambiente controlado) y DPM-ANC (pastoreo+DPM en encierro a cielo abierto, ambiente no controlado)	33
5. Consumo estimado de MS (kgMS/día) y energía (Mcal/día) de los tratamientos DTM (100% DTM), DPM-AC (pastoreo+DPM en establo con ambiente controlado) y DPM-ANC (pastoreo+DPM en encierro a cielo abierto, ambiente no controlado)	36
6. Efectos de los tratamientos, semana y su interacción (tratamiento x semana) sobre la producción de leche, grasa, proteína y lactosa	37
7. Producción de leche (kg/día) para los tratamientos DTM (100% DTM), DPM-AC (pastoreo+DPM en establo con ambiente controlado) y DPM-ANC (pastoreo+DPM en encierro a cielo abierto, ambiente no controlado)	38
8. Grasa, proteína y lactosa de los tratamientos DTM (100% DTM), DPM-AC (pastoreo+DPM en establo con ambiente controlado) y DPM-ANC (pastoreo+DPM en encierro a cielo abierto, ambiente no controlado)	41

Figura No.

1. Curva de lactancia para distintas estaciones de parto.....	8
2. Relación forraje-concentrado en la dieta y su efecto en la producción de leche y su porcentaje de grasa	14
3. Instalaciones de los grupos con ambiente controlado	23
4. Instalaciones del tratamiento sin control del ambiente a cielo abierto	22
5. Registro de precipitaciones acumuladas históricas del período 1961-1990 y el experimento durante los meses de otoño para Paysandú ...	29
6. Variación en el consumo de DPM y forraje y la producción de leche promedio del tratamiento DPM-AC (pastoreo+DPM encierro en establo, ambiente controlado).....	34
7. Variación del consumo de DPM y forraje y la producción promedio de leche del tratamiento DPM-ANC (pastoreo+DPM con encierro a cielo abierto)	35
8. Producción de leche (kg/vaca/día) para los tratamientos DTM (100% DTM), DPM-AC (pastoreo+DPM en establo con ambiente controlado) y DPM-ANC (pastoreo+DPM en encierro a cielo abierto, ambiente no controlado)	38
9. Evolución de la grasa en leche en % de los tratamientos DTM (100% DTM), DPM-AC (pastoreo+DPM en establo con ambiente controlado) y DPM-ANC (pastoreo+DPM en encierro a cielo abierto, ambiente no controlado).....	42

10. Evolución de la concentración de proteína en leche (%) de los tratamientos DTM (100% DTM), DPM-AC (pastoreo+DPM en establo con ambiente controlado) y DPM-ANC (pastoreo+DPM en encierro a cielo abierto, ambiente no controlado)	44
11. Concentración de lactosa (%) de los tratamientos DTM (100% DTM), DPM-AC (pastoreo+DPM en establo con ambiente controlado) y DPM-ANC (pastoreo+DPM en encierro a cielo abierto, ambiente no controlado)	45
12. Leche corregida en energía (kg/vaca/día) de los tratamientos 100% Dieta total mezclada (DTM), pastoreo+DPM en establo con ambiente controlado (DPM-AC) y pastoreo+DPM en encierro a cielo abierto (DPM-ANC).....	46
13. Evolución de la condición corporal de los tratamientos DTM (100% DTM), DPM-AC (pastoreo+DPM en establo con ambiente controlado) y DPM-ANC (pastoreo+DPM en encierro a cielo abierto, ambiente no controlado)	47

1. INTRODUCCIÓN

En Uruguay, el sector lechero ocupa un 5% del territorio, siendo el sector agropecuario de mayor ingreso de exportaciones por hectárea (MGAP. DIEA, 2019). Anualmente se producen 2200 millones de litros de leche, de los cuales 90% son procesados por la industria local. El 70% de la leche industrializada se destina a exportación, ubicándolo como el 7°. país exportador mundial de leche (MGAP. DIEA, 2019). Desde 2014 a 2018 la producción láctea, si bien con leves oscilaciones, se ha mantenido constante. Sin embargo, la superficie destinada a este rubro disminuyó para el mismo período en un 22% así como el número total de vacunos lecheros en un 4% (MGAP. DIEA, 2019), evidenciando un aumento en la productividad por ha y por animal logrado por la intensificación en los procesos de producción.

La pastura en Uruguay, constituye un componente importante en el sistema, siendo la clave para que estos sean resilientes y sostenibles ya que es la fuente más barata por unidad de materia seca (MS) producida, representando junto con las reservas forrajeras el 75% de la MS total consumida en sistemas lecheros (Fariña y Chilibroste, 2019). Sin embargo, coexiste un desbalance estructural oferta-demanda de nutrientes que se genera por el desfase entre la producción de forraje y la estructura de partos de los rodeos, particularmente concentrada en los meses de marzo a septiembre, siendo aproximadamente 65% de los partos (Chilibroste y Battezzore, 2019). El uso de suplementos (concentrados y reservas) en combinación con la pastura, surgen como una importante herramienta para cubrir la demanda nutricional del rodeo durante el año, aumentando la producción individual y la expresión del potencial de producción.

En las condiciones predominantes de producción de Uruguay, a cielo abierto, los animales están expuestos a las inclemencias ambientales que afectan el bienestar y la producción animal. Una de las formas de mitigar estos problemas, son el manejo de la alimentación y el control ambiental buscando minimizar los factores de estrés.

Los sistemas confinados o semi-confinados, donde es posible controlar el ambiente incorporando techo, sombra, aspersión y ventilación, junto con la alimentación a través del suministro de dieta total (DTM) o parcialmente mezclada (DPM) se presentan como opciones para implementar en los sistemas lecheros. Dado que la respuesta a la suplementación depende de muchos factores, es necesario no solo el análisis de la interacción con la alimentación DTM y el pastoreo, sino también el efecto del control del ambiente en el sistema productivo para lograr comprender el impacto de estas prácticas de manejo.

En base a esto se planteó un experimento, con el objetivo de determinar el efecto del control de la alimentación y el ambiente sobre la producción y composición de la leche y condición corporal (CC) de un rodeo durante el otoño, y luego mediante revisión de la literatura disponible, se compararon los resultados obtenidos con los antecedentes.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivos generales

El objetivo de este experimento fue comparar el desempeño productivo de distintos sistemas de alimentación y niveles de confort al inicio de la lactancia sobre las variables productivas de vacas Holando con parición otoñal.

1.1.2 Objetivos específicos

Determinar el efecto de las distintas estrategias de alimentación (100% DTM o 50% DTM+pastura) en la producción de leche, grasa, proteína y lactosa, y en la condición corporal del rodeo.

Estudiar si existe respuesta de los distintos niveles de control del ambiente al comparar iguales sistemas de alimentación (50% DTM+pastura) en distintos niveles de confort (a cielo abierto y establo con cama caliente).

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR LECHERO EN URUGUAY

Desde el año 2010 al año 2018, la superficie lechera pasó de 850 mil hectáreas a 754 mil. Tanto el número de tambos como el número de vacunos lecheros también presentaron disminuciones de 19% y 4% respectivamente. Sin embargo, la producción de leche total presentó un aumento de 5,6% entre el año 2010 y 2018. Dichos cambios indican que la producción ha presentado una intensificación, dada mayoritariamente por la productividad por vaca (60%), seguida por el aumento de carga animal (25 a 30%), que ha sido posible por el uso de concentrados y reservas de forraje (MGAP. DIEA, 2019).

Hoy en día la base de la alimentación de los sistemas lecheros en Uruguay es el forraje. Este es cosechado de manera directa en pasturas anuales o perennes, o de forma mecánica, a través de ensilaje de planta entera (reservas), el resto de la alimentación se compone de concentrados (MGAP. DIEA, 2016). El importante rol que juega el forraje en la alimentación permite mantener la producción a un bajo costo, lo cual brinda una ventaja competitiva a nivel internacional (Chilibroste et al., 2011).

En Uruguay se lleva adelante desde el año 2010 hasta la fecha un proyecto de caracterización del sector lechero, denominado Proyecto de Producción Competitiva (PPC). El mismo presenta dos fases, la primera desde 2011 hasta 2013 (Chilibroste y Battezzore, 2014) y la segunda 2013 a 2018 (Chilibroste y Battezzore, 2019). Según datos recopilados del PPC de Conaprole desde el año 2011 hasta el 2014, en promedio la alimentación de la vaca masa (VM) se basó en un 52% de pasturas, 21% de reservas forrajeras y 27% concentrado. Entre los años 2015 a 2018 el consumo promedio de alimento por vaca en ordeño fue de 17 kg MS por día, de los cuales el pastoreo ha pasado de 52% a 61%. Además, el consumo de suplemento ha sido de 6,5 kg MS por vaca ordeño (VO) por día, siendo 3,85 kg concentrado (23%) y 2,7 kg reservas (16%, Chilibroste y Battezzore, 2019).

La suplementación puede variar tanto en su forma de suministro como en el lugar donde se ofrece a los animales. En cuanto a la forma en la que se suministra, las opciones dependen de si el concentrado y las reservas están juntas o no, pudiendo ser, concentrado junto con reservas, concentrado separado de las reservas o parte del concentrado solo y parte con las reservas. En lo que refiere al lugar de suministro de concentrados, puede ser tanto en la sala de ordeño, en el piso bajo el alambre, en comederos a campo, en comederos sobre piso de balastro u hormigón, entre otras (Chilibroste y Battezzore, 2019). De los relevamientos realizados por el PPC se obtuvo que el sistema de alimentación dominante fue el suministro en forma separada de los concentrados y las

reservas de forraje, habiendo aumentado de 66 a 71% para el período. Por su parte, 83 a 85% de los establecimientos ofrecían el concentrado en la sala de ordeño, mientras que 13 a 15% lo suministraban sobre comederos lineales en piso firme; para el caso de las reservas el suministro se realizaba en sistemas de comederos a campo mayoritariamente (40-45%).

El tipo de concentrado que integra la dieta ha sufrido modificaciones desde el año 2013 al 2018, pasando de dietas donde el grano y los afrechillos predominaban y se utilizaba menos de 10% de raciones formuladas, a dietas donde la ración formulada toma igual relevancia que los granos, sin modificaciones en los afrechillos (Chilibroste y Battezzore, 2019).

La principal reserva forrajera utilizada es el ensilaje de sorgo (30 a 40% de las reservas), seguido en un 20% por el ensilaje de maíz, sin grandes variaciones en la serie de años estudiada, pero sí con el aumento de uso del silopack en detrimento del ensilaje de pradera (Chilibroste y Battezzore, 2019).

Teniendo en cuenta la diversidad de los sistemas lecheros del país, se planteó este experimento, donde se comparan diferentes sistemas de alimentación en combinación con distintos tipos de encierro para cuantificar los resultados productivos de los mismos.

2.2 AMBIENTE

La performance productiva de un animal o rodeo lechero está dada por el “valor productivo”, el cual es determinado por el genotipo y las condiciones ambientales que definen el “valor ambiental”. Este contempla el conjunto de circunstancias en las que se desarrolla y transcurre la actividad productiva animal como por ejemplo el clima, topografía, condición física del suelo, año y otros efectos fisiológicos tales como época de parto o número de lactancia. Estos factores ambientales pueden ser controlados mediante el manejo que realiza el productor para mejorar el confort, como por ejemplo la estabulación, minimizando factores de estrés para el animal que podrían impedir la expresión del potencial productivo lechero (Arcos, 2008).

Dentro de las variables ambientales que afectan la producción lechera se consideran la temperatura, humedad y precipitaciones, ya que condicionan el ambiente productivo del sistema.

2.2.1 Temperatura y humedad

La temperatura y la humedad inciden de forma directa sobre la producción animal debido al estrés térmico. Cabe destacar que en el otoño la probabilidad de que exista estrés por calor o por frío es baja (Saravia et al., 2011).

Igual así se procederá a hacer una revisión de estos factores ya que son los que cuentan con mayor información disponible.

En los meses cálidos la radiación solar, temperatura y humedad del aire pueden combinarse repercutiendo en el bienestar animal, haciendo que se encuentre fuera del área de confort e incidiendo en la productividad de los rodeos lecheros (Saravia et al., 2011). Durante esta época los animales disminuyen el consumo de MS a modo de intentar equilibrar sus demandas energéticas con la capacidad de perder calor. Esto se traduce en una disminución de la productividad del ganado durante esta estación (West, 2003).

Un índice biometeorológico utilizado para caracterizar el ambiente térmico (du Preez et al., 1990) es el índice de temperatura y humedad (ITH, Thom, 1959), el mismo se utiliza como un parámetro de advertencia del bienestar animal. La zona de confort térmico para vacas lecheras en producción toma valores de ITH entre 35 y 70 y se ha determinado un valor crítico para la producción de leche por estrés por calor en vacas Holando de 72 (Johnson et al., 1961). Sin embargo, datos más recientes demuestran que para animales de alta producción (mayor a 35 kg/d) el ITH crítico podría ser de 68 (Zimbelman et al., 2009). La interpretación del índice para el riesgo de estrés calórico según INIA (2020) define que valores de ITH por debajo de 68 indican situaciones sin riesgo, entre 69 y 71 condiciones de alerta, 72 y 79 indica peligro y mayores a 80 condiciones de emergencia.

Las olas de calor extremas presentan valores de ITH por encima del umbral de emergencia durante 15 horas o más al día y sin posibilidad de recuperación nocturna, pudiendo provocar la muerte en animales (Nienaber et al., 2003).

En cuanto a la producción de leche, datos obtenidos por Ravagnolo et al. (2000) indican que se mantiene relativamente estable (promedio de 26,3 kg) hasta alcanzar un ITH de 72 y a partir de este valor disminuye 0,2 kg de leche por cada unidad de incremento de ITH; mientras que Bouraqui et al. (2002) reportan pérdidas de 0,41 kg de leche por cada incremento en una unidad de ITH por encima de 69.

Sin embargo, en condiciones de clima frío los animales a modo de conservar el calor aumentan el consumo de MS, así como también depositan más grasa y su pelaje es más largo y grueso, como medida de aislamiento del ambiente (Bianca 1968, Young y Christopherson 1974). Durante esta estación, debido a un mayor gradiente entre la temperatura corporal y la temperatura ambiente, las pérdidas de calor corporal se hacen mayores, la respuesta del ganado frente a esto es buscar evadir el frío refugiándose en lugares bajo algún tipo de cobertura (Young et al., 1989).

2.2.2 Barro

Otro factor que influye sobre el desempeño animal es la presencia de barro. Según estudios realizados en Uruguay, en 12 predios lecheros comerciales, cada centímetro de barro en los caminos generó un descenso de 0,3 litros de leche ($P < 0.05$, Aguerre et al., 2018). Según NRC (1981), el comportamiento productivo en meses de frío puede verse afectado por la lluvia, que puede reducir entre 10 y 30% el consumo por parte de los animales; y el barro, entre 5 y 30% dependiendo de la profundidad (NRC, 1981).

Acorde a Re (2012), el barro genera aumentos del gasto energético de mantenimiento de los animales, dado el mayor esfuerzo en la caminata. Además, en casos de excesivo barro puede condicionar la entrada de las vacas a la pastura, para evitar pisoteo. También aumenta el riesgo de mastitis e infecciones podales.

2.3 PRODUCCIÓN DE LECHE Y ÉPOCA DE PARTO

La lactancia es un proceso fisiológico que comienza luego del parto con producciones de leche bajas, seguido por incrementos crecientes hasta alcanzar un pico de producción máximo entre la quinta y sexta semana, luego prosigue un descenso gradual hasta el posterior secado de la vaca. Como consecuencia de la interacción entre efectos ambientales y la base forrajera de los sistemas de producción lecheros, resultan las curvas de lactancia (Chilibroste, 2012).

Un factor determinante en la producción de leche por animal es la época de parto, la cual tiene un gran impacto en los factores que componen la curva de lactancia como días desde el parto al pico de lactancia, nivel de producción al pico y persistencia después del pico (Keown et al., citados por García y Holmes, 1999), además tiene efecto sobre la composición de la leche (Audlist et al., citados por García y Holmes, 1999) y la duración potencial de la lactancia (Macmillan et al., citados por García y Holmes, 1999).

Luego del pico existe un descenso gradual en la producción (tasa de descenso), lo cual determina la persistencia de la secreción de leche durante la lactancia. Este concepto hace referencia a la capacidad de los animales de mantener altos niveles de producción luego de alcanzado el pico de lactancia. Está determinado tanto por factores genéticos como por el estado nutricional, sanitario y del ambiente de producción. En cuanto a la tasa de descenso, cuanto mayor sea, menor será la persistencia de lactancia. Se han realizado estudios donde por medio de variaciones en el manejo nutricional, los animales presentaron diferencias en la producción total de leche por lactancia, siendo un

19% inferior para animales que tuvieron menor persistencia en la lactancia (Bretschneider y Salado, 2010).

2.3.1 Efecto del clima sobre la curva de lactancia

Tanto las pasturas como el comportamiento animal están condicionados por los efectos del clima. De esta forma, el ambiente térmico tiene un gran impacto en el desarrollo animal, donde la variable que lo determina en mayor medida es la temperatura, pero también es afectado por las precipitaciones, humedad, radiación y viento (NRC, 1981).

En este sentido, las condiciones climáticas tanto de la transición de primavera a verano, como el verano en sí, presentan un gran impacto en la tasa de disminución de la producción. Esto se debe a que las condiciones de estrés térmico disminuyen el consumo de MS, afectando la fibra ingerida, lo que genera una menor relación ácido acético/ácido propiónico provocando un descenso del volumen de leche y la concentración de grasa. Además, la síntesis proteica ruminal se ve perjudicada, disminuyendo la concentración de proteína. En cuanto a las bajas temperaturas, el costo de mantenimiento aumenta y por lo tanto habrá menor aporte de energía a la glándula mamaria (Manterola, 2007).

El ambiente puede actuar de manera negativa no sólo sobre los animales, sino que también sobre la pastura, tanto en su calidad como en su tasa de crecimiento, generando de esta manera, una depresión en la producción (Chilibroste et al., 2001).

2.3.2 Efecto de la época de parto sobre la alimentación

Las estrategias de alimentación van de la mano de la disponibilidad y calidad del forraje, que de acuerdo con Chilibroste et al. (2004), Chilibroste (2012), en Uruguay ocurre un desbalance nutricional entre oferta y demanda debido a que el modelo de producción de forraje y la estructura de partos de los rodeos no están sincronizados. Esta situación se considera crítica en los partos de otoño, debiendo poner énfasis en los esfuerzos de intervención dentro de los primeros meses de lactancia. Estas decisiones de manejo en la alimentación generan cambios en la curva de lactancia y por lo tanto en la producción total.

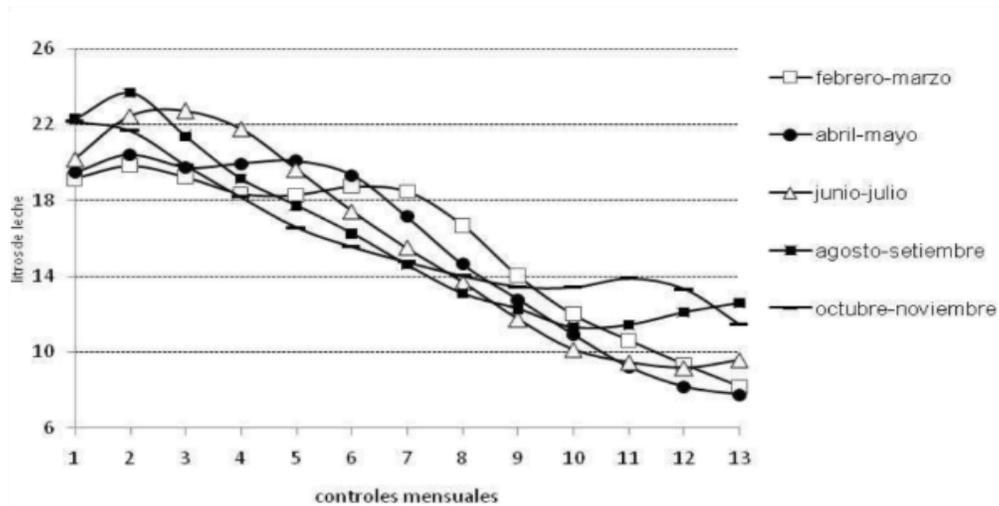


Figura 1. Curva de lactancia para distintas estaciones de parto

Fuente: tomado de Arcos (2008).

Las curvas de lactancia de otoño (febrero-marzo y abril-mayo) tienden a formar dos picos, el primero de marzo a mayo y el segundo, más pronunciado, de julio a setiembre, los niveles de producción de este último son menores que los alcanzados en partos de primavera. No obstante, los niveles tienen un descenso menos brusco y permanecen por más tiempo, resultando en una mayor oferta de leche en los meses siguientes (Chilibroste et al., 2002). Por otro lado, si se consideran curvas de lactancia de vacas que se encuentran en condiciones de ambiente controlado y estrategias de alimentación que permitan expresar su potencial productivo, estas expresan un pico de producción entre la cuarta y octava semana postparto, disminuyendo gradualmente (Chilibroste et al., 2001).

2.4 SISTEMAS DE AMBIENTE CONTROLADO

Dado que la base alimenticia del rodeo lechero uruguayo es el forraje, los animales son altamente vulnerables a factores ambientales y de manejo, limitando su potencial productivo. Factores como la temperatura y la humedad son determinantes en la producción, habiendo registros de mermas de hasta 18,5% (Saravia et al., 2011). Los animales Holando poseen mayor susceptibilidad al estrés por calor, siendo la principal causa de la merma productiva la disminución del consumo voluntario, junto a un aumento en los requerimientos de mantenimiento debido a los mecanismos de termorregulación (Gallardo y Valtorta, 2004).

En respuesta a esta problemática, surgen distintas alternativas en el control del ambiente. Desde el aporte de sombra y agua a los animales en horas de mayor estrés térmico, a sistemas de confinamiento donde se sustituye parcial o totalmente el pastoreo, facilitando la operativa de suministro de concentrados y utilizando distintas medidas para mejorar el confort animal mediante sistemas de cama caliente, sistemas de ventilación y/o aspersion.

2.4.1 Sistemas de confinamiento a cielo abierto

En Uruguay estos sistemas permiten brindarles a los animales un aumento en el confort sin grandes inversiones de infraestructura. Comúnmente se utilizan corrales con piso de tierra compactado, sistemas de sombras y bebederos, ofreciendo el alimento en comederos o en el suelo. La distancia entre la sombra y los comederos no debe ser excesiva, porque las vacas en verano prefieren la sombra a alimentarse y como consecuencia disminuye la productividad (Frossasco et al., 2015). Según Aguerre et al. (2018) en un relevamiento de 28 predios sobre el manejo de la alimentación y el ambiente productivo en los sistemas lecheros comerciales se constató que las condiciones de infraestructura en los tambos son diversas. Con respecto a los tipos de comederos, más de la mitad de los predios disponen de comederos de cemento (59%), el 15% suministra el alimento sobre el piso y el resto cuenta con comederos de otros materiales como plástico, madera, lona, cubierta y aros. En cuanto al piso frente al comedero, 43% de los casos son de hormigón, 35% son de tierra y 22% de tosca, teniendo como problemática estos dos últimos una mayor cantidad y profundidad de barro alrededor del comedero. El área promedio de descanso de los animales fue de 130 m²/VO en promedio, donde un 24% y 30% para otoño e invierno respectivamente era suelo desnudo con barro, concluyendo que dichas estaciones son las más críticas en la incidencia directa en producción y salud del rodeo.

Este sistema permite combinar estrategias de alimentación como la suplementación con el pastoreo, permitiendo aprovechar las ventajas del bajo costo relativo del pastoreo y los beneficios del mismo en la calidad del producto final. Otra ventaja es que requiere menor costo de inversión y menor mano de obra para el mantenimiento en comparación con otros sistemas de confinamiento como por ejemplo sistemas de producción con cama caliente y sistemas con free stall (Frossasco et al., 2015). En cuanto a las limitantes de este sistema, los animales están más expuestos a las inclemencias climáticas, como las altas temperaturas, excesos de lluvia (acumulación de barro) y frío (Frossasco et al., 2015).

2.4.2 Sistemas de estabulación con cama caliente

El sistema de cama caliente es una alternativa que permite incrementar la productividad de los animales por medio del aumento del bienestar animal, así como también brinda una solución frente a los problemas de manejo de efluentes, evitando posibles riesgos de contaminación (Frossasco et al., 2015).

El principio básico de funcionamiento de este sistema es el compostaje. La cama debe estar compuesta por una fuente de materia orgánica alta en nitrógeno, proveniente de orina y estiércol de los animales. A lo largo de todo el perfil ocurren procesos tanto aeróbicos (en los primeros centímetros) como anaeróbicos (por debajo de los 25 cm), en los cuales se producen gases como óxido nitroso, metano y ácido sulfúrico, entre otros. Estos gases deben salir del sistema para lo cual la cama debe tener una porosidad adecuada. Dada la dinámica del proceso de compostaje, se requiere un monitoreo frecuente de la temperatura, la humedad, el pH, relación carbono nitrógeno y la conductividad eléctrica de la cama para que se den los procesos de manera correcta (Frossasco et al., 2015).

La principal ventaja de la implementación de este sistema es el mejoramiento del confort animal, lo cual permite aumentar la eficiencia de conversión de alimentos, y además con un manejo adecuado de la cama se logra disminuir la incidencia de rengueras y problemas podales. Desde el punto de vista ambiental, se puede lograr una disminución de riesgo de contaminación ya que disminuye el uso de agua, no acumula nutrientes en las piletas de decantación y la mayor parte de los residuos animales son manejados en fase sólida (Frossasco et al., 2015).

Dentro de las limitantes, una de las más importantes es el requerimiento de manejo rutinario de la cama, el cual demanda mayor mano de obra. El manejo de la cama es crucial y esta debe ser monitoreada periódicamente, de lo contrario aumenta el riesgo de exposición a patógenos ambientales causantes de enfermedades como la mastitis (Frossasco et al., 2015).

2.5 SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN

Existen distintos métodos para la suplementación, como el reemplazo total del pastoreo por el uso de DTM, en sistemas estabulados de forma permanente o en determinados períodos de la lactancia. Dichos sistemas consisten en una dieta donde los forrajes y alimentos concentrados son mezclados en su totalidad para ser ofrecidos de esta forma a los animales (Cajarville et al., 2012). Las DTM son formuladas para que los requerimientos totales de los animales sean cubiertos y permiten ofrecer un aporte balanceado

de nutrientes con la relación forraje-concentrado deseada, lograr minimizar la selectividad de componentes dentro de la dieta, disminuir la incidencia de problemas digestivos y metabólicos, y brindar mayor flexibilidad y exactitud en la formulación de raciones debido a la variedad de ingredientes (Gill 1979, Lammers et al. 2002).

Entre las principales ventajas atribuidas a este sistema de alimentación se destaca la de permitir la expresión del potencial de producción de leche en vacas de alto mérito genético, pero como contrapartida, los costos de producción suelen ser altos, principalmente de alimentación y mano de obra, los cuales representan en conjunto más del 50% de los mismos (Short, 2004).

Otra alternativa para la suplementación es el uso de DTM junto con pastoreo, conocido como ración parcialmente mezclada (DPM), sistema que permite complementar la dieta balanceada o DTM con los beneficios de utilizar el recurso pastoril, aprovechando el bajo costo que representa. Este sistema de alimentación ha logrado mejores valores de producción que el uso de concentrados adicionados en la pastura (Bargo et al., 2002).

2.6 EFECTO DEL USO DE DTM Y DPM SOBRE LA PRODUCCIÓN DE LECHE

La bibliografía revisada respecto al efecto de utilizar DTM y DPM (DTM+pasturas) en la producción de leche indica que se generan incrementos de entre 5 y 55% respecto a los sistemas tradicionales que basan la dieta exclusivamente en pasturas (Salado, 2012). Esto se explica principalmente a que, con dietas formuladas se logra mayor consumo de MS por parte de los animales comparado con el pastoreo, donde existen restricciones en el tiempo de búsqueda, cosecha y rumia del forraje ingerido, acompañado de un mayor gasto energético por la actividad propia del pastoreo y limitantes físicas en tasa de pasaje y digestión (Kolver 2003, Chilbroste et al. 2005, Dillon 2006).

Kolver y Müller (1998) reportaron producciones de 29,6 vs. 44,1 kg/d de leche en vacas de alta producción consumiendo solo pastura de alta calidad o DTM balanceado nutricionalmente respectivamente, esa diferencia se debió al menor consumo de MS y energía. También Bargo et al. (2002) obtuvieron diferencias significativas entre DTM y DPM (38,1 kg/d vs. 32 kg/d respectivamente). Similares tendencias se observaron en otro trabajo en donde los animales que solo consumieron pasturas produjeron 30 % menos leche que animales alimentados con 100% DTM (White et al., 2002).

Salado et al. (2018) realizaron un experimento donde se compararon 4 tratamientos alimentados con DTM (T0=100% DTM) y distintas proporciones de DPM+pastura (T1=79-21, T2=56-44 y T3=30-70). En los resultados de producción de leche existieron diferencias entre todos los tratamientos, los cuales

disminuyeron significativamente su producción de leche a medida que aumentó la proporción de pastura ofrecida (T0=34,2, T1=32,1, T2=28,4 y T3=26,8 kg/d). También Salado et al. (2020) realizaron otro experimento donde se comparó animales alimentados 100% DTM contra alimentados con DPM+pastura (75-25). Se encontraron diferencias en producción de leche entre ambos tratamientos siendo de 33,7 para 100% DTM y 32,3 para DPM+pastura. En ambos experimentos se atribuyen los resultados a un mayor consumo de energía por parte de los animales 100% DTM y un menor requerimiento energético por caminata y pastoreo.

Por otro lado, Fajardo (2013) evaluó la combinación de DTM (49,2% MS, 14,9% PC, 34,8% FDN y 18,9% FDA) con diferentes tiempos de acceso a la pastura (6 o 9 h) y consumos de DTM de 15,1 y 14,1 kg de MS respectivamente sobre la respuesta productiva de vacas lecheras en los primeros 60 días de lactancia (período 1) hasta los 90 días (período 2). Para el primer periodo se reportaron diferencias en los animales 100% DTM los cuales produjeron 35,3 litros/día (l/día), frente a animales DPM con 6 o 9 horas de acceso a pastura produciendo 32,1 y 32,9 l/día de leche respectivamente. Dichas diferencias son atribuidas al menor consumo de MS de los grupos que incluyeron pastura en la dieta. En la misma línea, Mendina (2017) comparó la producción de vacas alimentadas 100% DTM con vacas DPM (pastoreo+DTM 25 o 35%); en sus resultados, los animales con DTM produjeron 16% más de leche que los DPM.

En concordancia con los resultados antes mencionados, Mendoza et al. (2016) realizaron un trabajo donde animales de 3 tratamientos fueron alimentados con DTM 0, 4 y 8 horas de acceso a forraje de raigrás anual ofrecido fresco y cortado. La producción de leche, grasa y proteína no difirió entre los animales consumiendo DTM 0 y 4 h, sin embargo 8 horas de acceso al forraje determinó una caída en la producción y composición de leche. Las diferencias fueron de 34,4 y 34,9 vs. 32,7 l/animal/día, para 0, 4 y 8 h de acceso al forraje respectivamente.

Estos trabajos indican que hay combinaciones de pasturas y DTM que permiten alcanzar potenciales de producción similares al de aquellos consumiendo únicamente DTM, brindando ventajas comparativas desde el punto de vista económico, del bienestar animal y de la valorización del producto final.

2.7 EFECTO DEL USO DE DTM Y DPM EN ALIMENTACIÓN SOBRE LA COMPOSICIÓN DE LECHE

Las principales formas con las que cuenta el productor para generar cambios en la composición de la leche son el mejoramiento genético y la nutrición, siendo este último el que genera cambios de forma más rápida dentro

de los principales sólidos de la leche como lo son la lactosa, la proteína y en mayor magnitud la grasa, pudiendo variar hasta en 3 puntos porcentuales (Sutton, 1989).

2.7.1 Grasa

Los principales precursores de la grasa de la leche son el acetato y butirato, ácidos grasos volátiles (AGV) que junto con el propionato son resultado de la degradación ruminal de los carbohidratos. El suministro determinado de estos precursores puede afectar de forma directa e indirecta en el contenido de grasa de la leche (Sutton, 1989). Esto sucede debido a que cambios en la oferta de AGV a nivel ruminal, tienen impacto sobre la síntesis de grasa, determinando una mayor captación y utilización de los mismos para su síntesis (Nielsen y Jakobsen, 1994).

Algunos de los factores que afectan el contenido de grasa en leche son la relación forraje-concentrado, el tipo de concentrado, la cantidad de fibra y el tamaño de la partícula de la ración (Sutton, 1989).

La relación forraje-concentrado de la dieta determina las cantidades de estos ácidos grasos y puede cambiar la concentración de grasa butirosa en un rango de 2,0 a 4,0%. A medida que disminuye la relación forraje:concentrado el pH ruminal disminuye, las fermentaciones ruminales se ven modificadas debido a un crecimiento diferencial de los microorganismos, incrementando la proporción de ácido propiónico y un descenso de los precursores lipogénicos, causando una caída en la síntesis y por lo tanto en el porcentaje de grasa de la leche (Rearte 1992, Astigarraga 2003). El acetato predomina en casos de alta proporción de forraje mientras que al aumentar los concentrados se incrementa el propionato, observándose una tendencia a disminuir el porcentaje de grasa butirosa y a incrementar la proteína, acercando la relación grasa proteína al valor 1 (Gallardo 2006, Van Lier y Regueiro 2008). Relaciones forraje-concentrado cercanas a 50-50 se consideran óptimas ya que permiten obtener altos valores de grasa en leche junto con altas producciones de leche (Figura 2).

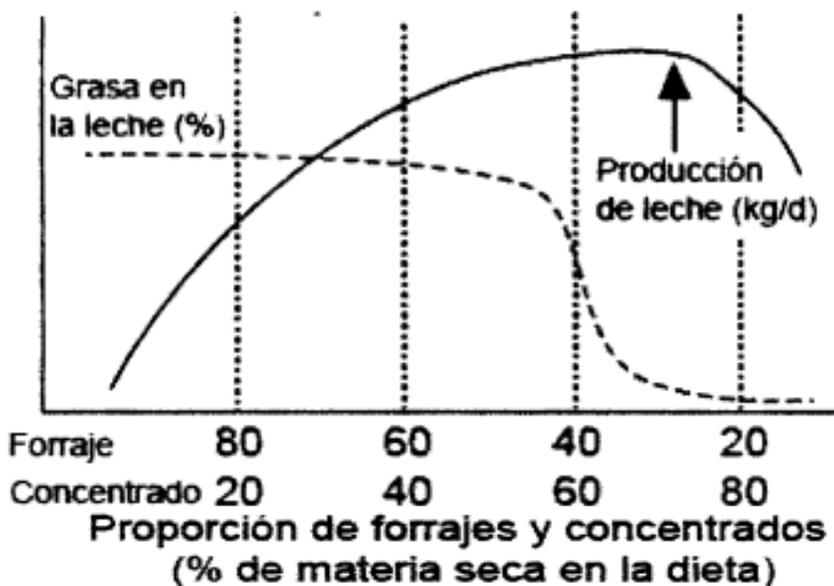


Figura 2. Relación forraje:concentrado en la dieta y su efecto en la producción de leche y su porcentaje de grasa

Fuente: tomado de Wattiaux y Armentano (2005).

También pueden existir disminuciones en la cantidad de grasa por litro de leche debido a que el uso de concentrados permite mayor aporte de energía por parte de la dieta, lo cual determina mayores producciones de leche totales, y esto genera un efecto de dilución (Sutton, 1989).

El tipo de cereales y de almidón contenido en el grano es un factor de importancia al momento de realizar la suplementación. La disminución de la síntesis de grasa será mayor cuando se suministren carbohidratos fácilmente fermentescibles en rumen como el trigo o cebada debido al incremento de precursores gluconeogénicos como ácido propiónico en rumen o de almidón en duodeno y a la disminución de precursores lipogénicos, acético y butírico en rumen, a diferencia del maíz o el sorgo que son granos menos fermentescibles (Rearte, 1992).

El tamaño de la partícula es un factor muy importante en la producción de grasa ya que esta disminuye una vez que el tamaño es menor a 0,64 cm. Otra variable que permite evitar caídas de la cantidad de grasa por litro es la cantidad de fibra detergente neutra (FDN) ya que, si se sustituye el pastoreo por DTM en la dieta, pero se mantiene el porcentaje de FDN se pueden obtener valores similares de grasa (Woodford et al., 1986). Según Manterola (2007) el aporte de FDN debe ser mayor o igual a 1,2% del peso vivo (PV) y alrededor del 75% de este debe ser de fibra larga.

Bargo et al. (2002), Mendoza et al. (2016) realizaron estudios donde en el primero no se obtuvieron diferencias significativas en el porcentaje de grasa por litro de leche entre animales alimentados con DTM respecto a los alimentados con DPM. En el segundo experimento se agrega la variable tiempo de pastoreo, no se encontraron diferencias significativas entre animales alimentados con DTM vs. animales con 4 horas de pastoreo+DPM, en cambio sí lo hubo con 8 horas de pastoreo y DPM. En ambos estudios existieron diferencias en la cantidad de grasa producida, explicada por la mayor producción de leche por día de los animales alimentados con 100% DTM y DPM con 4 horas de pastoreo.

Salado et al. (2018) evaluaron distintos niveles de inclusión de DTM y pastura en la alimentación (100% DTM, 75-25, 50-50 y 25-75). No se encontraron diferencias en la concentración de grasa para los tratamientos, pero sí existieron diferencias en la cantidad producida entre tratamientos a favor de los tratamientos 100% DTM y 75-25 (1,35 y 1,25 respectivamente) contra los tratamientos 50-50 y 25-75 (1,10 y 1,04 respectivamente). Por otro lado, Salado et al. (2020) realizaron otro experimento con tratamientos 100% DTM vs. 75-25 DTM-pastura. En este experimento tampoco se encontró diferencias entre tratamientos en cuanto a la concentración de grasa, pero sí para la cantidad producida entre tratamientos 100% DTM contra el tratamiento 75-25 (3,95 vs. 3,84 respectivamente). Considerando que ambos experimentos compararon tratamientos iguales (100%DTM y DPM+pastura 75-25) y en el primero no existieron diferencias para cantidad producida, pero en el segundo sí.

Por su parte, Fajardo (2013) comparó la producción de grasa entre animales alimentados con 100% DTM respecto a animales con dieta basada en DPM y distintos niveles de pastoreo (5,9 y 7,0 kgMS). Distinto a otros autores, no encontró diferencia entre los tratamientos en la producción de grasa, ya que mientras que los animales estabulados tenían una producción de leche mayor, el contenido de grasa era menor respecto a tratamientos mixtos.

Mendoza et al. (2016) no obtuvieron diferencias en concentración entre animales 100% DTM con animales pastoreando 4 y 8 horas. En cambio, sí lo hubo para la cantidad de grasa, donde los animales 100% DTM produjeron más que los que pastoreaban durante 8h, y los animales 4h presentaron valores intermedios a ambos tratamientos. Esto se atribuye a que los animales estabulados mantuvieron la concentración, pero produjeron mayor cantidad de leche.

En base a la información obtenida es de esperar que cuando se comparan tratamientos estabulados con 100% DTM contra animales DPM no presenten diferencias significativas en la cantidad de grasa por litro, pero sí en la cantidad producida debido a una mayor producción de leche de los primeros. Si bien las pasturas aportan precursores de la grasa de la leche, el consumo de

materia seca de los animales estabulados es superior, lo que se traduce en producciones de leche mayores, y por lo tanto mayor producción de grasa.

2.7.2 Proteína

Alrededor del 90% de las proteínas de la leche se sintetizan en la glándula mamaria, provenientes de aminoácidos de la proteína microbiana y de la proteína no degradada en rumen. Las caseínas constituyen un 80% del total de las proteínas, el 20% restante lo componen la beta-lactoglobulina y alfa-lactoalbúmina (Rearte, 1992). Además, dentro de la proteína total de la leche hay un 5% que corresponde a nitrógeno no proteico, del cual la mitad es urea. La energía requerida para la síntesis de proteína es aportada por la glucosa, en algunos casos los animales utilizan sus propias reservas corporales proteicas (Tamminga et al., 1997).

Los factores que tienen mayor efecto sobre la proteína de la leche son el nivel energético de la dieta como principal factor limitante, y con menor influencia el tipo y nivel de proteína cuando el aporte proteico suple los requerimientos de la vaca (Astigarraga et al., 2012). Sutton (1989) afirma que aumentando la proporción de concentrado en la dieta se incrementan las concentraciones de propiónico en el rumen, lo que favorece a la síntesis de proteína en leche. Esto se debe a que el ácido propiónico promueve la síntesis de glucosa en el hígado, disminuye la gluconeogénesis a partir de aminoácidos, y por lo tanto hay mayor cantidad de aminoácidos circulantes en sangre para ser utilizados por la glándula mamaria para la síntesis de proteína en leche (Rearte, 1992).

En un ensayo realizado por Bargo et al. (2002) donde se compararon 3 tratamientos, 100% DTM, DPM y pastura más concentrado, se obtuvieron diferencias en la concentración de los dos primeros tratamientos frente al tercero (2,82, 2,95, 2,99 respectivamente). En cuanto a la cantidad producida por día, se encontraron diferencias entre los 3 tratamientos, siendo los valores obtenidos 1,24, 1,06 y 0,89 kg/día respectivamente. Esto fue explicado por la mayor producción dada por el mayor consumo de energía del tratamiento DTM.

Salado et al. (2018, 2020) realizaron dos experimentos donde se compararon diferentes inclusiones de DPM y pastura. En el experimento de Salado et al. (2018) no se encontraron diferencias en la concentración proteica entre tratamientos, pero sí para cantidad, siendo superiores los tratamientos 100% DTM y 75-25 (1,18 y 1,11 respectivamente) en comparación con los tratamientos 50-50 y 25-75 (0,96 y 0,92 respectivamente). En cuanto al experimento de Salado et al. (2020) se reportaron diferencias tanto en concentración como en cantidad producida. En ambos experimentos las mayores producciones de proteína están explicadas por una mayor ingesta de energía.

En ensayos nacionales, realizados por Fajardo (2013) no se obtuvieron diferencias entre tratamientos para el porcentaje de proteína, pero sí para la cantidad producida. Esta diferencia fue de 100 gramos por día más en animales alimentados con 100% DTM frente a animales consumiendo 6 y 9 horas de pastoreo y 50% DTM (1,2 vs. 1,1 y 1,1 kg/día respectivamente). Mendoza et al. (2016) obtuvieron valores similares a los de Fajardo (2013), donde no hubo diferencias en concentración entre tratamientos, pero sí obtuvo diferencias en la producción por parte de los animales 100% DTM y los que pastoreaban 4h frente a animales que pastoreaban 8h. Dicha diferencia se atribuye a una mayor producción de leche manteniendo la concentración de proteína.

Acompañando estos resultados, Mendoza et al. (2012) no obtuvieron diferencias en la producción diaria de proteína por litro, pero sí en la cantidad producida por día, al comparar animales DPM contra DTM.

A diferencia de lo que sucede con la grasa al aumentar el contenido energético de la dieta, el contenido proteico aumenta. Esto se explica por un incremento en la proteína secretada representando un 70% por la cantidad de leche producida y un 30% por el aumento del contenido proteico (Coulon et al., 1998). Además, se encontró una relación directa y significativa ($P < 0,05$) entre el porcentaje de proteína en leche y el nivel de energía metabolizable (EM) consumida diaria, donde por cada Mcal de EM consumida diaria se podía incrementar la proteína de la leche en 0,01 unidades porcentuales (Gallardo, 2006).

2.7.3 Lactosa

La lactosa es dentro de los principales componentes de la dieta, el menos modificable a través de cambios en la nutrición. Su rol es de gran importancia ya que determina el volumen de leche producido por medio de regulación osmótica. Un aumento en la secreción de lactosa y su consecuente transporte a la glándula mamaria genera también un mayor transporte de agua, lo que se traduce en una mayor producción de leche. Tanto la producción de grasa como la de proteína, dependen de la cantidad de leche producida, determinando la importancia de conocer la síntesis de la lactosa (Astigarraga et al., 2012).

La lactosa es formada a partir de la unión entre la glucosa y la galactosa (formada también por glucosa), por lo que la captación de esta en la glándula mamaria es muy importante. La glucosa en sangre en una vaca en lactación representa entre un 65% a 80% de la glucosa disponible, y de esta glucosa captada en la glándula mamaria, un 50 a 85% es utilizada para la síntesis de lactosa (De la Quintana et al., 2012). Al ser el ácido propiónico el precursor de la

glucosa, al aumentar la proporción de concentrados en la dieta, aumenta la lactosa y por lo tanto mayor volumen de leche (Van Lier y Regueiro, 2008).

El contenido de minerales de la leche como el potasio, sodio y cloro están en estrecha relación con la lactosa debido a que son fundamentales para la osmolaridad (Manterola, 2007).

2.8 EFECTO DEL USO DE DTM Y DPM EN LA CONDICIÓN CORPORAL

La CC es un método subjetivo de evaluación de la cantidad de energía metabolizable depositada en forma de grasa y músculo en un animal. Mediante este método pueden obtenerse altos porcentajes de repetibilidad, tanto entre mediciones como entre evaluadores.

Es una técnica simple y de bajo costo que puede ser realizada por cualquier persona con un entrenamiento corto, pudiendo sustituir la balanza con suficiente credibilidad para la estimación de reservas corporales (García Paloma, 1990). Además, es una herramienta que puede ser utilizada para el diagnóstico de la situación alimenticia del rodeo, así como de potenciales de producción (Krall et al., 2007). Por otro lado, García y Hippen (2008) reportan que el peso corporal no es buen indicador del estado nutricional de las vacas lecheras dado a que vacas de un mismo peso, pero de diferente conformación pueden presentar diferentes niveles de engrasamiento. Un ejemplo de esto es el consumo de agua diario por parte de los animales, que puede llegar a ser de 70 a 110 litros. Por otra parte, la vaca tiene un consumo diario de cerca de 45 kg de alimento (peso fresco) además de eliminar más de 55 kg de estiércol y orina diarios (NRC, 2001). También en los meses de lactancia puede eliminar entre 20 y 40 litros o más de leche.

La escala utilizada va desde el 1 al 5 y es capaz de discriminar hasta 0,5 puntos (Edmonson et al., 1989). Se considera una óptima CC antes del parto de 3 a 3,5 para asegurar la eficiencia reproductiva al momento del próximo servicio, no superiores a 3,5 ya que disminuye la producción y la fertilidad debido a que está asociado a trastornos metabólicos. Lo ideal es que el animal no pierda más de 1 punto de CC luego del parto (no más de 0,5 en el período seco). Para lograr esto se debe maximizar el consumo y reducir el estrés brindándole el máximo confort a la vaca (Morales et al., 2013).

Es de mayor importancia llevar un seguimiento de los cambios en la CC que la lectura en un momento dado. Generalmente se comporta de manera inversa a la curva de lactancia, disminuyendo aproximadamente 0,5 puntos durante 50 a 100 días al inicio, debido a las pérdidas de reservas corporales y los cambios homeoréticos en el organismo, y recuperándose lentamente hacia mediados de la lactancia tardía.

El manejo y la alimentación tienen poco efecto en la pérdida temprana de CC post-parto (semanas 1 a 4) hasta que el período natural de resistencia a la insulina haya pasado (Roche et al., 2009). Es por esto que las reservas corporales juegan un papel importante, ya que es la fuente de energía para enfrentar el balance energético negativo (Krall et al., 2007).

En animales con mayores reservas al parto, se observa un mejor desempeño productivo al inicio de la lactancia, cuando son sometidos a menores niveles de consumo. Al mismo tiempo, un alto nivel de reservas puede ser peligroso ya que hay mayor movilización de tejidos corporales y puede ser perjudicial (Krall et al., 2007).

Inmediatamente luego del parto, una caída de la CC de más de 1 unidad puede indicar desbalances de la dieta en cantidad o calidad. Al mismo tiempo, disminuciones menores a 0,5 unidades y una recuperación rápida en la lactancia puede estar indicando bajo potencial productivo (Krall et al., 2007).

La información disponible revela que el efecto de la CC sobre la producción de leche depende de muchos factores y existen resultados contradictorios. Uno de los principales es la alimentación, especialmente el consumo de energía, en donde una mayor CC al parto permitió mayor producción de leche en animales consumiendo pasturas (Grainger et al., 1982), mientras que Garnsworthy y Topps (1982) obtuvieron resultados con dietas que permiten alto consumo de energía en donde animales con menores reservas corporales al parto producen más leche que aquellos con mayores reservas.

Bargo et al. (2002) compararon en un ensayo 3 grupos de animales alimentados 100% DTM, DPM y pastura+concentrado. Al inicio del experimento, todos los tratamientos comenzaron sin diferencias en CC (2,85), pero los valores finales presentaron diferencias entre los animales 100% DTM (3,05), contra los suplementados en la pastura (2,61), presentando valores intermedios en aquellos alimentados con DPM (2,90). Resultados similares obtuvo Fajardo (2013) al comparar animales alimentados con 100% DTM frente a animales DPM con distintas horas de pastoreo. El valor inicial de CC para todos los tratamientos fue de 3,2. Los animales estabulados presentaron mayor CC final (2,9), frente a animales con 50% DTM y 9 horas de pastoreo (2,7), mientras que para los animales 50% DTM con 6 horas de pastoreo tuvieron valores intermedios (2,8).

De la misma manera, Soriano et al. (2001) obtuvieron diferencias significativas en CC entre animales alimentados 100% DTM y animales a los que se les suministraba 75 y 65 % DTM respecto al tratamiento estabulado y tenían un turno de pastoreo. Dicha diferencia se atribuye a la menor deposición de tejidos en forma de grasa por la actividad de pastoreo de los animales DPM (NRC, 1989).

Resultados finales superiores para DTM frente a DPM tanto en la CC como en el peso vivo son explicados por mayor consumo de energía y menores gastos de mantenimiento que surgen por la actividad de pastoreo (caminata y cosecha, Fajardo, 2013).

2.9 HIPÓTESIS

El control del ambiente productivo (encierro en establo o a cielo abierto) en combinación con distintos regímenes de alimentación (DTM o DPM) mejora la producción y composición de la leche, y la condición corporal.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL

El experimento se llevó a cabo en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni de la Facultad de Agronomía, Universidad de la República (Ruta 3, km 363, Paysandú). El trabajo fue desde el 1° de marzo hasta el 31 de mayo de 2019, llevando a cabo el análisis a partir de la semana 3 ya que en ese momento la mayoría de los animales estaban en producción.

3.2 ANIMALES

El número de animales bajo análisis en este experimento fue de 36 vacas Holando multíparas con un número de lactancia promedio de $3,4 \pm 1,6$, con un peso vivo al parto de 653 ± 191 kg, de pariciones otoñales comprendidas entre los meses de febrero y mayo.

3.3 MANEJO Y ALIMENTACIÓN PREPARTO

Los animales ingresaban a un corral preparto 21 días antes de la fecha probable de parto por registros, donde se les suministraba una dieta compuesta por maíz molido, expeller de soja, afrechillo de trigo, DDGS de maíz, sal con yodo, carbonato de calcio, sulfato de magnesio, levadura, sal compuesta y urea.

3.4 TRATAMIENTOS

Los animales fueron distribuidos completamente al azar en 3 tratamientos, donde se agrupaban en corrales de 4 animales en base a un criterio de similar PV y número de lactancia, cada tratamiento constó de 12 repeticiones. Los tratamientos aplicados fueron:

DPM-ANC (DPM-ambiente no controlado): este sistema combinó el pastoreo luego del ordeño matutino (07:00) hasta el ordeño vespertino (15:00), luego del cual pasaban a corrales a cielo abierto con DPM, agua *ad libitum* y sombra. Este sistema se asemeja al utilizado en la lechería uruguaya (Figura 3).

DPM-AC (DPM-ambiente controlado): al igual que el sistema anterior este combinó pastoreo con suplementación en los mismos turnos, con la diferencia de que los animales se encontraban en establo con cama caliente, aspersores de agua y ventiladores (Figura 4).

DTM-AC (DTM-Ambiente controlado): este tratamiento fue un control positivo, en que los animales permanecían todo el día en el establo en establo con cama caliente, aspersores de agua, ventiladores y con DTM ad libitum, sin acceso a pastoreo (Figura 4).



DPM-ANC.

Figura 3. Instalaciones del tratamiento sin control del ambiente a cielo abierto (foto: gentileza de A. La Manna)



DTM: izquierda.
DPM-ANC: derecha.

Figura 4. Instalaciones de los grupos con ambiente controlado (foto: gentileza de A. La Manna)

3.5 INSTALACIONES Y RUTINA

Se utilizó una sala de ordeño espina de pescado, de 8 órganos con una sala de espera a cielo abierto.

El establo donde se encerraron los animales disponía de 16 corrales techados de 13 m² cada uno, distribuidos en 2 filas de 8, donde cada uno de ellos tenía acceso a un comedero con balanza y un bebedero individual con agua *ad libitum*. El piso era de cemento, con un lugar para el descanso donde se encontraba la cama caliente de chip o aserrín maderero, el cual requería de tratamiento mecánico diario de la superficie de la misma. Para el control térmico se disponía de ventiladores y aspersores de agua automatizados según la temperatura del aire. Se realizaba un tratamiento de efluentes con 2 piletas de decantación y una separadora de sólidos, los cuales luego se utilizaban en las pasturas para fertilizaciones.

El tratamiento DPM-ANC disponía de corrales a cielo abierto de 480 m² cada uno, subdivididos en dos partes para rotar asegurando piso firme y sin acumulación de barro. Cada corral disponía de sombra a razón de 6,5 m² por animal; los comederos eran de hormigón y tenían acceso *ad libitum* al agua.

El ordeño se realizaba dos veces por día (5:00 am y 3:00 pm); luego de finalizado el ordeño matutino, los animales de los tratamientos DPM-ANC y DPM-AC eran llevados a la pastura hasta el siguiente ordeño, mientras que los del tratamiento DTM retornaban al establo.

La administración del DTM se realizó con un mixer con balanza 2 veces al día luego de cada ordeño para los animales del DTM, y para los animales DPM-AC y DPM-ANC posterior al ordeño vespertino.

3.6 ALIMENTACIÓN

3.6.1 Forraje

Las parcelas de pastoreo contaron con una rotación establecida en tiempo y espacio, compuesta por 3 años de pradera seguido por un verdeo de invierno (mezcla avena y raigrás) y un verdeo de verano (soja).

La oferta de forraje estuvo determinada semanalmente por la demanda animal y por el control del stock objetivo (1800 kg MS/ha superficie efectiva de pastoreo) teniendo en cuenta la condición de entrada de la pastura (No. de hojas) a modo de evitar desperdicio de biomasa y no comprometer la supervivencia de la pastura.

Cabe destacar que por bajos crecimientos de la pastura no se alcanzó el stock de forraje objetivo en la superficie de pastoreo desde el 11 al 21 de abril (correspondientes a las semanas 7 y parte de la 8 del experimento), se realizó un encierre táctico a los animales de los tratamientos DPM-AC y DPM-ANC, ofreciéndoles únicamente DTM.

Las pasturas utilizadas para el experimento fueron pradera mezcla de festuca y lotus (*Festuca arundinacea* y *Lotus corniculatus*) de 3er. año, festuca pura de 2do. año y una mezcla de avena y raigrás (*Avena bizantina*, *Lolium multiflorum*). Se ofreció festuca y lotus en la semana 3, festuca pura desde la semana 4 a la 6 y 8. En las semanas 9, 10 y 11 los animales consumieron verdeo de avena-raigrás y de la semana 12 a la 13 festuca y lotus.

3.6.2 Suplemento

La DTM utilizada en el experimento respetaba las mismas proporciones para los 3 tratamientos. Los alimentos utilizados fueron ensilaje de maíz (24,5%), ensilaje de raigrás (21%) y concentrado (54,5% integrado por: 7% DDGS de maíz, 7,5% salvado de trigo, 21% grano de maíz, 10,5% pellet de canola, 3,5% harina de maíz, 1,4% grasa inerte, 0,1% urea, 0,1% levadura, 1% carbonato de calcio, 0,7% sulfato de magnesio y 1,7% de sal) durante todo el experimento.

En cuanto a la alimentación se estimó un consumo potencial de 24 kg MS/día para todos los tratamientos. También se utilizó como supuesto un consumo de 50% de la MS asignada en la pastura a los animales que accedían al forraje (DPM-AC y DPM-ANC).

La cantidad ofrecida de la DTM para el tratamiento 100% DTM era ad libitum y se ajustaba según balance energético mediante NRC (2001). Por su parte para los tratamientos consumiendo DPM se suplementaba en base a la diferencia esperada entre el consumo potencial de MS (24kg MS/día) y el forraje cosechado, para satisfacer los requerimientos nutricionales de ambos tratamientos.

3.7 MEDICIONES

3.7.1 Producción y composición de leche

Se registró diariamente la producción de leche individual. Semanalmente se realizó un muestreo para conocer la composición de grasa, proteína y lactosa en leche. Para validar los datos obtenidos se consideraron rangos entre 2% a 6,5% para grasa y entre 2,5% a 4,5% de proteína, tomando datos por fuera de los mismos como atípicos.¹ La concentración de energía en leche en Mcal/L se calculó de acuerdo a la fórmula (NRC, 2001). La leche corregida en energía se calculó de acuerdo a Robinson y Erasmus (2010):

- Leche corregida en energía (kg/vaca/día) = ((((((grasa%*41,65) + (proteína%*24,13) + (lactosa%*21,60) - 11,72) * 2,204)) * (kg/d leche))) / 0,721).

¹ Sotelo, F. 2019. Com. personal.

3.7.2 Condición corporal

La condición corporal se midió de forma quincenal usando la escala de 1 a 5 (Edmonson et al., 1989) realizado por el mismo observador durante el experimento.

3.7.3 Disponibilidad de forraje

La disponibilidad de forraje se midió mediante el método de doble muestreo (Haydock y Shaw, 1975). Se realizó la construcción de una escala del 1 al 5 en cuanto al nivel de forraje cada 15 días, se colocaban cuadros de 50x50 cm y se cortaba el forraje dentro de estos para la medición de MS de cada nivel de la escala, siendo el valor 1 la de menor forraje y el 5 el de mayor forraje. Por último, se midió la altura de cada nivel y se le adjudicó un valor de disponibilidad de forraje visual. Luego de identificar los 5 niveles y sus alturas correspondientes se realizaban recorridas semanales, donde se determinaba visualmente la disponibilidad de forraje.

3.7.4 Consumo de suplemento

La oferta del DTM se midió con la balanza del mixer, corroborando con las balanzas de los comederos para cada corral semanalmente. Al día siguiente, antes de suministrar nuevamente el suplemento se pesaba el rechazo y desperdicio. Finalmente se estimaba el consumo por diferencia entre oferta y rechazo.

3.7.5 Clima

Los datos climáticos para el período bajo estudio se obtuvieron de la estación meteorológica de la EEMAC. Se registró temperatura en grados centígrados (°C) y las precipitaciones en milímetros (mm). Además, se calculó el ITH (Thom, 1959). La ecuación utilizada fue la siguiente (Amstrong, 1994):

$$ITH = (1,8 \times Ta + 32) - (0,55 - 0,55 \times HR/100) \times (1,8 \times Ta - 26)$$

Ta= temperatura del aire (C°)

HR= humedad relativa

3.7.6 Balance energético

A continuación, se detallan las ecuaciones utilizadas para las determinaciones del balance energético realizado para cada tratamiento

mediante el NRC (2001), usando para el cálculo de requerimientos las siguientes ecuaciones:

- Energía neta de lactación para actividad:

$$\text{ENL actividad (Mcal/día)} = \text{Distancia (km)} * \text{No. viajes} * 0,00045 * \text{PV} + 0,0012 * \text{PV}.$$

- Energía neta de lactación para mantenimiento:

$$\text{ENL (Mcal/día)} = (0,080 * \text{PV}^{0,75}) + \text{ENL actividad}.$$

Energía para producción de leche:

$$\text{ENL (Mcal/(kg leche))} = 0,0929 * \text{G\%} + 0,0547 * \text{PC\%} + 0,192.$$

Para calcular el aporte energético de la dieta se utilizaron las siguientes ecuaciones:

- Energía digestible:

$$\text{ED (Mcal/kg)} = (\text{dvCNF}/100) * 4,2 + (\text{dvFDN}/100) * 4,2 + (\text{dvPC}/100) / * 5,6 + (\text{dvEE}/100) * 9,4 - 0,3$$

- Energía metabolizable:

$$\text{EM (Mcal/kg)} = (1,01 * \text{ED}) - 0,45$$

- Energía neta de lactación:

$$\text{ENL (Mcal/kg)} = (0,703 * \text{EM}) - 0,19$$

- Energía digestible aportada por la pastura (estimación básica para forrajes):

$$\text{ED (Mcal/kg)} = -0,027 + (0,042 * \text{DMO\%})$$

$$\text{DMO\%} = 88,9 - (0,779 * \text{FDA\%})$$

$$\text{CNF\%} = 100 - (\text{FDN\%} + \text{PB\%} + \text{EE\%} + \text{Cz\%})$$

- Digestibilidad verdadera de la proteína cruda de forrajes:

$$(\text{dvPCf}) = \text{PC\%} * \exp(-1,2 * (\text{PCIDA\%}/\text{PC\%}))$$

- Digestibilidad verdadera de la proteína cruda de concentrados:

$$(\text{dvPCc}) = (1 - (0,4 * (\text{PCIDA\%}/\text{PC\%}))) * \text{PC\%}$$

- Digestibilidad verdadera de los carbohidratos no fibrosos (CNF):

$$(\text{dvCNF}) = 0,98 * (100 - ((\text{FDN\%} - \text{PCIDN\%}) + \text{PC\%} + \text{EE\%} + \text{Cz\%}))$$

- Digestibilidad verdadera de la fibra en detergente neutro:

$$(dvFDN) = 0,75 * (FDN\% - PCIDN\% - LDA\%) * (1 - (LDA\% / (FDN\% - PCIDN\%)))$$

- Digestibilidad verdadera de las grasas (se asume que es de 100%):

$$(dvEE) = EE\% - 1$$

- Abreviaturas: G%= Grasa; PC%= Proteína cruda; dv= Digestibilidad verdadera; CNF%= Carbohidratos no fibrosos; FDN%= Fibra detergente neutro; EE%= Extracto etéreo; DMO%= Digestibilidad de la materia orgánica; Cz%= Cenizas; PCIDA%= Proteína cruda insoluble en detergente ácido; PCIDN%= Proteína cruda insoluble en detergente neutro; LDA%= Lignina detergente ácido.

3.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El experimento fue un diseño en bloques completamente al azar, cada tratamiento constaba de 12 repeticiones, donde la unidad experimental sobre la que se realizaron las medidas repetidas fue la vaca. El modelo incluyó los efectos fijos de los tratamientos, semanas y la interacción semana x tratamiento. Las variables bajo análisis fueron producción de leche y contenido de grasa, proteína y lactosa y CC. Las medias se compararon utilizando la prueba de Tukey donde se rechazó H_0 con probabilidad de error de tipo α ($\alpha=0,05$). Para el análisis estadístico de las mismas se utilizó un modelo de medias repetidas en el tiempo con el software estadístico SAS (versión 2010).

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + f_j + (f\tau)_{ij} + \epsilon_{ij}$$

μ = Media

τ_i = Efecto del tratamiento $i = 1, 2, 3$

f_j = Efecto de la fecha (semana) $j = 1, 2, 3, \dots, j$

$(f\tau)_{ij}$ = Interacción fecha x tratamiento

ϵ_{ij} = Error $\epsilon_{ij} \sim N(0; \sigma^2)$

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan y discuten los resultados obtenidos durante el experimento. Comenzando por los datos climáticos a modo de brindar un contexto del ambiente productivo en el cual se llevó a cabo el experimento, seguido por la alimentación ofrecida a los animales y por último se presentarán los resultados productivos con sus respectivos análisis.

4.1 CLIMA

Las precipitaciones acumuladas dentro del período en estudio fueron de 69, 71 y 100 mm en marzo, abril y mayo respectivamente.² De acuerdo al promedio histórico los valores para estos meses fueron 147, 103 y 77 mm respectivamente (INUMET, 2019).

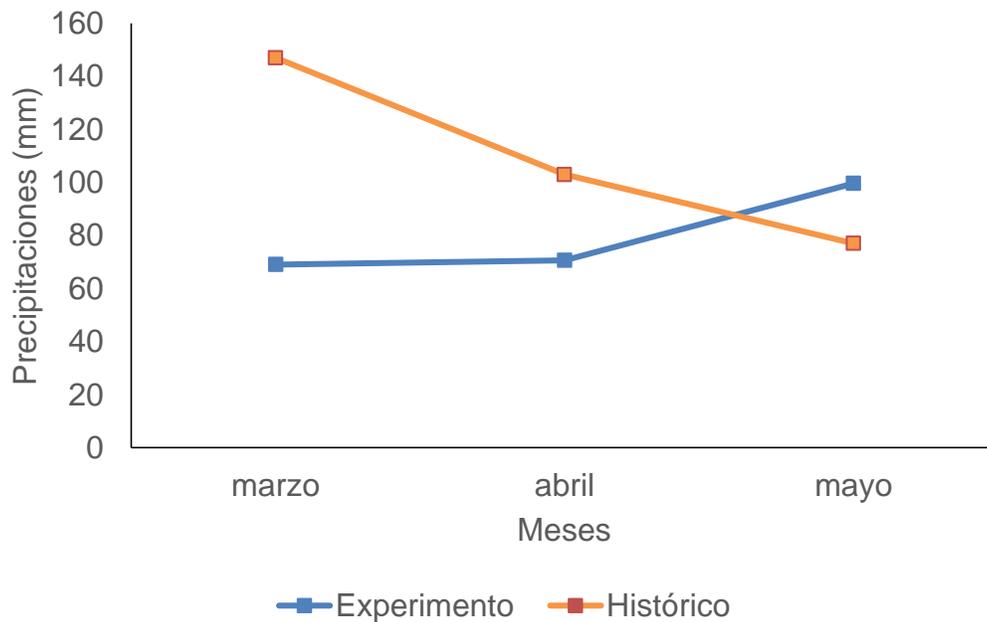


Figura 3. Registro de precipitaciones acumuladas históricas del período 1961-1990 y el experimento durante los meses de otoño para Paysandú

² Facultad de Agronomía. EEMAC. 2019. Precipitaciones del período marzo, abril y mayo extraído de estación meteorológica. s.p. (sin publicar).

Cuadro 1. Temperaturas medias, máximas y mínimas de los meses marzo, abril y mayo para el experimento y el período histórico (1961-1990)

	Tmed. (C°)		Tx. (C°)		Tn. (C°)	
	Experimento	Histórico	Experimento	Histórico	Experimento	Histórico
Marzo	18,8	21,6	31,7	37,5	8,5	6,3
Abril	18,1	18,0	31,6	34,4	6,2	2,0
Mayo	15,3	14,8	24,6	31,7	4,3	-4,2

Tmed.= Temperaturas medias; Tx.= Temperaturas máximas; Tn.= Temperaturas mínimas

En general, las temperaturas medias y máximas del período de estudio fueron similares a las históricas, en algunos casos por debajo como en el mes de marzo. En cuanto a las temperaturas mínimas medias no hay grandes diferencias, pero sí hay con las mínimas absolutas, siendo mayores que las históricas.

Cuadro 2. Temperatura, humedad e ITH promedio semanal del experimento

Semana*	Temperatura (C°)	Humedad (%)	ITH	Precipitaciones acumuladas (mm)
3	20,9±4,4	78,7±12,1	63,2±4,6	35,2
4	18±4,8	70,1±10,3	61,7±5,6	0,6
5	18,4±3,4	81,3±7,4	66,7±4,0	3,6
6	16,7±5,0	69,0±11,7	62,4±6,1	4,4
7	16,5±4,2	76,0±10,5	61,4±4,6	19,2
8	17,7±4,2	78,0±12,0	60,9±4,7	10,2
9	14,4±3,5	87,0±11,0	60±3,5	33,6
10	15,1±3,2	88,0±6,1	61,5±3,0	16,6
11	13,1±4,0	87,0±9,3	58,1±3,9	69,4
12	14,1±3,1	88,6±5,8	59,7±3,1	12,2
13	17,4±4,2	81,6±6,6	54,8±4,0	1,4

*Semana 1 comienza el 1ro. de marzo.

En otoño la temperatura no se reporta como un factor que influye negativamente en la producción, siendo baja probabilidad de que exista estrés térmico por calor o frío (Saravia et al., 2011).

El ITH durante el experimento demuestra que no fue un factor determinante de estrés, ya que nunca alcanzó valores superiores a 72 por más de 16 horas como se reporta (Saravia et al., 2011), ni tampoco valores por encima de 68 según otros reportes para vacas de alta producción (Zimbelman et al., 2009).

Las precipitaciones también son un factor del clima que puede tener impacto sobre el ambiente productivo, ya sea por exceso o por déficit. Dado que las precipitaciones estuvieron por debajo de las históricas durante el experimento, el impacto se reflejó sobre la producción de forraje, y para mitigarlo se encerraron los tratamientos DPM-AC y DPM-ANC durante 10 días en las semanas 7 y parte de la 8. Durante este período de encierro estos animales lograron aumentar su producción. Ambos tratamientos entraron al encierro produciendo 33 kg/d de leche y el último día DPM-AC alcanzó producciones de leche iguales que DTM, de 41 kg/d, mientras que DPM-ANC produjo 39 kg/d de leche. Considerando que en este período no existieron temperaturas ni precipitaciones que produjeran estrés, el tipo de encierro (a cielo abierto o ambiente controlado) no explicó las diferencias en la producción de leche. En cambio, el tipo de encierro sí generó modificaciones significativas en la

composición de la leche entre los tratamientos DPM (ver información proporcionada en composición de leche).

Por otro lado, durante el experimento sólo un día de la semana 10 se registraron precipitaciones importantes (65 mm). Sin embargo, los niveles de producción en esa semana no se vieron afectados negativamente, sino que aumentaron con respecto a los de la semana anterior. Por lo tanto, el clima no fue un factor que generó problemas entre los tratamientos de este experimento, y las variaciones en los comportamientos de producción y composición de leche fueron explicados por los regímenes alimenticios.

4.2 COMPOSICIÓN QUIÍMICA DE LA DIETA

En el Cuadro 3 se presenta la composición química de las dietas DTM y DPM para los meses que comprendió el experimento.

Cuadro 3. Composición química de la DTM ofrecida a los tratamientos durante los meses del experimento

Alimento	Mes	MS (%)	PC (%)	FDN (%)	FDA (%)
DTM	Marzo	44,4	16,3	33,0	18,0
	Abril	42,8	13,4	33,0	14,0
	Mayo	46,5	15,8	31,0	13,0

MS%= Materia seca; PC%= Proteína cruda; FDA%= Fibra detergente ácida; FDN%= Fibra detergente neutra.

La composición química de las dietas para cada mes tuvo variaciones leves; a pesar de esto, los distintos componentes estuvieron acorde a los niveles de producción. En base a estimaciones de rango de concentración de nutrientes según NRC (2001), para una producción de leche de 35 a 45 kg/d es necesario tener un aporte de 15,2 a 16,0 % de proteína cruda, un mínimo de 25 a 33 % de FDN y 17 a 21 % de FDA. Se debe tener en cuenta que en el mes de abril la proteína estuvo por debajo de los rangos recomendados, esto se debe a que es un promedio de sucesivos análisis químicos dentro del mismo mes, y particularmente uno de estos fue bajo (10,2%), lo que genera dudas en el muestreo ya que los siguientes análisis estuvieron un poco por debajo (14,5%) y por encima del rango recomendado para proteína (17,1%).

Cuadro 4. Oferta de DTM y de forraje para los tratamientos DTM (100% DTM), DPM-AC (pastoreo+DPM en establo con ambiente controlado) y DPM-ANC (pastoreo+DPM en encierro a cielo abierto, ambiente no controlado)

Tratamientos	Oferta (kgMS/VO/día)*				
	DTM	DPM-AC		DPM-ANC	
Semana**		DTM	Forraje	DTM	Forraje
3	21,8	10	15	10	13
4	23	12	22	12	18
5	22,1	16	15	16	15
6	25	16	15	16	12
7	29	24	-	24	-
8***	29	24	-	24	-
8****	29	14	14	14	16
9	27,4	14	19	14	18
10	27,5	14	18	14	18
11	27,5	14	18	14	18
12	27,5	14	12	14	13
13	27,5	14	13	14	13

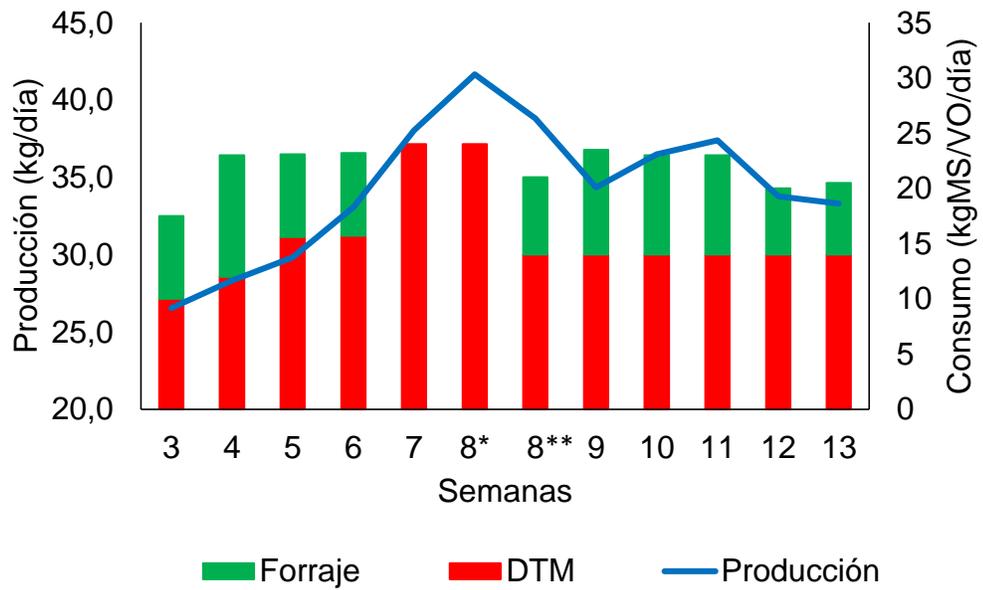
* kilogramos de materia seca/ vaca ordeño/ día.

** Semana 1 inicia el 1ro. de marzo.

*** Días de la semana 8 con encierro por falta de forraje.

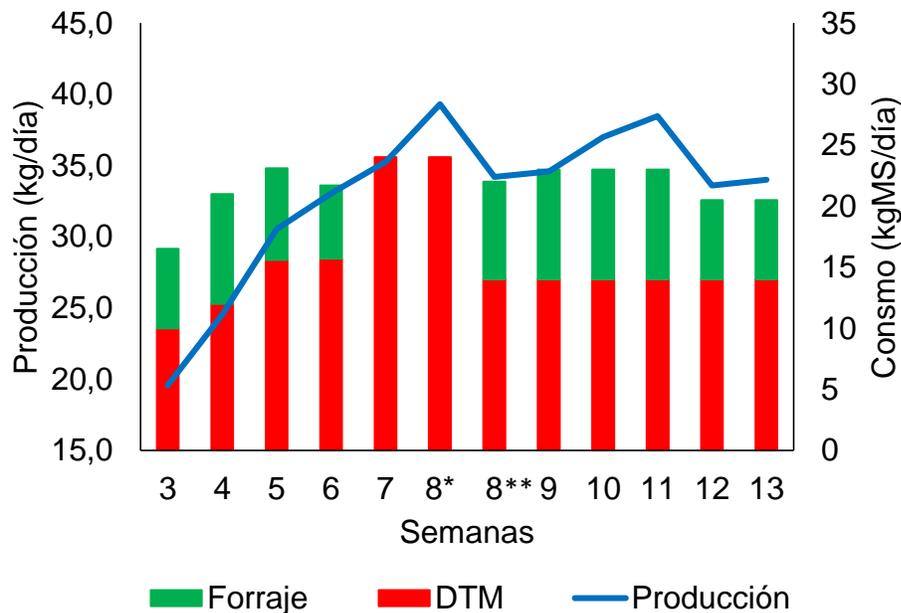
****Días de la semana 8 con DPM+pastoreo.

La asignación de forraje está relacionada con el consumo de MS y por lo tanto es un buen predictor del mismo. Baudracco et al. (2010) desarrollaron un modelo de predicción de consumo de MS donde asignaciones similares a las utilizadas en este experimento (20 kgMS/vaca/día) lograron eficiencias de cosecha potencial de aproximadamente 50%. En base a esto se utilizó como criterio este valor para estimar el consumo de forraje.



8*= Días de la semana 8 que los animales estuvieron encerrados; **8= días de la semana 8 que los animales consumieron pastura y DPM

Figura 4. Variación en el consumo de DTM y forraje y la producción de leche promedio del tratamiento DPM-AC (pastoreo+DTM encierre en establo, ambiente controlado)



8*= Días de la semana 8 que los animales estuvieron encerrados; 8**= días de la semana 8 que los animales consumieron pastura y DPM

Figura 5. Variación del consumo de DPM y forraje y la producción promedio de leche del tratamiento DPM-ANC (pastoreo+DTM con encierro a cielo abierto)

En las Figuras 5 y 6 se observó una respuesta incremental de la producción de leche de los grupos DPM concomitante con el incremento del consumo de MS. Al salir del encierro táctico de la semana 7 y parte de la semana 8, los tratamientos DPM-AC y DPM-ANC pasaron a pastorear festuca, respondiendo con un descenso de producción medido en la semana 9 (de 41 a 36 y 39 a 34 kg/d leche, respectivamente), posiblemente en respuesta al cambio en la dieta y a la disminución de MS consumida (merma de 3 kgMS/v/d, valor estimado). En la semana 9, se comenzó a pastorear verdeo (avena-raigrás) y se corrigió la oferta de pastura que aumentó de 14 a 19 kgMS/v/d para DPM-AC y de 16 a 18 kgMS/v/d para DPM-ANC; el resultado fue el aumento de producción de leche desde el ingreso al verdeo hasta la semana 11 de 3 y 4 kg/d de leche, respectivamente. Teniendo en cuenta que se mantuvo el consumo de DTM constante y la producción de leche aumentó en este período, se puede decir que no solo la calidad de la pastura fue determinante sino también un posible mayor consumo de MS, evidenciando una mayor eficiencia de cosecha dado por la estructura (altura y densidad) del verdeo en relación a

la de la festuca, permitiendo mayor peso de bocado y por lo tanto mayor consumo. Posterior a esto, en la semana 12 los animales volvieron a consumir festuca, con una disminución en la oferta de 6 y 5 kgMS/VO/día y por lo tanto una disminución en el consumo de materia seca. Dicho cambio de pastura generó una caída de 4 y 4,8 kg /d de leche respectivamente, esto se dio por una disminución en la calidad de la pastura y un menor consumo de materia seca, dado por la menor asignación. En estas últimas semanas los cambios en la asignación de forraje demuestran las fluctuaciones a las que se ven sometidas las vacas en los sistemas en Uruguay, y revalorizan la importancia del consumo de pastura en la producción de leche, ya que ambos tratamientos tuvieron la misma oferta de DPM fija y sólo variaron en la asignación de forraje, reflejándose en la producción de leche.

Cuadro 5. Consumo estimado de MS (kgMS/día) y energía (Mcal/día) de los tratamientos DTM (100% DTM), DPM-AC (pastoreo+DPM en establo con ambiente controlado) y DPM-ANC (pastoreo+DPM en encierro a cielo abierto, ambiente no controlado)

	DTM	DPM-AC	DPM-ANC
Consumo Total (KgMS/día)	26,4	22,5	22,5
DTM (KgMS/día)	26,4	14,0	14,0
Pastura (KgMS/día)	-	8,5	8,5
Consumo ENL (Mcal/día)	47,1	35,9	35,9

Al incluir forrajes en la dieta, los tratamientos DPM-AC y DPM-ANC no alcanzaron los consumos de MS y energía logrados por el tratamiento DTM. Este comportamiento es similar a los resultados obtenidos por Mendoza et al. (2016), donde animales 100% DTM y DTM+4h de pastoreo tuvieron consumos de MS mayores que animales DTM+8h de pastoreo. Los autores atribuyen estos resultados al mayor consumo de forraje fresco con menor contenido de MS, que a pesar de que a mayor tiempo de pastoreo hay mayor consumo de forraje, la diferencia en horas de pastoreo no alcanzó los valores de MS consumida que logró el tratamiento DTM+4h. Acompañando estos resultados, NRC (2001)

determinó que la concentración energética de las pasturas templadas sumado a sus altos contenidos de humedad y fibra, pueden resultar en bajos consumos de materia seca y energía (Kolver y Muller, 1998).

4.3 PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LECHE

En el Cuadro 6 se resumen los efectos fijos sobre las diferentes variables.

Cuadro 6. Efectos de los tratamientos, semana y su interacción (tratamiento x semana) sobre la producción de leche, grasa, proteína y lactosa

Variable	Unidad	Efectos*, P≤ (0,005)		
		T	S	TxS
Producción de leche	kg/v/d	0,002	<,0001	<0,0001
Grasa	%	0,61	<,0001	0,12
	Kg/V/d	0,023	<,0001	0,039
Proteína	%	0,68	<,0001	0,012
	Kg/V/d	0,0008	<,0001	<,0001
Lactosa	%	0,037	<,0001	0,18
	Kg/V/d	0,0006	<,0001	<,0001

*T= tratamiento, S= semana, TxS= tratamiento x semana

4.3.1 Producción de leche

Los resultados promedios de la producción de leche a lo largo del experimento se presentan en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Producción de leche (kg/día) para los tratamientos DTM (100% DTM), DPM-AC (pastoreo+DPM en establo con ambiente controlado) y DPM-ANC (pastoreo+DPM en encierro a cielo abierto, ambiente no controlado)

Tratamiento	Producción de leche (kg/día)
DTM	42,0±1,1 ^a
DTM-AC	33,5±1,1 ^b
DTM-ANC	32,6±1,1 ^b

a, b letras diferentes en la misma columna muestran diferencias estadísticas ($P < 0,05$).

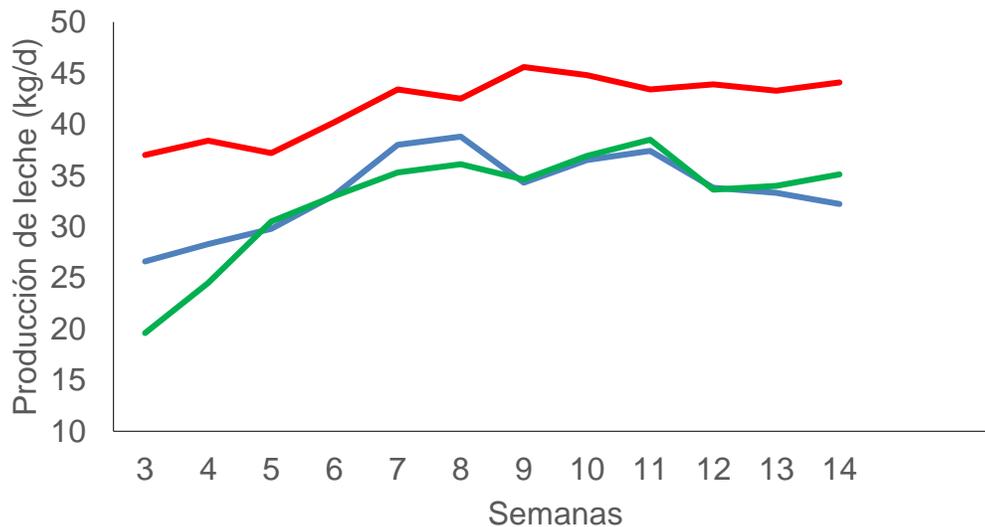


Figura 6. Producción de leche (kg/vaca/día) para los tratamientos DTM (100% DTM), DPM-AC (pastoreo+DPM en establo con ambiente controlado) y DPM-ANC (pastoreo+DPM en encierro a cielo abierto, ambiente no controlado)

Los máximos alcanzados en cada tratamiento fueron en promedio 46,0, 38,8 y 38,0 kg/v/d de leche para los tratamientos DTM, DPM-AC y DPM-ANC respectivamente. Según la información revisada, los picos de producción se dan típicamente entre las semanas 4 y 8 con una gradual disminución (Chilibroste et al., 2001). Los tratamientos del experimento no tienen este comportamiento, ya

que los altos niveles de producción se prolongan por mayor tiempo, es decir, presentan mayor persistencia, manteniendo elevados niveles de producción luego del pico. Existió interacción tratamiento x semana a lo largo de todo el experimento, presentando el tratamiento 100% DTM valores superiores que los tratamientos DPM-AC y DPM-ANC, salvo en la semana 8 que DPM-AC registró producciones sin diferencias con DTM y DPM-ANC, y en la semana 11 que el grupo DPM-ANC presentó valores intermedios sin diferencias con los restantes.

Hay que tener en cuenta que los animales DPM fueron encerrados durante la semana 7 y parte de la 8, lo que podría haber sido clave en que la lactancia se haya mantenido sin descensos, hasta la semana 11 y no a partir de la semana 8 como expone la bibliografía. Este aumento en la producción y la prolongación en el tiempo son explicados por el propio encierro, en el cual los animales consumieron DTM en los dos turnos, por lo tanto, mayor consumo de MS; luego con el ajuste de la asignación forrajera en la semana 9 al ingresar al verdeo de avena y raigrás, se logró sostener los niveles de producción y la persistencia.

Al salir del encierro los animales disminuyeron la producción, en concordancia con lo observado por Bargo et al. (2002), donde vacas en un free stall con DTM pasaron por una adaptación de 2 semanas en que se fue incrementando gradualmente el tiempo de pastoreo hasta alcanzar las 12 h, aparte de la oferta de DTM. En dicho estudio, la disminución en la producción en las 2 semanas de adaptación fue de 15% con un descenso constante, mientras que en el presente ensayo fue de 11%, aunque el patrón del descenso de producción difirió en que disminuyó la primera semana y en las 2 siguientes recuperó sin llegar a los niveles del encierro. Esto podría deberse al estrés del cambio de la dieta, la etapa de lactación de las vacas, momento del año, calidad de la pastura, duración de la transición a la pastura, cambios en la población microbiana del rumen y/o el aumento de los requerimientos energéticos en caminata y pastoreo (Bargo et al., 2002).

En promedio durante todo el experimento los animales del DTM produjeron 20 % más leche que los DPM. Esto concuerda con resultados de autores nacionales, aunque de mayor magnitud que los datos reportados por Fajardo (2013) con 7 % y Mendina (2017) con 16 % más producción en animales alimentados con DTM comparado con los alimentados con pasturas y 50 % DTM. En estos experimentos, la mayor producción de leche se explicaba por un mayor consumo de MS y, por lo tanto, un mayor consumo de energía en la dieta.

En cuanto a la superioridad en los niveles de producción del presente experimento frente al de Fajardo (2013) para el tratamiento 100 % DTM (42 kg/d vs. 35,3 kg/d), podría estar explicada por el control ambiental del encierro, en este experimento los animales contaban con un establo con cama caliente,

ventilación y aspersión de agua, diferente al encierro realizado por Fajardo (2013).

Según Mendoza et al. (2016), el tiempo de acceso al forraje es una limitante en la producción de leche, demostrándolo mediante ensayos que compararon animales alimentados 100% DTM con animales con DPM y distintas horas de acceso a forraje e inclusión de forraje-DPM (0h 100% DTM y 4h 11-89 relación forraje concentrado). Los tratamientos 100% DTM y 4h de acceso a forraje con una relación forraje-DPM de 11-89 no presentaron diferencias entre sí, mientras que aquellos que accedieron 8h con 16-84 forraje-DPM tuvieron menores consumos de MS. En la misma línea, los tratamientos DPM de este experimento tuvieron acceso a la pastura durante 8 horas con una relación forraje-DPM de 37-67, con un comportamiento similar al de los autores antes mencionados.

En un experimento similar al presente, Bargo et al. (2002) compararon tratamientos 100% DTM, pastura+DTM y pastura+concentrado, entre los cuales obtuvieron diferencias significativas en producción de leche (38, 32 y 28,5 kg/d leche, respectivamente). Los autores reportaron que esas diferencias entre tratamientos pueden estar relacionadas a la mayor energía requerida para la caminata a la pastura y la actividad de pastoreo, sumado a las diferencias en el consumo de energía. Para este experimento sucedió algo similar, pero en menor magnitud; el incremento de los requerimientos para los tratamientos DPM fueron de 1,3 y 1,7 Mcal/d para DPM-AC y DPM-ANC respectivamente, mientras que el tratamiento DPM de Bargo et al. (2002) requirió de 2,5 Mcal/d de energía de mantenimiento por encima del tratamiento DTM. Basado en que el requerimiento de ENL/kg leche es de 0,73 y 0,75 Mcal para DPM-AC y DPM-ANC respectivamente, la actividad representó 2,4 kg de leche/d para ambos tratamientos coincidente con el 25 y 28 % de diferencia en producción de leche entre estos tratamientos y el tratamiento DTM.

Este análisis demuestra que el control de la dieta y de las condiciones de infraestructura juegan un rol determinante en la lactancia. Este experimento presentó resultados alentadores desde el punto de vista de rendimientos productivos, ya que manteniendo una relación 60-40 DPM-forraje y sesiones de pastoreo de 8 horas aproximadamente, se lograron valores similares a combinaciones con mayor uso de DTM reportados por otros autores (Mendoza 2016, Salado 2018, 2020) así como también desde el comportamiento de las curvas de lactancias, reflejando el impacto que tuvieron los distintos manejos de la alimentación y el nivel del control del ambiente.

4.3.2 Composición de leche

En el Cuadro 8 se presentan los resultados de composición.

Cuadro 8. Grasa, proteína y lactosa de los tratamientos DTM (100% DTM), DPM-AC (pastoreo+DPM en establo con ambiente controlado) y DPM-ANC (pastoreo+DPM en encierro a cielo abierto, ambiente no controlado)

		Tratamiento		
		DTM	DPM-AC	DPM-ANC
Grasa	%	4,0±0,1 ^a	4,1±0,1 ^a	3,9±0,1 ^a
	kg/v/d	1,7±0,1 ^a	1,4±0,1 ^{ab}	1,3±0,1 ^b
Proteína	%	3,4±0,1 ^a	3,4±0,1 ^a	3,5±0,1 ^a
	kg/v/d	1,4±0,03 ^a	1,1±0,03 ^b	1,2±0,03 ^b
Lactosa	%	5,0±0,03 ^a	4,8±0,03 ^b	4,9±0,03 ^{ab}
	kg/v/d	2,1±0,1 ^a	1,6±0,04 ^b	1,6±0,1 ^b

a, b letras diferentes en la misma columna muestran diferencias estadísticas (P<0,05).

Los niveles de grasa y lactosa se mantuvieron en rangos similares a los obtenidos en otros experimentos reportados (Bargo et al. 2002, Guigou et al. 2014, Mendoza et al. 2016). La proteína en cambio, presentó valores mayores a los obtenidos por los autores mencionados anteriormente, tanto en concentración como en cantidad producida.

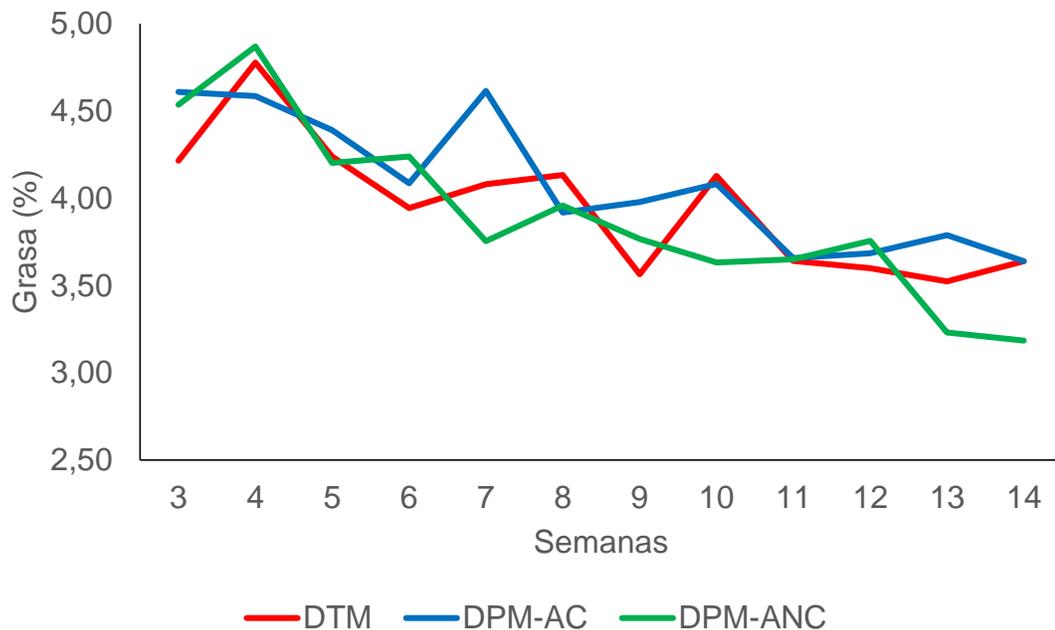


Figura 7. Evolución de la grasa en leche en % de los tratamientos DTM (100% DTM), DPM-AC (pastoreo+DPM en establo con ambiente controlado) y DPM-ANC (pastoreo+DPM en encierro a cielo abierto, ambiente no controlado)

En la Figura 9 se observó que no hubo diferencias en la concentración de grasa entre tratamientos, excepto en la semana 7. Sin embargo, existe una disminución de la concentración de grasa a lo largo del experimento para todos los tratamientos, explicada por el aumento de la producción de leche que generó un efecto de dilución sobre la grasa (Sutton, 1989). Los altos valores iniciales se explican por la movilización de reservas corporales de los animales en las primeras semanas post parto, período en el que los animales no tienen capacidad de consumir suficiente MS para satisfacer sus requerimientos. Por otro lado, existió interacción tratamiento x semana para la cantidad producida, determinada por las semanas 4, 7, 8, 10, 13 y 14.

Si bien el tratamiento DTM consumió más DTM que los tratamientos DPM (relación forraje-DTM 47-53 vs. 63-37 respectivamente), que podría traducirse en menores valores de grasa en leche, los niveles adecuados de fibra en la dieta permitieron mantener valores similares a los tratamientos que consumían pasturas como parte de la dieta (NRC, 2001).

La producción total de grasa fue diferente entre DTM y DPM-ANC, explicados por la mayor producción de leche y misma concentración de grasa por litro. Estos resultados van en línea con la bibliografía consultada (Bargo et al.

2002, Guigou et al. 2014, Mendoza et al. 2016). En este experimento, el grupo DPM-AC no fue estadísticamente diferente a ninguno de los tratamientos, aunque se aprecia que tuvo un comportamiento más parecido al grupo DPM-ANC que a DTM, seguramente explicado por el mismo régimen alimenticio (pastura+DTM).

En la semana 7 durante el encierro táctico, el tratamiento DPM-AC tuvo un aumento en la concentración de grasa y en la producción, a diferencia de DPM-ANC que mantuvo sus niveles durante el encierro. Esta diferencia puede adjudicarse a los distintos niveles de confort del encierro ya que la dieta entre ambos tratamientos fue la misma. Aunque no se encontró una explicación, fue un período breve (10 días) como para que el ambiente finalmente tuviera impacto en algunas de las variables.

Los resultados de Bargo et al. (2002) presentaron el mismo comportamiento que los de este experimento, con elevados consumos de fibra para todos los tratamientos (8,2, 8,7 y 7,9 kg/d; DTM, DTM+pastura y pastura+concentrado respectivamente), señalando que quizás hubo algún tipo de alteración en el grupo de pastoreo+concentrado afectando la digestión a nivel ruminal. Mendoza et al. (2011) atribuyeron esto a que las pasturas de alta calidad son altamente fermentescibles y pueden causar bajos pH en rumen por un tiempo prolongado, posiblemente al ofrecer la fibra junto al concentrado en una DTM se minimizarían las variaciones en la tasa de producción de los ácidos y en consecuencia el pH ruminal no fue un problema. Los grupos DPM en el presente experimento consumieron hasta la semana 6 un tipo de pastura calificada como de calidad media-baja (festuca, 27% de MS, 9,3% PC, 64% FDN, 33,5% FDA). A partir de la semana 8 se mejoró la calidad de la pastura ofrecida (avena-raigrás, 16,2% MS, 16,3% PC, 48,4% FDN y 24,7% FDA), donde pudo suceder la situación de mayor consumo de fibra de alta calidad y bajos pH; seguramente al combinarlo con el DTM no hubo alteraciones a nivel ruminal. Clark y Kanneganti (1998) describen a pasturas templadas de alta calidad en valores entre 18 a 24% de MS, 18 a 25% PC, 40 a 50% FDN y 1,53 a 1,67 Mcal/kg MS de ENL.

Los resultados obtenidos en concentración de grasa por Fajardo (2013) difieren del señalado en este experimento, con una caída en el contenido de grasa del tratamiento 100% DTM, que a pesar de que produjo más leche no dio diferencias en la cantidad de grasa producida con los tratamientos DPM. La diferencia entre Fajardo (2013) y este experimento se basa en el porcentaje de FDN de la dieta, ya que los valores para el tratamiento 100% DTM fueron inferiores a la de los tratamientos DPM (22,3% vs. 31%), mientras que en el presente trabajo las dietas no sólo presentaron valores superiores al 30% (Cuadro 2), sino que también se respetaron los valores adecuados de fibra efectiva, el tamaño de partícula mayor a 0,6 a 0,8 cm y la adecuada relación forraje-concentrado, permitiendo mantener los niveles de grasa por litro del tratamiento DTM (Sutton, 1989).

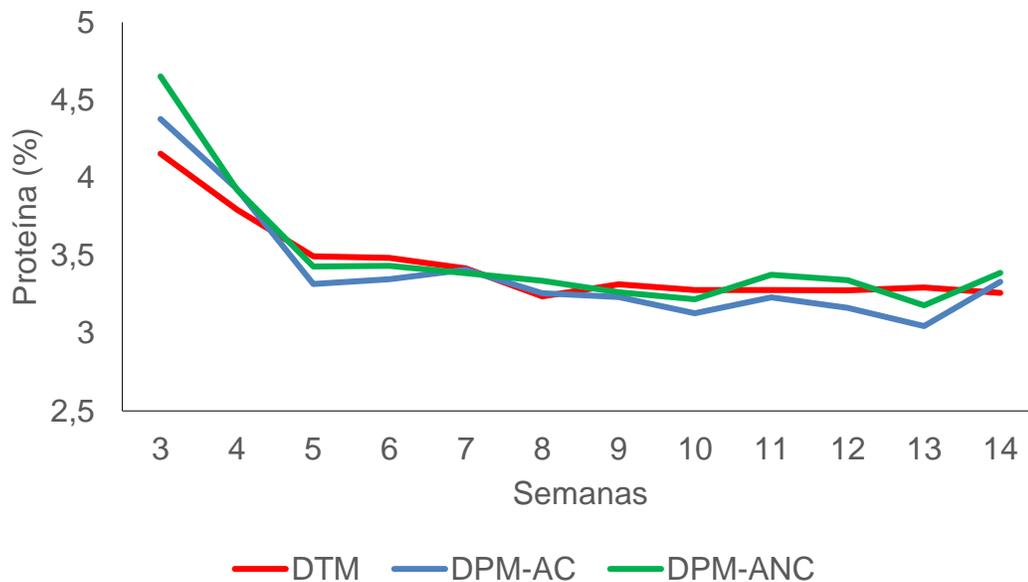


Figura 8. Evolución de la concentración de proteína en leche (%) de los tratamientos DTM (100% DTM), DPM-AC (pastoreo+DPM en establo con ambiente controlado) y DPM-ANC (pastoreo+DPM en encierro a cielo abierto, ambiente no controlado)

En cuanto a la concentración inicial de proteína y su posterior descenso, está explicado por la removilización corporal de proteína en las primeras 4-5 semanas (Sutton, 1989).

La interacción tratamiento x semana para la concentración está dado por el comportamiento diferencial del tratamiento DPM-AC, donde la concentración de proteína cae. La cantidad producida también presenta interacción tratamiento x semana, explicado por variaciones en la producción de leche.

El porcentaje de proteína no presentó diferencias entre tratamientos, pero sí la cantidad (kg/d) para el tratamiento DTM, posiblemente por el mayor consumo de energía y la mayor producción de leche, similar a lo obtenido por otros autores (Bargo et al. 2002, Fajardo 2013, Guigou et al. 2014, Mendoza et al. 2016). Sin embargo, los valores de concentración obtenidos fueron superiores a los de estos autores, exceptuando a Fajardo (2013).

Teniendo en cuenta que la energía es el factor determinante en el nivel de proteína, se analizó como punto en común entre Fajardo (2013) y este experimento el elevado consumo de energía por parte de los animales, siendo para DTM 43,7 en Fajardo (2013) y 47,1 Mcal/d en este experimento, y en DPM 33,6 y 33,7 Mcal/d (6h pastoreo, 9h pastoreo respectivamente) en Fajardo (2013)

y 35,94 Mcal/d para este experimento. Se evidencia la importancia del consumo de energía para lograr altas concentraciones de proteína, que acompañado de una mayor producción de leche se tradujo en mayores cantidades de sólidos producidos. Esto se debe a que a nivel ruminal la mayor energía disponible para la síntesis proteica microbiana dará como resultado mayor aporte de proteína metabolizable y sustratos glucogénicos. Mientras el rumiante tenga fuentes de glucosa (C3 o almidones sobrepasantes), no utilizará aminoácidos para este fin y los utilizará para la síntesis proteica (Manterola, 2007).

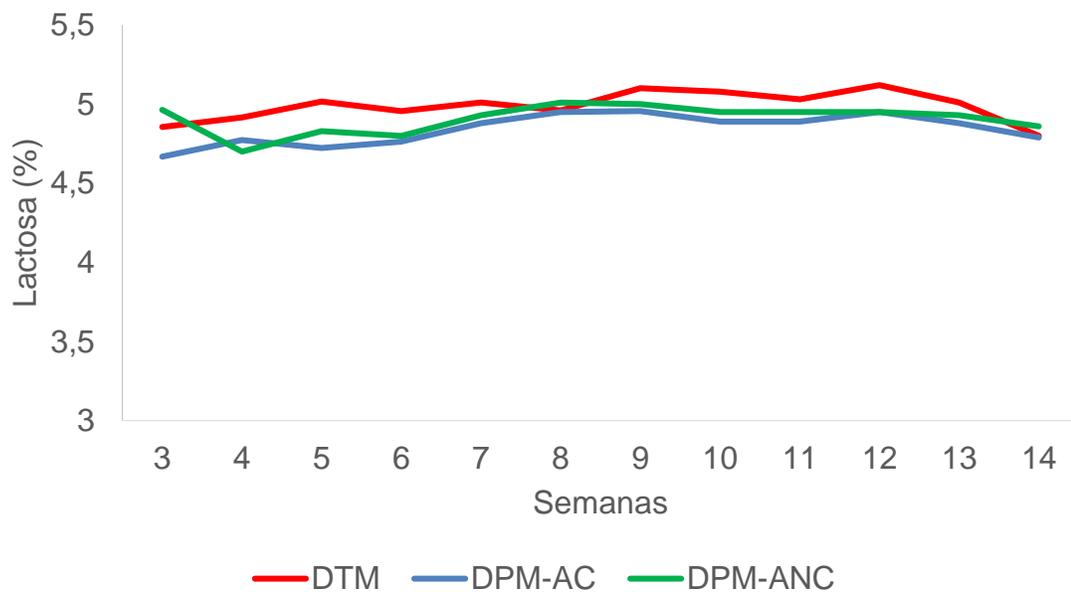


Figura 9. Concentración de lactosa (%) de los tratamientos DTM (100% DTM), DPM-AC (pastoreo+DPM en establo con ambiente controlado) y DPM-ANC (pastoreo+DPM en encierro a cielo abierto, ambiente no controlado)

La lactosa es el principal agente osmolar de la leche y su concentración tiende a ser relativamente independiente de la dieta, por lo que acompaña a los volúmenes de leche producidos. Ante un aumento en la concentración se genera un aumento inmediato de la producción de leche, por lo que se espera que se mantenga estable (Manterola, 2007). En este caso la concentración de lactosa tuvo variaciones, pero acompañó el comportamiento de la curva de producción. Los valores obtenidos en este experimento son similares a los de la bibliografía consultada, manteniéndose en un rango de 4,7 a 5,1 % (Adrien 2006, Mendoza et al. 2016).

Existieron diferencias entre el tratamiento DTM y DPM-AC, mientras que DPM-ANC logró valores intermedios sin diferencias con los otros dos tratamientos. Estas diferencias podrían deberse al mayor consumo energético

de los animales DTM, ya que para la síntesis de lactosa se utiliza entre el 50% y 85% de la glucosa captada por la glándula mamaria (Mendoza, 2010).

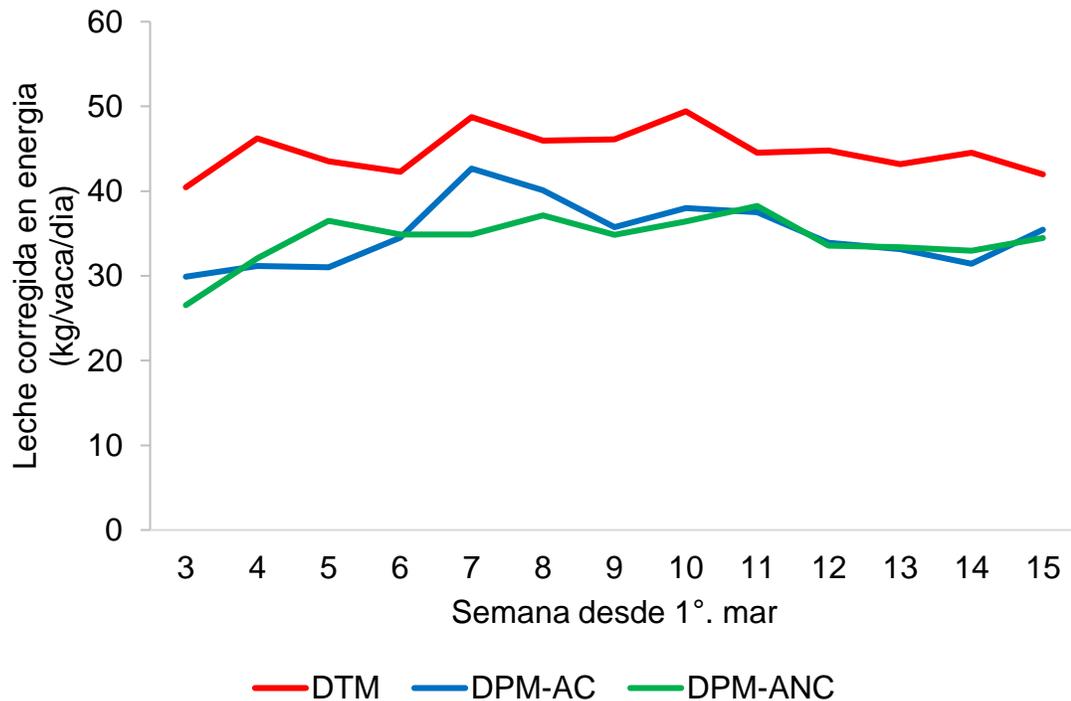


Figura 10. Leche corregida en energía (kg/vaca/día) de los tratamientos 100% Dieta total mezclada (DTM), pastoreo+DPM en establo con ambiente controlado (DPM-AC) y pastoreo+DPM en encierro a cielo abierto (DPM-ANC)

La diferencia en producción de leche entre el tratamiento DTM vs. los tratamientos DPM se vio reflejada en mayor energía en leche, dando como resultado curvas similares a las de producción de leche. A partir de esto se puede apreciar que la variable determinante en las diferencias de leche corregida en energía (LCE) es la cantidad de leche producida, ya que las concentraciones de sólidos se mantuvieron constantes y sin diferencias para los tratamientos. En cuanto a la semana 7, la mayor concentración de grasa y mayor producción de leche para el tratamiento DPM-AC se tradujo en un aumento en la cantidad de LCE.

4.4 CONDICIÓN CORPORAL

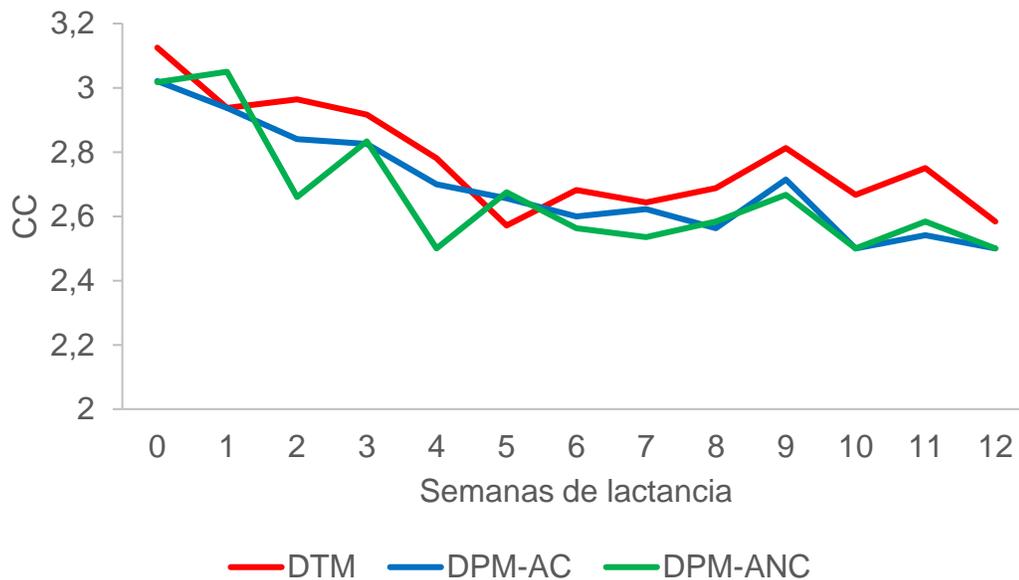


Figura 11. Evolución de la condición corporal de los tratamientos DTM (100% DTM), DPM-AC (pastoreo+DPM en establo con ambiente controlado) y DPM-ANC (pastoreo+DPM en encierro a cielo abierto, ambiente no controlado)

Los tratamientos no presentaron diferencias significativas en la CC, excepto en la semana 2, siendo diferentes los tratamientos DTM y DPM-ANC, mientras que DPM-AC obtuvo valores intermedios (2,9, 2,7 y 2,8 respectivamente). Además, existió efecto semana de lactancia, evidenciando las variaciones en la CC a lo largo de la lactancia.

Como se puede observar en la Figura 13, los tratamientos DPM-AC y DPM-ANC mayor disminución de CC en las primeras semanas, sobre todo en las primeras 5, mientras que el tratamiento DTM disminuyó lentamente hasta esa misma semana. Esto se debe a que en las primeras 3, 4 semanas post parto hay pérdidas de CC debido a la movilización de reservas sin importar el manejo en la alimentación, impidiendo satisfacer las elevadas demandas nutricionales debido a que el consumo está reducido. Los menores valores de los tratamientos DPM-AC y DPM-ANC durante estas primeras semanas pueden haberse dado por el mayor costo energético de caminata y pastoreo en comparación con DTM, lo que llevó a un balance energético más negativo.

La energía consumida por las vacas está particionada entre los distintos eventos fisiológicos siguiendo un orden de prioridades, primero el mantenimiento,

segundo la gestación, luego la producción de leche y por último el crecimiento (Bauman y Currie, 1980). En base a esto, aunque los animales DTM consumieron más energía, no presentaron diferencias en CC con los tratamientos DPM-AC y DPM-ANC, pero sí en producción de leche.

Fajardo (2013) encontró diferencias significativas a los 60 días post parto entre los tratamientos DTM y 9h pastoreo+DPM, mientras que 6h pastoreo+DPM no fue diferente con valores intermedios. Bargo et al. (2002) también obtuvieron resultados similares, siendo la CC del tratamiento DTM significativamente mayor que en los tratamientos pastura+DPM y pastura+concentrado. Estos resultados fueron explicados por los autores por una mayor ingesta de energía a partir de un mayor consumo de MS, además de un menor costo energético de actividad por caminata y pastoreo. Esto determinó una mayor deposición de tejido graso de los animales DTM (NRC, 1989). A pesar de que en este experimento no existieron diferencias entre los tratamientos, los animales DTM lograron CC por encima de los tratamientos DPM, lo que podría estar explicado por mayor consumo de MS y por lo tanto de energía y menores costos energéticos.

5. CONCLUSIONES

La diferencia en el control del ambiente y la alimentación generó cambios en la producción de leche y sólidos, pero no en la concentración de grasa y proteína. Los animales DTM presentaron producciones significativamente superiores a los DPM debido a mayor consumo de MS y energía y al menor costo energético por actividad.

Los tratamientos DPM, aunque con distinto tipo de encierro, no presentaron diferencias en las variables medidas. Por lo que no se obtuvo efecto mediante el control ambiental durante el experimento.

La condición corporal final no dio diferencias entre tratamientos, el grupo DTM presentó una menor caída inicial y una recuperación más temprana en el tiempo, comparado con los tratamientos DPM.

6. RESUMEN

El objetivo de este experimento fue evaluar el efecto del control del ambiente y la alimentación sobre producción de leche (kg/d), composición (grasa, proteína y lactosa) y condición corporal de vacas lecheras Holando (n=36) multíparas de parición otoñal durante los primeros 90 días de lactancia (marzo, abril y mayo) con un peso vivo (PV) promedio de 653 ± 191 kg. El trabajo de campo se llevó a cabo en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni (EEMAC), UdelaR. Facultad de Agronomía, ubicada en el km 363 de la ruta nacional No. 3 en el departamento de Paysandú. El experimento fue un diseño completamente al azar, cada tratamiento contaba con 3 repeticiones en corrales de 4 animales (unidad experimental fue la vaca). Los tratamientos fueron DTM (100% dieta total mezclada: ensilaje de maíz y raigrás, heno de moha y concentrado, con encierro en establo), DPM-AC (50% DTM+pastura con encierro en establo) y DPM-ANC (50% DTM+pastura con encierro a cielo abierto). El encierro en establo constaba de corrales con agua *ad libitum*, cama caliente, ventilación y aspersion, mientras que el encierro a cielo abierto era sobre piso de tierra, sombra y agua *ad libitum*. Las pasturas ofrecidas fueron pradera de festuca pura, festuca-lotus o avena-raigrás. El tratamiento DTM-AC presentó mayor producción de leche comparado a DPM-AC y DPM-ANC (42,0 vs. 33,5 y 32,6 kg/d respectivamente, $P < 0,05$). Las concentraciones (%) de grasa y proteína no presentaron diferencias entre tratamientos, pero la cantidad producida fue mayor en DTM-AC respecto de DPM-AC y DPM-ANC (grasa de 1,69 vs. 1,39 y 1,29 kg/d, $P < 0,05$; proteína de 1,45 vs. 1,13 y 1,14 kg/d, $P < 0,05$). La concentración (%) de lactosa presentó diferencias entre DTM-AC y DPM-AC, con valores intermedios para DPM-ANC (4,99, 4,84 y 4,91%, $P < 0,05$), y en cuanto a la cantidad, DTM fue superior (2,12 vs. 1,63 y 1,60 kg/d, $P < 0,05$). La condición corporal no fue significativamente diferente entre los tratamientos. El clima para el período estudiado no afectó la producción, adjudicando las diferencias entre tratamientos a los distintos manejos de alimentación utilizados. La superioridad del tratamiento DTM-AC sobre DPM-AC y DPM-ANC se debió a un mayor consumo de materia seca y de energía, como también menores requerimientos de energía asociados a caminata y cosecha de forraje.

Palabras clave: DTM; DPM; Pastura; Oferta; Consumo; Producción de leche; Grasa; Proteína; Lactosa; Condición corporal.

7. SUMMARY

The aim of this experiment was to evaluate the environmental and feeding system effect over milk production (kg/d), composition (fat, protein and lactose) and body condition score of multiparous Holstein dairy cows (n=36) of fall calving in the first 90 days in milk (March, April, May) with a body weight (BW) of 653 ± 191 kg. The experiment took place in Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni (EEMAC), UdelaR. Facultad de Agronomía, km 363 of national route No. 3 in Paysandú. The experiment was a complete randomized block design, each treatment included 3 repetitions of 4 animals and the experimental unit was the cow. The treatments were TMR (100% total mixed ration: corn and ryegrass silage, millet hay and concentrate, confined in a barn), PMR-CE (50% TMR+pasture, confined in a barn with controlled environment) and PMR-UE (50% TMR+pasture, open-air confinement, uncontrolled environment). The pens in the barn had *ad libitum* water, compost bedded pack, sprinkling and forced ventilation, meanwhile the open-air pens were on ground floor, *ad libitum* water and shade. The pastures offered were fescue, fescue-lotus oro at-ryegrass. The TMR treatment showed higher milk production than PMR-EC and PMR-UP (42,0 vs. 33,5 y 32,6 kg/d respectively, $P < 0,05$). Fat and protein concentration was not different between treatments. TMR fat and protein production were higher than PMR-CE PMR-UE (1,69 vs. 1,39 y 1,29 kg/d, $P < 0,05$ of fat and 1,45 vs. 1,13 y 1,14 kg/d, $P < 0,05$ of protein). Lactose concentration was higher for TMR than PMR-CE, while PMR-UE was intermediate between both treatments (4,99, 4,84 y 4,91%, $P < 0,05$ respectively), the production was higher for TMR than the other treatments (2,12 vs. 1,63 kg/d, $P < 0,05$). The body condition score did not differ between treatments. Weather conditions during the studied period did not affect the production, so the differences between treatments are due to the feeding systems. The superiority on the production of TMR is because of the higher dry matter intake and energy intake as well as the lower energy requirements associated to the walking and forage harvesting.

Key words: TMR; PMR; Pasture; Allowance; Intake; Milk production; Fat; Protein; Lactose; Body condition score.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Adrien, L. 2006. Efecto de las cantidades crecientes de forraje sobre la performance productiva y reproductiva en vacas lecheras en condiciones pastoriles. Tesis Dr. en Ciencias Veterinarias. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Veterinaria. 41 p.
2. Aguerre, M.; Méndez, M.; Torterolo, S.; Chilbroste, P. 2018. Dimensionamiento y característica de la infraestructura en sistemas lecheros comerciales 1: animales en lactancia. In: Congreso de la Asociación Uruguaya de Producción Animal (4º., 2018, Tacuarembó). Resúmenes. Tacuarembó, AUPA. p. 169.
3. Arcos, A. 2008. Estudio de la incidencia de algunos factores ambientales relevantes para la producción de leche. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 59 p.
4. Armstrong, D. V. 1994. Heat stress interaction with shade and cooling. *Journal of Dairy Science*. 77:2044-2050.
5. Astigarraga, L. 2003. El manejo de la alimentación como herramienta para modificar la composición química de la leche. In: Cabrera, M. C.; Astigarraga, L.; Saadoun, A. eds. Calidad de alimentos y calidad de productos de origen animal. Montevideo, Universidad de la República. pp. 135-150.
6. _____; Blanco, A.; Mello, R.; de Torres, E.; Rovere, G. 2012. Obtención de leche de calidad: el manejo de la alimentación para modificar la composición química de la leche. (en línea). In: Curso de Producción Lechera 4º. año (2012, Canelones). Textos. Canelones, Universidad de la República. Facultad de Agronomía. CRS. 54 diapositivas. Consultado 7 ago. 2020. Disponible en http://prodanimal.fagro.edu.uy/cursos/ensegrado_4_prodlechera.html
7. Bargo, F.; Muller, L. D.; Varga, G. A.; Delahoy, J. E.; Cassidy, T. W. 2002. Ruminal digestion and fermentation of high-producing dairy cows with three different feeding systems combining pasture and total mixed rations. *Journal of Dairy Science* 85(11):2964-2973.

8. Baudracco, J.; López Villalobos, N.; Holmes, C. W.; MacDonald, K. A. 2010. Prediction of herbage dry matter for dairy cows grazing ryegrass-based pastures. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*. 70:80-85.
9. 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(9):1514-1529.
10. Bianca, W. 1968. Thermoregulation. *In*: Hafez, E. S. ed. *Adaptation of domestic animals*. Philadelphia, Lea & Febiger. pp. 97-118.
11. Bouraqui, R.; Lahmar, M.; Majdoub, A.; Djemali, M.; Belyea, R. 2002. The relationship of temperatura-humidity index with production of dairy cows in mediterraneum climate. *Animal Research*. 51:479-491.
12. Bretschneider, G.; Salado, E. 2010. *Sistemas confinados vs. pastoriles: ventajas y desventajas*. Santa Fe, Argentina, INTA. s.p.
13. Cajarville, C.; Mendoza, A.; Santana, A.; Repetto, J. L. 2012. En tiempos de intensificación productiva... ¿Cuánto avanzamos en el conocimiento de los nuevos sistemas de alimentación de la vaca lechera? *Veterinaria (Montevideo)*. 48:35-39.
14. Chilibroste, P.; Mattiauda, D.; Favre, E.; Elizondo, F.; Bruni, M. A. 2001. Explotación del potencial animal en sistemas lecheros: el caso de la parición de otoño. *Cangüé*. no. 21:6-10.
15. _____; Naya, H.; Urioste, J. I. 2002. Evaluación cuantitativa de curvas de lactancia de vacas Holando en Uruguay. Implicancias biológicas de las curvas de producción multifásica. *Revista Argentina de Producción Animal*. 22 (supl.1):358-359.
16. _____; Mattiauda, D.; Elizondo, F.; Coster, A. 2004. Herbage allowance and grazing session allocation of dairy cows: effects on milk production and composition. (en línea). *In*: *International Symposium on Grassland and Ecophysiology and Grazing Ecology (2nd, 2004, Curitiba)*. *Proceedings*. Curitiba, Brazil, Universidad de Paraná. pp. 01-04. Consultado 20 feb. 2020. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/290795992_Herbageallo

[wance and grazing session allocation in dairy cows Effect on milk production and composition](#)

17. _____; Gibb, M.; Tamminga, S. 2005. Pasture characteristics and animal performance. *In*: Dijkstra, J.; Forbes, J.; France, J. eds. Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism. Wallingford, UK, CABI. pp. 681-706.
18. _____; Soca, P.; Mattiauda, D. 2011. Balance entre oferta y demanda de nutrientes en sistemas pastoriles de producción de leche: potencial de intervención al inicio de la lactancia. *In*: Congreso Latinoamericano de Buiatría (15^o), Jornadas Uruguayas de Buiatría (39^{as}, 2011, Paysandú). Trabajos presentados. Paysandú, CMVP. pp. 91-96.
19. _____. 2012. Estrategias de alimentación en sistemas de producción de leche de base pastoril. Cangüé. no. 32:2-8.
20. _____.; Battezzatore, G. 2014. Proyecto producción competitiva. Montevideo, CONAPROLE. 31 p.
21. _____.; _____. 2019. Proyecto producción competitiva. Montevideo, CONAPROLE. 31 p.
22. Clark, D. A.; Kanneganti, V. R. 1998. Grazing management systems for dairy cattle. *In*: Cherney, J. H.; Cherney, D. J. R. eds. Grass for dairy Cattle. Wallingford, UK, CABI. pp. 311-334.
23. Coulon, J. B.; Hurtaud, C.; Remond, B.; Verite, R. 1998. Factors contributing to variation in the proportion of casein in cows milk true protein: a review of recent INRA experiments. *Journal of Dairy Resource*. 65:375-387.
24. De la Quintana, E.; Garmendia, M. E.; Mutuberra, E. 2012. Variación en la producción y composición de la leche en vacas en confinamiento con inclusión de pasturas. Tesis Dr. en Ciencias Veterinarias. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Veterinaria. 32 p.
25. Dillon, P. 2006. Achieving high dry-matter intake from pasture with grazing dairy cows. *In*: Elgersma, A.; Dijkstra J.; Tamminga, S. eds. Fresh herbage for dairy cattle. Wageningen, Springer. pp. 1-26.

26. du Preez, J. H.; Giesecke, W. H.; Hattingh, P. J. 1990. Heat stress in dairy cattle and other livestock under southern african conditions: temperature- humidity index mean values during the four main seasons. Onderstepoort Journal of Veterinary Research. 57:77-86.
27. Durán, H.; Alles, G.; La Manna, A.; Ravagnolo, O.; López-Villalobos, N. 2009. Modelo de simulación de tambos 2: partición de la energía en la vaca. Revista Argentina de Producción de Animal. 29 (supl. 1):377-378.
28. Edmonson, A. J.; Lean, I. J.; Weaver, L. D.; Farver, T.; Webster, G. 1989. A body condition scoring chart for holstein dairy cows. Journal of Dairy Science. 72:68-78.
29. Fajardo, M. 2013. Integración de pastura y dietas totalmente mezcladas en la alimentación de vacas holando a inicio de lactancia. Tesis MSc. en Ciencias Agrarias. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 56 p.
30. Fariña, S. R.; Chilbroste, P. 2019. Opportunities and challenges for the growth of milk production from pasture: the case of farm systems in Uruguay. (en línea). Agricultural Systems. 176:s.p. Consultado 6 ago. 2020. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.05.001>
31. Frossasco, G.; García, F.; Odorizzi, A.; Ferrer Martínez, J.; Brunetti, M. A.; Echevarría, A. 2015. Evaluación de distintos sistemas intensivos. (en línea). Córdoba, INTA. 10 p. Consultado abr. 2020. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_evaluacion_de_distintos_sistemas_lecheros_intensivos.pdf
32. Gallardo, M. R.; Onetti, S. G.; Castillo, A. R.; Nari, J. O. 1996. Proteína en leche y su relación con el manejo nutricional. Rafaela, INTA. 23 p. (Informe técnico no. 56).
33. _____; Valtorta, S. 2004. Estrategias de manejo nutricional y ambiental, para el verano 2004. (en línea). Balcarce, INTA. 15 p. Consultado may. 2020. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-estrategias_de_manejo_nutricional_y_ambiental_en_vera.pdf

34. _____. 2006. Alimentación y composición química de la leche. (en línea). Rafaela, INTA. 10 p. Consultado may. 2020. Disponible en www.produccion-animal.com.ar/produccion_bovina_de_leche/leche_subproductos/12-alimentacion_y_composicion_leche.pdf
35. García, A.; Hippen, A. 2008. Alimentación de las vacas lecheras para condición corporal. (en línea). Brookings, SDSU. s.p. Consultado mar. 2020. Disponible en https://openprairie.sdstate.edu/extension_extra/543/
36. García, S. C.; 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*. 42:347-362.
37. García Paloma, J. A. 1990. El método de la condición corporal en vacunos lecheros: propuesta de una metodología unificadora. *Investigación Agraria: Producción y Sanidad Animales*. 5:121-129.
38. Garnsworthy, P. C.; Topps, J. H. 1982. The effect of body condition of dairy cows at calving on their food intake and performance when given complete diets. *Animal Production*. 35:113-119.
39. Gill, M. 1979. The principles and practice of feeding ruminants on complete diets. *Grass and Forage Science*. 34:155-161.
40. Grainger, C.; Wilhelms, G. D.; McGowan, A. A. 1982. Effect of body condition at calving and level of feeding in early lactation on milk production of dairy cows. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 22:9-17.
41. Guigou, E. R.; Errecarte, E.; Santana, A. A. 2014. Producción de leche y sólidos lácteos: alternativas de manejo de la alimentación. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 111 p.
42. INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, UY). Previsión ITH lechería. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado mar. 2020. Disponible en <http://www.inia.uy/gras/Alertas-y-herramientas/Prevision-ITH-Vacunos/Prevision-ITH-lecheria>
43. INUMET (Instituto Uruguayo de Meteorología, UY). Estadísticas climatológicas. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado feb. 2020.

Disponible en <https://www.inumet.gub.uy/clima/estadisticas-climatologicas>

44. Johnson, H. D.; Kibler, H. H.; Ragsdale, A. C.; Berry, I. L.; Shanklin, M. D. 1961. Role of heat tolerance and production level in responses of lactating Holsteins to various temperature-humidity conditions. *Journal of Dairy Science*. 44:1191.
45. Kolver, E. S.; Muller, L. D. 1998. Performance and nutrient intake of high producing holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. *Journal of Dairy Science*. 81(5):1403-1411.
46. _____. 2003. Nutritional limitations to increased production on pasture-based systems. *Proceedings of the Nutrition Society*. 62: 291-300.
47. Krall, E.; Bonnacarrere, L.; Favre, E.; Viegas, J. 2007. Efecto de la condición corporal al parto en la producción de leche. *Veterinaria*. 42 (165-166):15-22.
48. Lammers, B. P.; Heinrichs, A. J.; Ishler, V. A. 2002. Uso de ración total mezclada (TMR) para vacas lecheras. (en línea). Pennsylvania, Universidad Estatal de Pennsylvania. Departamento de Ciencias Animales. 10 p. Consultado ene. 2020. Disponible en http://www.martinezystaneck.com.ar/upload/publicacion/USO_DE_RACION_TOTAL_MEZCLAD.PDF.
49. Manterola, H. 2007. Manejo nutricional y composición de la leche. El desafío de incrementar los sólidos totales en leche. (en línea). Santiago de Chile, Universidad de Chile. 17 p. Consultado abr. 2020. Disponible en <http://www.uchile.cl/>.
50. Mendina, G. 2017. Efecto de la estrategia de alimentación durante los primeros 180 días post parto sobre el metabolismo y parámetros reproductivos en vacas lecheras. Tesis Dr. en Ciencias Veterinarias. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Veterinaria. 40 p.
51. Mendoza, A. 2010. Manipulación de la composición de la leche a través de la alimentación. In: Simposio de Claves para el Manejo Nutricional de las Vacas de Alto Potencial (2010, Colonia). Trabajos presentados. Montevideo, Facultad de Veterinaria. pp. 29-58.

52. _____; Cajarville, C.; Santana, A.; Repetto, J. L. 2011. ¿Hacia una nueva forma de pensar la alimentación de las vacas lecheras?: la inserción del confinamiento en los sistemas pastoriles de producción de leche. In: Congreso Latinoamericano de Buiatría (15°.), Jornadas Uruguayas de Buiatría (39^{as.}, 2011, Paysandú). Trabajos presentados. Paysandú, CMVP. pp. 1-28.
53. _____; _____; Repetto, J. L. 2016. Intake, milk production, and milk fatty acid profile of dairy cows fed diets combining fresh forage with a total mixed ration. *Journal of Dairy Science*. 99(3):1938-1944.
54. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2016. Estadísticas del sector lácteo 2014. Montevideo. 50 p. (Serie Trabajos Especiales no. 332).
55. _____. _____. 2019. Anuario estadístico agropecuario 2019. Montevideo. 255 p.
56. Morales, T.; Cavestany, D.; Mendoza, A.; La Manna, A.; Pla, M.; Román, L. 2013. Condición corporal: uniformizando criterios. *Revista INIA*. no. 32:22-24.
57. Nielsen, M. O.; Jakobsen, K. 1994. Changes in mammary uptake of free fatty acids, triglyceride, cholesterol and phospholipid in relation to milk synthesis during lactation in goats. *Comparative Biochemistry and Physiology*. 109(4):857-867.
58. Nienaber, J. A.; Hahn, G. L.; Brown-Brandl, T. M.; Eingenberg, R. A. 2003. Heat stress climatic conditions and the physiological responses of cattle. In: International Dairy Housing Conference (5^{th.}, 2003, Texas) Proceedings. Texas, ASAE. pp. 255-262.
59. NRC (National Research Council, US). 1981. Effect of environment on nutrient requirement of domestic animals. Washington, D. C., National Academies Press. 168 p.
60. _____. 1989. Nutrient requirements of dairy cattle. 6^{th.} rev. ed. Washington, D. C., National Academies Press. 168 p.
61. _____. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7^{th.} rev. ed. Washington, D. C., National Academies Press. 381 p.

62. Ravagnolo, O.; Misztal, I.; Hoogenboom, G. 2000. Genetic component of heat stress in dairy cattle, development of heat index function. *Journal of Dairy Science*. 83(9):2120-2125.
63. Re, H. 2012. Respuestas productivas y salud relacionadas con el confort animal (barro y calor) y nutrición en rodeos lecheros. *In: Jornadas Uruguayas de Buiatría (40^{as.}, 2013, Paysandú). Trabajos presentados. Paysandú, CMVP. pp. 56-61.*
64. Rearte, D.H. 1992. Alimentación y composición de la leche en los sistemas pastoriles. Balcarce, INTA. EEA. CERBAS. 94 p.
65. Roche, J. R.; Friggens, N. C.; Kay, J. K.; Fisher, M. W.; Stafford, K. J.; Berry, D. P. 2009. Body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and welfare. *Journal of Dairy Science*. 92(12):5769-5801.
66. Salado, E. 2012. Estrategias de alimentación en sistemas lecheros: comparación de sistemas confinados vs. pastoriles. (en línea). *In: Congreso Panamericano de la Leche (12^{o.}, 2012, Asunción, Paraguay). Trabajos presentados. Asunción, FEPAL. s.p. Consultado ene. 2020. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/281116569_Estrategias_de_alimentacion_en_sistemas_lecheros_comparacion_de_sistemas_confinados_vs._pastoriles12_Congreso_Panamericano_de_la_Leche_Asuncion_Paraguay*
67. _____; Bretschneider, G; Cuatrin, A.; Descalzo A.; Gagliostro, G. 2018. Productive response of dairy cows fed with different levels of totally mixed ration and pasture (en línea). *Agricultural Sciences*. 9(7):824-851. Consultado 10 ago. 2020. Disponible en https://www.scirp.org/pdf/AS_2018072318444705.pdf
68. _____; Maciel, M.; Bretschneider, G.; Cuatrin, A.; Gagliostro, G. 2020. Productive response and reproductive performance of dairy cows subjected to different feeding systems (en línea). *Open Journal of Animal Science*. 10(1):10-32. Consultado 10 ago. 2020. Disponible en doi: 10.4236/ojas.2020.101002.
69. Saravia, C.; Astigarraga, L.; Van Lier, E.; Bentancur, O. 2011. Impacto de las olas de calor en vacas lecheras en Salto (Uruguay). *Agrociencia (Uruguay)*. 15(1):93-101.

70. Short, S. 2004. Characteristics and production costs of U.S. dairy operations. (en línea). United States Department of Agriculture. Statistical Bulletin no. 974-6. 18 p. Consultado jul. 2020. Disponible en <https://naldc.nal.usda.gov/download/34803/PDF>
71. Soriano, F. D.; Polan, C. E.; Miller, C. N. 2001. Supplementing pasture to lactating Holsteins fed a total mixed ration diet. *Journal of Dairy Science*. 84(11):2460-2468.
72. Sutton, J. D. 1989. Altering milk composition by feeding. *Journal of Dairy Science*. 72(10):2801-2814.
73. Tamminga, S.; Luteijn, P. A.; Meijer, R. G. M. 1997. Changes in composition and energy content of liveweight loss in dairy cows with time after parturition. *Livestock Production Science*. 52(1):31-38.
74. Thom, E. C. 1959. The discomfort index. *Weatherwise*. 12:57-59.
75. Tyrrell, H.; Reid, R. 1965. Prediction of the energy value of cow's milk. *Journal of Dairy Science*. 48(9):1215-1223.
76. Van Lier, E.; Regueiro, M. 2008. Digestión en retículo-rumen. Montevideo, Facultad de Agronomía. 28 p.
77. Wattiaux, M. A.; Armentano, L. E. 2005. Metabolismo de los carbohidratos en las vacas lecheras. (en línea). Madison, Universidad de Wisconsin-Madison. pp. 9-12. Consultado jul. 2020. Disponible en <https://kb.wisc.edu/images/group226/52749/1-7/3Metabolismodecarbohidratosenlasvacaslecheras.pdf>
78. West, J. W. 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 86(6):2131-2144.
79. White, S. L.; Benson, G. A.; Washburn, S. P.; Greer, J. T Jr. 2002. Milk production and economic measures in confinement or pasture systems using seasonally calved holstein and jersey cows. *Journal of Dairy Science*. 85(1):95-104.
80. Woodford, J. A.; Jorgensen, N. A.; Barrington, G. P. 1986. Impact of dietary fiber and physical form on performance of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 69(4):1035-1047.

81. Young, B. A.; Christopherson, R. J. 1974. Effect of prolonged cold exposure on digestion and metabolism in ruminants. *Canadian Journal of Animal Science*. 63(3):477-496.
82. _____.; Walker, B.; Dixon, A. E.; Walker, V. A. 1989. Physiological adaptation to the environment. *Journal of Animal Science*. 67(9):2426-2432.
83. Zimbelman, R. B.; Rhoads, R. P.; Baumgard, L. H.; Collier, R. J. 2009. Revised temperature humidity index (THI) for high producing dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 92(1):347.