

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE VETERINARIA

**EFFECTO DE LA FUENTE DE CARBOHIDRATOS OFRECIDA EN EL PREPARTO
SOBRE EL CONSUMO DE NUTRIENTES Y LA CONCENTRACIÓN PLASMÁTICA
DE GLUCOSA Y UREA EN VACAS LECHERAS**

Por

BERTORA, Luciana
MELITÓN, Gustavo
OLIVERA, Nicolás

TESIS DE GRADO presentada como uno
de los requisitos para obtener el título de
Doctor en Ciencias Veterinarias
Orientación: Producción animal

MODALIDAD: ensayo experimental

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2014**

PÁGINA DE APROBACIÓN

Tesis de grado aprobada por:

Presidente de mesa:

Dra. Gretel Ruprechter

Segundo miembro (Tutor):

Ing. Agr. Alejandro Mendoza

Tercer miembro:

Ing. Agr. Ana Laura Astessiano

Cuarto miembro (Co-tutor):

DCV. Robert Wijma

Fecha:

Autores:

Br. Luciana Bertora

Autores:

Br. Gustavo Melitón

Autores:

Br. Nicolás Olivera

AGRADECIMIENTOS

A nuestro tutor Ing. Alejandro Mendoza y cotutor Dr. Robert Wijma por el apoyo brindado.

Al amigo Marcelo Pla con su ayuda en INIA “la Estanzuela”.

A toda la familia López en especial al “Lobo”.

A todo el personal de INIA “La Estanzuela” por su colaboración y ayuda para realizar esta tesis.

A la Facultad de Veterinaria, en especial a la Sección de Biblioteca por la colaboración en la búsqueda del material bibliográfico.

A nuestras familias por el cariño y apoyo incondicional que nos brindaron para llevar a cabo esta carrera y desarrollarnos como personas y profesionales.

A todos nuestros amigos y compañeros por el apoyo durante todos estos años.

A todos los bachilleres y amigos que colaboraron para llevar a cabo esta tesis.

TABLA DE CONTENIDO

| | Página |
|--|--------|
| • Página de aprobación | 1 |
| • AGRADECIMIENTOS..... | 2 |
| • RESUMEN..... | 5 |
| • SUMMARY..... | 6 |
| • 1. INTRODUCCIÓN..... | 7 |
| • 2. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA..... | 8 |
| 2.1 El período de transición en la vaca lechera..... | 8 |
| 2.2 Regulación del consumo en la vaca lechera..... | 10 |
| 2.3 Uso de glucosa y urea en sangre para evaluar el estado nutricional en rumiantes..... | 12 |
| 2.4 Manipulación de fuente de carbohidratos para facilitar la transición entre el fin de la gestación y el inicio de la lactancia en la vaca lechera. | 13 |
| • 3. HIPÓTESIS..... | 15 |
| • 4. OBJETIVOS..... | 16 |
| • 5. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 17 |
| ○ Animales y diseño experimental..... | 17 |
| ○ Mediciones..... | 18 |
| ○ Análisis estadísticos..... | 19 |
| • 6.RESULTADOS..... | 20 |
| 6.1 Consumo de nutrientes..... | 20 |
| 6.2 Metabolitos en sangre: Urea y glucosa..... | 23 |
| • 7. DISCUSIÓN..... | 25 |
| • 8. CONCLUSIÓN..... | 28 |
| • 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 29 |

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

| | Página |
|--|--------|
| • Cuadro 1. Composición química de las raciones totalmente mezcladas (RTM) ofrecidas en el parto y posparto..... | 20 |
| • Cuadro 2. Composición química de los alimentos utilizados..... | 20 |
| • Cuadro 3. Producción y composición de leche..... | 23 |
| • Cuadro 4. Consumo diario de nutrientes en el parto..... | 25 |
| • Cuadro 5. Consumo diario de nutrientes en el posparto..... | 26 |
| • Cuadro 6. Evolución en el consumo de MS, ENL, CNF, en cada tratamiento durante el parto..... | 26 |
| • Cuadro 7. Concentración de urea y glucosa en sangre durante el Parto..... | 27 |
| • Cuadro 8. Concentración de urea y glucosa en sangre durante el posparto..... | 27 |
| • Figura 1. Evolución del PV promedio durante el período de transición.. | 22 |
| • Figura 2. Evolución de la CC promedio durante el período de Transición..... | 22 |
| • Figura 3. Dinámica de la concentración de glucosa (mM) en sangre durante el período de transición..... | 28 |
| • Figura 4. Dinámica de la concentración de la urea (mM) en sangre durante el posparto..... | 28 |

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la fuente de carbohidratos suministrada en la dieta preparto sobre el consumo de materia seca y la concentración plasmática de glucosa y urea en vacas lecheras. Para ello, se utilizaron 24 vacas multíparas de raza Holstein, las cuales fueron asignadas a dos tratamientos según un diseño de bloques completos al azar, durante las últimas tres semanas antes de la fecha esperada de parto. En cada tratamiento los animales recibieron individualmente una ración totalmente mezclada (RTM) a base de ensilaje de planta entera de maíz, harina de soja, sales minerales y urea. A una de las RTM (TMAIZ) se le incluyó grano de maíz seco y molido (rico en carbohidratos no fibrosos [CNF]), y a la otra (TSOJA) cáscara de soja (rica en carbohidratos fibrosos). Ambas RTM fueron formuladas para ser isoenergéticas e isoproteicas. Luego del parto las vacas se manejaron en un mismo lote y fueron alimentadas con pradera mezcla de gramíneas y leguminosas y una RTM estándar. El consumo de energía neta para lactancia (ENL) y proteína en el preparto no difirieron entre tratamientos, pero el consumo de CNF fue mayor, y el de fibra detergente neutro menor en TMAIZ respecto a TSOJA. En el posparto no se detectó un efecto del tratamiento sobre el consumo de nutrientes, pero sí hubo una interacción tratamiento por semana para consumo de materia seca, materia orgánica, CNF y ENL, donde se incrementaron entre la semana 1 y 2 posparto en TSOJA, mientras que en TMAIZ no variaron. La concentración sanguínea de metabolitos como glucosa y urea no fueron afectadas en el posparto, pero durante el preparto la concentración plasmática de urea fue mayor en TMAIZ y la glucosa plasmática tendió a aumentar hacia el parto en TMAIZ respecto a TSOJA. Se concluye que un mayor aporte de CNF no tuvo efectos marcados sobre el consumo de nutrientes ni sobre la concentración sanguínea de urea y glucosa en el período evaluado.

SUMMARY

The aim of this work was to assess the effect of the carbohydrate source in the diet provided prepartum on dry matter intake and plasma concentration of glucose and urea in milk cows. For this purpose, 24 multiparous Holstein cows were used, which were assigned to two treatments according to a randomized complete block design, which were applied for the last three weeks before the expected calving date. In each treatment animals were individually fed with a total mixed ration (TRM) based on whole plant silage corn, soybean meal, mineral salts and urea. Corn dry and ground grain (rich in non-fiber carbohydrates [NFC]) was added to one of the TRM (TMAIZ), while the other TRM (TSOJA) received soybean hull (rich in fibrous carbohydrates). Both TRM were formulated to offer the same amount of energy and protein. After calving, cows were handled as a single group and were fed with pastures mixed with grasses and legume, and a standard TMR. Net energy for lactation (NEL) and protein intake in the prepartum period did not differ between treatments, but intake of NFC intake was higher and from neutral detergent fiber consumption was lower in TMAIZ regarding TSOJA. It was not detected an effect of treatment on nutrient intake in the postpartum period, but there was an interaction in treatment per week on intake of dry matter, organic matter, NFC and NEL, which increased between week 1 and 2 postpartum in TSOJA, while there was no difference in TMAIZ. The blood concentration of metabolites such as glucose and urea were not affected in the postpartum period, but during prepartum the plasma concentration of urea was higher in TMAIZ and the plasma concentration of glucose tended to increase towards the parturition in TMAIZ regarding TSOJA. It is concluded that a greater contribution of NFC in the prepartum diet had no mayor effects on nutrient intake nor on blood concentration of urea and glucose during the experimental period.

1. INTRODUCCIÓN

El período de transición de la vaca lechera se define como la etapa comprendida entre 3 semanas antes a 3 semanas después del parto. En este período tienen lugar una serie de cambios de considerable importancia tanto por su naturaleza como por su magnitud, y que no son más que procesos de adaptación del sistema digestivo y del metabolismo a una nueva situación productiva. El fracaso en el proceso de adaptación resulta en una serie de alteraciones productivas y patológicas que se manifiestan como enfermedades del periparto, entre las que se incluyen la cetosis, el desplazamiento de abomaso, la retención de placenta, la mastitis, la reducción de la producción y los problemas reproductivos (Grummer, 1995).

Durante el período preparto se produce una disminución importante de la ingestión de materia seca. Esta disminución se inicia 3 semanas preparto y se hace más marcada en la semana previa al parto debido a múltiples factores, lo que genera un déficit en el aporte de los nutrientes que requiere la vaca. Si esta disminución del consumo es muy marcada u ocurre de forma muy anticipada, puede tener consecuencias negativas para la salud y la producción del animal (Grummer, 1995).

Algunos autores han propuesto que la inclusión de alimentos ricos en carbohidratos no fibrosos (**CNF**) en la dieta de vacas lecheras resultaría en una mayor producción de ácido propiónico a nivel ruminal, una mayor tasa de gluconeogénesis, un aumento de la secreción de insulina, lo que llevaría a una menor movilización de reservas corporales, con lo que se evitarían drásticos cambios en la condición corporal, en la capacidad de consumo, y sobre el balance energético (Polakova y col., 2010). Sin embargo, autores como Smith y col. (2005) alimentaron vacas lecheras con una dieta preparto con alto o bajo contenido de CNF y no observaron que el consumo de materia seca fuera distinto entre ambos tratamientos. Roche y col. (2010) también realizaron un estudio donde alimentaron a vacas lecheras con una dieta con alto o bajo contenido de CNF en el preparto, y si bien observaron menores concentraciones de urea en plasma y aumentos de la glicemia en vacas alimentadas con la dieta rica en CNF no reportaron efectos sobre el consumo o la producción de leche.

Por lo tanto, se plantea realizar un experimento con el fin de saber cuál sería el resultado de variar el aporte de CNF utilizando dos fuentes de carbohidratos diferentes en la dieta preparto, manteniendo en similares cantidades los demás nutrientes de la dieta, y analizar cómo afecta dicha alimentación el consumo y el perfil de metabolitos asociados al metabolismo energético y proteico de las vacas lecheras durante el período de transición.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. EL PERÍODO DE TRANSICIÓN EN LA VACA LECHERA.

El período de transición está comprendido entre 3 semanas antes y 3 semanas después del parto (final de gestación e inicio de lactancia) en la vaca lechera, . Durante el mismo ocurren grandes cambios en la fisiología y metabolismo del animal, que pueden tener un gran impacto sobre el desempeño productivo y reproductivo del animal, así como sobre su salud. Hay ciertos puntos críticos en el período de transición que son responsables directa o indirectamente de incidentes como ser la adaptación del sistema digestivo, el balance de nutrientes, la inmunosupresión y la ingestión de materia seca. Se destaca que muchos de los trastornos metabólicos que afectan a las vacas durante la transición están interrelacionados y se relacionan con la dieta suministrada durante el parto (Grummer, 1995).

La característica más importante del período de transición en el ganado lechero es el dramático cambio en las demandas de nutrientes que requieren de una cuidadosa coordinación del metabolismo para alcanzar los requerimientos de energía, glucosa, aminoácidos y calcio por la glándula mamaria luego del parto. Al cuarto día posparto se triplica la demanda de glucosa, se duplica la de aminoácidos, se quintuplica la de ácidos grasos y se triplica aproximadamente la demanda de calcio (Bell y Bauman, 1997; Goff y Horst, 1997).

La primera adaptación del metabolismo de la glucosa a la lactancia es el incremento de la gluconeogénesis hepática y la disminución de la oxidación de glucosa por los tejidos periféricos para así dirigir la glucosa a la glándula mamaria para la síntesis de lactosa (Bell y Bauman, 1997). Además, la movilización de reservas de grasa (lipólisis) para cubrir su demanda energética durante el período de balance energético negativo característico de la lactancia temprana.

Los cambios de raciones existentes entre el secado y el inicio de la nueva lactación son cuantitativa y cualitativamente importantes y existen dos procesos de adaptación que deben considerarse, la flora ruminal y el desarrollo de las papilas.

En primer lugar, la adaptación de la flora ruminal, en vaca seca es fundamentalmente celulolítica y durante la transición o al inicio de la lactación se incorporan en las raciones cantidades importantes de cereales (almidón), cuando esto sucede de forma brusca, las bacterias amilolíticas ruminales se desarrollan rápidamente (en 3-5 días), y producen grandes cantidades de ácido propiónico y láctico. En un rumen adaptado, las bacterias utilizadoras de ácido láctico lo metabolizan a otros compuestos menos ácidos. Sin embargo, el desarrollo de éste tipo de bacterias es lento necesita entre 3 y 4 semanas (Dirksen y col., 1995, citado por Overton y Waldron, 2004), por lo que se produce un período de riesgo de acumulación de ácido láctico, cuya causa es la combinación del desarrollo rápido de las bacterias productoras de ácido láctico y el desarrollo lento de las bacterias utilizadoras del ácido láctico (Calsamiglia, 2000).

En segundo lugar, hay una adaptación de la pared ruminal a la absorción de ácidos grasos volátiles (**AGV**), que si bien en condiciones normales se absorben con

relativa facilidad a través de la pared ruminal, no pueden absorberse a la velocidad adecuada debido a la reducción del tamaño de las papilas ruminales durante el periodo seco (hasta un 50% de reducción). Por eso debe haber un desarrollo de las papilas ruminales lo que depende fundamentalmente de la presencia del ácido propiónico. La disminución de la absorción de AGV provoca la acumulación excesiva de ácido propiónico y láctico en el rumen, favoreciendo el desarrollo de acidosis. Algunas estrategias de prevención se dirigen hacia las raciones de postparto las cuales deben tener concentraciones elevadas de energía, buena parte de la cual debe proceder de almidón fermentable (Overton y Waldron, 2004)

Con el objetivo de adaptar la flora ruminal a este tipo de raciones, se debería incorporar cereales en las raciones de preparto, ya que estimularán el desarrollo de las poblaciones de bacterias que utilizan el ácido láctico y permitirá que el propiónico producido estimule el desarrollo de las papilas ruminales. Esta adaptación reduciría el riesgo de acidosis y de desplazamientos de abomaso. La cantidad de cereales que debe incluirse deberá establecerse según el tipo de ración, pero cada vez parece más claro que la cantidad de carbohidratos no fibrosos (**CNF**) deberían acercarse al 35% de la ración, concentraciones bastante similares a las recomendadas en animales en lactación. Por último, cabe recordar que este tipo de adaptación requiere la administración de esta ración durante 3 o 4 semanas (Calsamiglia, 2000).

El balance energético es el resultado de la diferencia entre las necesidades del animal y los aportes alimentarios. Durante las 2-4 últimas semanas de gestación se produce un aumento sustancial de las necesidades energéticas debido al desarrollo fetal y a las necesidades de síntesis de calostro. Esta situación se acompaña de una disminución en la ingesta de materia seca fundamentalmente en la última semana de gestación. Estas dos circunstancias son, con frecuencia, responsables del desarrollo de un balance energético negativo que inicia unas semanas antes del parto (Butler, 2000).

El ganado vacuno tiene la capacidad de compensar los déficits alimentarios de energía a través de la movilización de grasa corporal. Sin embargo, un exceso de movilización de grasa conduce a problemas patológicos y reproductivos. El déficit energético conduce a una disminución de los niveles de glucosa e insulina en sangre que estimulan la movilización de grasa. Ésta resulta en un aumento en los ácidos grasos no esterificados (**AGNE**) en sangre que son utilizados por el hígado. Dichos ácidos grasos se utilizan como fuente de energía (oxidación), pero cuando la movilización de los AGNE es excesiva, se saturan las vías de metabolización y exportación de lípidos, y se generan vías hepáticas alternativas, entre las que la formación y exportación de cuerpos cetónicos, y la formación y almacenamiento hepático de triglicéridos son las más importantes (Grummer, 1995).

Como estrategia de manejo general se le presta atención al control del balance energético en este período, a través de aportar las cantidades adecuadas de energía ingerida buscando reducir la movilización de grasa en el periparto. La ingestión de energía depende de la ingestión de materia seca y de su concentración energética. Es posible incrementar la concentración a través de incluir granos de cereales o subproductos energéticos, siendo los primeros técnicamente la mejor alternativa, no sólo porque tienen una concentración energética elevada, sino porque permiten la

adaptación del rumen a un entorno amilolítico (para el desarrollo de poblaciones microbianas utilizadoras de ácido láctico) (Grummer, 1995). Además, el producto de su fermentación (el ácido propiónico) favorece el desarrollo de las papilas ruminales que son responsables de la absorción de los AGV (Dirksen y col., 1985, cit. por Overton y Waldron, 2004).

En condiciones de pastoreo, el costo adicional asociado a la caminata y a la búsqueda y cosecha de forraje imponen una demanda adicional de energía a las vacas, particularmente a las primíparas, que determina que tengan más dificultades para lograr una exitosa adaptación al inicio de la lactancia. Esto se ve reflejado en perfiles endócrino y metabólicos desbalanceados, asociados a bajos consumos de nutrientes, que pueden repercutir luego en un pobre desempeño productivo y reproductivo (Meikle y col., 2004, Cavestany y col., 2005).

2.2. REGULACIÓN DEL CONSUMO EN LA VACA LECHERA.

La productividad de un animal dada cierta dieta, depende más de un 70% de la cantidad de alimento que pueda consumir y en menor proporción de la eficiencia con que digiera y metabolice los nutrientes consumidos (Waldo, 1986, citado por Chilibroste, 1998). La predicción del consumo voluntario de materia seca (**MS**) es de particular relevancia en el manejo de sistemas de producción, especialmente en aquellos casos en el que el alimento es escaso. Algunos de los factores que afectan el consumo y que son inherentes al animal son: la raza, sexo, genotipo, peso vivo, etapa de crecimiento, edad, producción de leche, etapa de lactancia y preñez (Chilibroste, 1998).

Cuando los animales están consumiendo forrajes como principal componente de la dieta el llenado o regulación física sería un mecanismo que limita el consumo de materia seca, además de factores tales como las características físico-estructurales de la pastura, la presión osmótica en el líquido ruminal y/o la concentración de AGV. La teoría se centra en el rumen, los animales consumen hasta que se produce el llenado de dicho órgano, momento en el cual se activan los receptores mecánicos en el epitelio de las paredes ruminales y se envía la señal al sistema nervioso central, la cual regresa la información para que cese el consumo (Conrad y col., 1964). Las señales mecánicas son aumentadas por el consumo de materia seca y disminuye la presión con la degradación a cargo de los procesos fermentativos y pasaje del contenido ruminal, momento en el cual el consumo vuelve a reiniciarse. Sin embargo, esta teoría presenta limitaciones para explicar los niveles de consumo voluntario observados en animales consumiendo forrajes frescos de alto valor nutritivo y bajo contenido de materia seca (Chilibroste, 1998).

En el período de transición se producen multitud de cambios físicos, hormonales y metabólicos los cuales afectan negativamente la ingestión de MS. Ciertos factores tienen influencia sobre el mismo, como la composición de nutrientes en la dieta preparto; es así que aumentando la concentración de energía y/o proteína se ha percibido un aumento en el consumo. También hay otros factores que afectan el consumo de vacas lecheras durante el período de transición, como el porcentaje de concentrado en la dieta total; en general, un mayor porcentaje en la dieta preparto estimula un mayor consumo posparto (Hayirli y col., 2000).

La condición corporal (**CC**) de las vacas tendría cierta influencia sobre la regulación del consumo, ya que datos publicados encontraron diferencias entre grupos de animales de mayor CC y de menor CC, donde las de mayor consumo posparto fueron las vacas con menor CC, ya que el primer grupo movilizan más reservas y presentan mayores concentraciones de AGNE que vacas con pobre CC en el parto o al parto (Meikle y col., 2013). En esta situación, la liberación masiva de AGNE se asocia a un menor consumo preparto, si bien luego del parto disminuyen rápidamente, por lo que el consumo se ve incrementado (Calsamiglia, 2000).

En animales que están pastoreando se pueden detectar otros factores que actúan sobre el consumo. El mismo puede definirse a partir de la tasa de consumo (g de forraje/minuto) multiplicado por el tiempo efectivo de pastoreo (minutos). La tasa de consumo está determinada a su vez por el producto entre tasa de bocados (bocados/minuto) y el peso de bocado (g), y a su vez cada bocado depende de la profundidad del horizonte de pastoreo y el área de la boca del animal (Soca y col., 2007).

En general si la cantidad de forraje en el horizonte de pastoreo disminuye es compensado con el tiempo en que el animal esté pastoreando y dentro de sus posibilidades físicas gastando más energía en la búsqueda, selección y masticación de alimento. La tasa de bocado se encontró inversamente relacionada con el tamaño de bocado, que resultó determinante del consumo de forraje (Ungar, 1996, citado por Soca y col., 2007).

El consumo entonces se determina por variables como la densidad de la pastura, la presencia de barreras físicas a la cosecha, la cantidad de MS, y el valor nutritivo del forraje. El primer factor aumenta el consumo con mayor disponibilidad ya que es más fácil cosecharlo para el animal; el segundo factor se describe por la altura de la vaina de la hoja por debajo de la cual los animales se rehúsan a comer, y el tercer factor está relacionado a la cantidad de humedad del forraje, ya que se encontró que a mayor cantidad de humedad del forraje hay una disminución del consumo por tener que dedicar más tiempo a la rumia. El tiempo que los animales están pastoreando es un modo de compensar los factores anteriores (Soca y col., 2007).

Chilibroste (1998) agrega que otras señales que podrían determinar el cese del consumo en vacas alimentadas con pasturas de alta calidad sería un aumento significativo de la concentración de AGV y/o de amoníaco en rumen.

2.3. USO DE GLUCOSA Y UREA EN SANGRE PARA EVALUAR EL ESTADO NUTRICIONAL EN RUMIANTES.

A medida que la producción se intensifica, la determinación de los niveles de ciertos parámetros sanguíneos se vuelve importante para valorar el estado metabólico o nutricional de una población determinada, con el fin de prevenir o diagnosticar enfermedades nutricionales y/o metabólicas (González, 2000). Distintos metabolitos se han propuesto como controladores agudos del consumo voluntario, y reflejarían el estado nutricional inmediato del animal en relación con la demanda metabólica (Faverdin, 1999). A continuación se describirán las principales características de la glucosa y la urea, que fueron los metabolitos estudiados en este trabajo.

La glucosa es la fuente principal de energía en los seres vivos, y su ingreso al organismo puede darse de dos formas: exógena (absorción a nivel del tracto digestivo) o endógena (neoglucogénesis; síntesis que tiene lugar en el hígado principalmente), siendo esta última la vía principal en los rumiantes (Cirio y Tebot, 2008). En rumiantes, el 40-60% de la glucosa se sintetiza a partir del ácido propiónico, el 20% a partir de proteínas y el resto de ácidos grasos volátiles de cadena ramificada, ácido láctico y glicerol. La gluconeogénesis aumenta luego de la ingestión de alimentos, debido a una mayor disponibilidad de los precursores de la glucosa, y desciende después de la restricción de alimentos. En este sentido, la tasa de ingreso de glucosa al organismo se ve influenciada por la cantidad de alimento ingerido (Fahey y Berger, 1993).

La glucosa es un nutriente primario para el desarrollo del feto y la síntesis de la leche. Junto con sus metabolitos glucolíticos, la glucosa es la fuente más importante de energía para la oxidación de los tejidos fetal y placentario. Es también un sustrato oxidativo y sintético vital para el metabolismo mamario, incluso para la síntesis de lactosa que, en la mayoría de las especies, es el determinante osmótico del volumen de la leche. El suministro de glucosa para su utilización a nivel uterino o mamario es, por tanto, una prioridad metabólica para los mamíferos preñados o lactantes, y su interrupción puede ocasionar graves síndromes cetoacidóticos, tales como la toxemia de la preñez y la cetosis en la lactancia. Este imperativo ha llevado a la evolución de las modificaciones metabólicas en aquellos tejidos maternos que no son uterinos ni mamaros, los cuales están regulados y coordinados para garantizar que el abastecimiento de glucosa al útero grávido y a la glándula mamaria esté protegido de las variaciones en la nutrición materna y en las influencias medioambientales (Whitaker, 2004).

El aumento en el requerimiento de glucosa por parte del útero grávido durante la etapa prenatal y aún mayor por parte de la glándula mamaria en lactación, implican cambios muy significativos en la producción y utilización de glucosa en el hígado materno, en el tejido adiposo, en el músculo esquelético y en otros tejidos. En los rumiantes, que de manera constante dependen sobre todo de la neoglucogénesis hepática para abastecerse de glucosa, la síntesis de glucosa hepática se incrementa durante la etapa prenatal y el inicio de la lactancia, para ajustarse a las demandas uterinas o mamaras, incluso cuando el suministro de sustrato dietético es insuficiente. Al mismo tiempo, el uso de glucosa del tejido adiposo y muscular es reducido. En los animales preñados, estas reacciones son exacerbadas por la desnutrición moderada y son mediadas por la reducción de sensibilidad del tejido y la respuesta a la insulina, asociadas a la disminución de la expresión del receptor de insulina y transportador facilitador de glucosa, GLUT4. Las reacciones a la insulina del tejido periférico quedan atenuadas durante el inicio de la lactancia pero recobran fuerza a medida que el animal se desarrolla en la etapa media de la lactancia (Bell y Bauman, 1997).

En los rumiantes las enzimas de la neoglucogénesis hepática están siempre muy activas cuando el animal está bien alimentado y, en general, las variaciones de estas enzimas son muy moderadas en función de las diferentes situaciones nutricionales o fisiológicas. Con esto puede reflejarse una regulación hormonal bastante estable consecutiva a los hábitos alimenticios de los rumiantes que no presentan picos

bruscos de glucosa en la fase posprandial. El glucagón estimula la gluconeogénesis por activación de una de sus enzimas claves, la piruvatocarboxilasa, además inhibe ciertas etapas de la glicólisis hepática. Dichas propiedades hacen que el glucagón sea una hormona fundamental en estas especies y de efectos casi exclusivamente hepáticos.

Otra hormona que participa en la regulación de la gluconeogénesis es la insulina, siendo la única que disminuye la producción hepática de glucosa y es, por lo tanto, hipoglicemiante. Se ha comprobado que la llegada masiva a la circulación portal de ácido propiónico producido en la digestión ruminal, constituye la señal para la hipersecreción de insulina en el período post-prandial. Dicha respuesta hormonal a los AGV es una particularidad del rumiante. Cuando el animal realiza un ayuno la insulina es capaz de reducir en un 50% la gluconeogénesis, disminuyendo la eficiencia del hepatocito para extraer compuestos glucogénicos como el lactato, el glicerol, la alanina, y la glutamina, lo cual podría comprometer la producción de glucosa en estas etapas. Pero aunque la insulinemia es baja durante el ayuno, comienzo de la lactación y durante la subalimentación, aparentemente la insulina no inhibe la utilización del propionato para la gluconeogénesis en ningún momento. El rol de esta hormona en el rumiante alimentado sería el de frenar la gluconeogénesis a partir de otros precursores en beneficio de la gluconeogénesis propionato dependiente. También se señala a la hormona de crecimiento (**STH**) la cual aumenta la eficacia de la conversión del propionato en glucosa y es más evidente en períodos de carencia energética (Cirio y Tebot, 2000).

El otro metabolito a mencionar es la urea, la cual en la mayoría de las especies es un desecho del catabolismo nitrogenado que es eliminado del organismo. Sin embargo en los rumiantes la urea endógena puede ser utilizada para la síntesis de proteínas en los preestómagos. La digestión microbiana del N alimentario genera amoníaco que es parcialmente utilizado por los microorganismos para sintetizar sus proteínas y parcialmente absorbido a través de la pared ruminal para ser transformado en urea en el hígado. Así, buena parte del amoníaco que entra al ciclo hepático de la urea proviene de la digestión microbiana de los alimentos, luego de su absorción en el tracto digestivo. Una parte de esta urea así producida es eliminada por el riñón y otra parte retorna al retículo-rumen con la saliva y/o por difusión directa a partir de la sangre que irriga la pared de los preestómagos.

El ciclo amoníaco-urea puede cambiar cuantitativamente en casos de deficiencias en la ingestión de N o de altos requerimientos proteicos durante ciertos períodos productivos. Normalmente, la proporción de urea transferida al rumen aumenta en relación a su nivel sanguíneo y a la cantidad de N ingerido. El mayor reciclaje se ve favorecido por una reducción de la eliminación urinaria de urea (Whitaker, 2004).

Por lo antes explicado, la uremia de las vacas lecheras varía en el mismo sentido que la concentración de amoníaco en el rumen y que el tenor nitrogenado de la ración, y también depende de factores como la etapa de la lactancia o la condición corporal de los animales (Cirio y Tebot, 2000). La uremia en vacas lecheras presenta una fuerte variación diaria asociada principalmente al momento de ingesta de los animales; generalmente existe un aumento marcado en las concentraciones séricas luego de cada oferta de alimento, lo que refleja la ingesta de proteínas, y una disminución entre estos períodos (Rodríguez y col., 1997).

2.4. MANIPULACIÓN DE FUENTE DE CARBOHIDRATOS PARA FACILITAR LA TRANSICIÓN ENTRE EL FIN DE LA GESTACIÓN Y EL INICIO DE LA LACTANCIA EN LA VACA LECHERA.

Los carbohidratos son la mayor fuente de energía en las dietas de las vacas lecheras y usualmente comprenden el 60 a 70% de la dieta total. Proveen energía a los microorganismos del rumen y como segunda función, también importante, ayudan el desarrollo gastrointestinal (McDonald y col. 2006). Los carbohidratos pueden clasificarse en estructurales y no estructurales. Los carbohidratos no estructurales (**CNE**) se encuentran dentro de la célula de las plantas y son más digestibles que los estructurales que se encuentran en la pared celular. Los azúcares, almidón, ácidos orgánicos y otras reservas como los fructanos están comprendidos dentro de la fracción CNE y aportan mayor cantidad de energía para las vacas en producción (McDonald y col. 2006; Relling y Mattioli, 2003).

Los CNE y CNF no son fracciones equivalentes para la mayoría de los alimentos. La mayor diferencia es por la contribución de la pectina y ácidos orgánicos. La pectina es incluida en CNF pero no en CNE (NRC, 2001). Para valorar el contenido de CNF en la alimentación a menudo es descrito como una fórmula independiente y por diferencia y con otros componentes nutricionales según se muestra a continuación (NRC, 2001):

$\% \text{ CNF} = 100 - (\% \text{ proteína cruda} + \% \text{ FDN} + \% \text{ extracto de éter} + \% \text{ ceniza}).$

Como muy poca glucosa es absorbida en el tubo digestivo en ruminantes, el mayor aporte proviene de la glucosa que es producida en el hígado por gluconeogénesis a partir de propionato, aminoácidos, glicerol y lactato (Fahey y Berger, 1993). Se observa que muy poca energía para el metabolismo fetal es obtenida del acetato y que la oxidación de glucosa explica aproximadamente el 30% de la energía fetal. Las demandas han llevado a recomendaciones para la inclusión de precursores para la gluconeogénesis (almidón y azúcares), en la etapa de periparto. Las ventajas de incluirlos serían la aclimatación de los microorganismos ruminales a carbohidratos fermentables en el posparto y el aumento de desarrollo de las papilas ruminales, lo que estimularía el consumo durante el periparto; además, la utilización del glucógeno del hígado sería reducida al mínimo y la secreción de insulina sería estimulada, lo que a su vez moderaría la movilización de AGNE desde el tejido adiposo y reduciría la probabilidad de ocurrencia de cetosis (Polakova y col., 2010; Roche, 2011).

Algunos diseños experimentales variaron la cantidad y fuente de CNF en el preparto para observar y valorar su impacto en distintas variables durante el período de transición. Por ejemplo, Polakova y col. (2010) realizaron un experimento con 3 grupos de vacas lecheras alimentados con diferentes fuentes de CNF: almidón (grano de maíz) fue comparado respecto a sacarosa (pulpa de remolacha) o la combinación de ambas opciones. Dichas dietas a la vez eran isoenergéticas e isonitrogenadas entre sí, se suministró en forma de RTM, empezando 3 semanas antes de la fecha esperada de parto. Como resultado obtuvieron que mejora el consumo preparto y se observó un aumento de la concentración plasmática de urea posparto en los grupos que se alimentaron con pulpa de remolacha.

Amanlou y col. (2008) trabajaron con 2 grupos de vacas Holstein asignándoles diferentes alimentos en una dieta base en forma de RTM: un tratamiento con grano de trigo y el otro grano de cebada + afrechillo de trigo. La dieta de grano de trigo contenía más altos niveles de CNF, y comparado con la dieta de cebada + afrechillo de trigo, observaron un aumento en el consumo preparto, aumentando también la producción y la concentración de glucosa en sangre, pero no sobre la de urea.

Sin embargo, cabe destacar que si bien al variar la fuente de CNF ocurren cambios en cuanto a producción, también está variando el aporte de energía de las dietas, por lo cual parte de los resultados positivos pueden ser atribuidos en realidad a un mayor consumo de energía en las dietas ricas en CNF (Overton y Waldron, 2004). Uno de los pocos trabajos que se variaron la fuente de carbohidratos en la dieta preparto sin variar la energía fue el realizado por Smith y col. (2005). Este se basó en alimentar dos grupos de vacas durante el periparto con dietas contrastantes en su aporte de CNF, pero similar consumo de energía, obteniendo como resultados que la fuente de carbohidratos no afectó el consumo de materia seca preparto ni posparto.

Del mismo modo, Roche y col. (2010) investigaron el efecto de suministrar dietas isoenergéticas con diferentes fuentes de carbohidratos, fundamentalmente una dieta en base a pasturas y ensilajes de pradera, y otra suplementada con granos de maíz y cebada (rica en CNF), antes del parto, sobre la producción de leche y la concentración de hormonas y metabolitos. Los autores concluyeron que diferentes aportes de CNF en el preparto causaron cambios en las concentraciones de metabolitos en plasma. La concentración de urea en el pre y posparto disminuyó con dietas ricas en CNF, pero no hubo efectos sobre la de glucosa; tampoco se observó efecto de los tratamientos preparto sobre la CC o la producción de leche. Por lo tanto, al tomar en conjunto los resultados de estos experimentos, parece surgir que los efectos positivos previamente reportados al suministrar dietas ricas en CNF durante el preparto, con el fin de mejorar la transición se habrían debido no a un efecto del tipo de carbohidrato, sino a un consumo mayor de energía, en la medida en que ambos efectos estuvieron generalmente confundidos.

3. HIPÓTESIS

Los cambios en la fuente de carbohidratos usada en la dieta de vacas lecheras durante el parto tendrán un efecto positivo sobre la adaptación de los animales al inicio de la lactancia, que se verá a nivel del consumo de nutrientes y mayores concentraciones de glucosa en sangre.

4. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Estudiar el efecto de la fuente de carbohidratos usada en la dieta preparto de vacas lecheras sobre el consumo de nutrientes y la concentración sanguínea de metabolitos vinculados con el metabolismo energético y proteico de vacas lecheras durante el período transición.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estudiar el efecto de la fuente de carbohidratos usada en la dieta de vacas lecheras durante el preparto sobre:

- El consumo de materia seca, materia orgánica, proteína cruda, fibra detergente neutro y ácido, carbohidratos no fibrosos y energía neta para lactancia.
- La concentración de glucosa y urea en sangre durante el período transición.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

ANIMALES Y DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento se realizó en la Unidad de Lechería de INIA “La Estanzuela” (Ruta 50 km 11, Colonia) de acuerdo con las normas del protocolo de bienestar animal de la CEUA de INIA.

Se seleccionaron 24 vacas multíparas Holstein de parición de otoño del rodeo de la Unidad, que fueron bloqueadas por producción en la lactancia previa (6736 ± 866 kg), CC ($3,4 \pm 0,3$, escala de 1 a 5 puntos) y PV (566 ± 61 kg) al día -30 de la fecha esperada de parto. Dentro de cada bloque fueron asignadas al azar 12 animales a cada uno de los siguientes tratamientos, que se aplicaron durante las últimas 3 semanas (24,0 días en TMAIZ y 23,9 días en TSOJA) previas al parto previsto.

- 1- Dieta preparto con inclusión de grano de maíz (**TMAIZ**).
- 2- Dieta preparto con inclusión de cáscara de soja (**TSOJA**).

En el tratamiento TMAIZ se utilizó grano de maíz, rico en almidón, como fuente de carbohidratos no fibrosos (CNF), y en el tratamiento TSOJA se utilizó cáscara de soja, rica en fibra digestible, como fuente de carbohidratos fibrosos. Para la formulación de las dietas se usaron las normas del NRC (2001), de forma de cubrir los requerimientos de una vaca Holstein de 600kg al día 260 de gestación. La dieta base para los dos tratamientos fue de ensilaje de maíz, suplementado con harina de soja y urea. Las dietas se formularon de forma que la oferta de energía y proteína sean aproximadamente similar, y se ofreció como una ración totalmente mezclada (RTM). Se corrigió el aporte de minerales y vitaminas con suplementos específicos (Cuadro 1).

Durante el preparto los animales fueron manejados por separado según el tratamiento. El alimento se ofreció diariamente a las 9 h en comederos individuales en dos turnos. Por la mañana el animal ingresaba al comedero y se alimentaba hasta saciarse si no terminaba la ración por la tarde se lo volvía a ingresar al comedero. Si existía un rechazo mayor al 20% de lo ofrecido se colectaban muestras que eran procesadas y enviadas a laboratorio. Luego del parto los animales se manejaron como un único lote hasta el día 60 posparto, con una dieta constituida por pastoreo directo de pradera mezcla de gramíneas y leguminosas (con una oferta equivalente a 30 kg de MS por vaca por día), 2 Kg. de concentrado comercial en cada ordeño, y una RTM similar a la usada en el tambo de INIA “La Estanzuela”, con una oferta diaria equivalente a 35 kg de materia fresca por animal (Cuadro 1 y 2). La dieta se formuló de forma que permitiera alcanzar una producción de al menos 30 L en el pico de lactancia. Los animales fueron ordeñados 2 veces por día (6:30 y 16:30 h), y luego del ordeño AM eran conducidos a corrales donde se les ofrecía la RTM en comederos grupales. Luego del ordeño PM los animales se llevaban a la pastura donde pastoreaban hasta el ordeño AM. En todo momento, tanto durante el pre como posparto, los animales tuvieron acceso al agua a voluntad.

Cuadro 1. Composición química de las raciones totalmente mezcladas (RTM) ofrecidas en el preparto y posparto.

| | RTM MAIZ | RTM TSOJA | RTM posparto |
|---------------------------------------|-------------|--------------|-----------------|
| % de cada alimento (base seca) | | | |
| Ensilaje de maíz | 56,7 | 51,0 | 44,5 |
| Grano de maíz seco | 24,9 | - | 31,8 |
| Cáscara de soja | - | 35,3 | - |
| Harina de soja | 13,9 | 9,7 | 16,3 |
| Harina de girasol | - | - | 4,7 |
| Urea | 1,0 | 0,8 | 0,8 |
| Premezcla vitaminas y minerales | 3,6 | 3,2 | 1,9 |
| Composición química | | | |
| MS, % | 35,6 | 38,4 | 37,9 |
| MO, % de MS | 93,5 | 93,7 | 92,1 |
| PC, % de MS | 15,6 | 14,3 | 16,3 |
| FND, % de MS | 34,7 | 48,3 | 30,4 |
| FAD, % de MS | 17,1 | 29,7 | 15,4 |
| CNF, % de MS | 42,4 | 31,0 | 44,1 |
| ENL, Mcal/kg MS | 1,69 | 1,57 | 1,70 |

MS: Materia seca, MO: Materia orgánica, PC: Proteína cruda, FND: Fibra neutro detergente, FAD: Fibra ácido detergente, CNF: Carbohidratos no fibrosos

Cuadro 2. Composición química de los alimentos utilizados.

| | Grano de maíz seco | Cáscara de soja | Concentrado comercial | Pastura |
|-----------------|-----------------------|--------------------|--------------------------|---------|
| MS, % | 87,6 | 87,2 | 86,6 | 22,6 |
| MO, % de MS | 98,8 | 94,5 | 93,7 | 91,1 |
| PC, % de MS | 9,9 | 11,1 | 19,0 | 20,0 |
| FND, % de MS | 15,4 | 64,8 | 32,1 | 41,3 |
| FAD, % de MS | 2,9 | 44,8 | 10,9 | 23,1 |
| CNF, % de MS | 69,3 | 16,0 | 27,1 | 40,6 |
| ENL, Mcal/kg MS | 2,01 | 1,57 | 1,71 | 1,61 |

MS: Materia seca, MO: Materia orgánica, PC: Proteína cruda, FND: Fibra neutro detergente, FAD: Fibra ácido detergente, CNF: Carbohidratos no fibrosos

A. MEDICIONES

I. Consumo de materia seca y nutrientes

Durante las semanas -2, -1, +1 y +2 (parto=0) se midió el consumo individual de alimentos. En el parto el consumo de RTM fue medido semanalmente durante tres días consecutivos, por diferencia entre la cantidad ofrecida y rechazada. Durante el posparto el consumo de concentrado y RTM fue medido semanalmente durante tres días consecutivos, por diferencia entre la cantidad ofrecida y rechazada; durante esos días la RTM fue ofrecida en los mismos comederos individuales que se usaron durante el parto. El consumo de pastura fue medido por diferencia de requerimientos según el método descrito por Macoon y col. (2003). Durante cada período de medición de consumo se colectaron muestras de los distintos alimentos ofrecidos y rechazados (cuando el rechazo superó el 20% de lo ofrecido), que se congelaron a -20° C.

Las muestras se secaron a 65° C y se molieron a 1 mm y se enviaron al laboratorio de Nutrición Animal de INIA “La Estanzuela” para determinar: proteína cruda y cenizas (AOAC, 1990), FDN y FDA (Van Soest y col., 1991) y extracto al éter (AOAC, 1990). Se determinó el contenido de CNF de cada alimento usando la fórmula: $100 - \text{FDN} - \text{proteína cruda} - \text{cenizas} - \text{extracto al éter}$ (NRC, 2001). La concentración de energía neta para la lactancia (ENL) de cada alimento se determinó usando la fórmula propuesta por el NRC (2001). Los datos de concentración de nutrientes se usaron para determinar el consumo absoluto de cada uno de ellos.

II. Peso vivo, CC y producción de leche.

En el mismo ensayo fueron registrados la variación del peso vivo, CC y producción de leche y dichos resultados fueron presentados en otros trabajos (Malvasio y col., 2013; De León y col., 2013).

En la siguiente gráfica se observa la evolución del peso vivo (PV) promedio en cada tratamiento durante el período de transición donde no se registraron diferencias significativas entre los grupos:

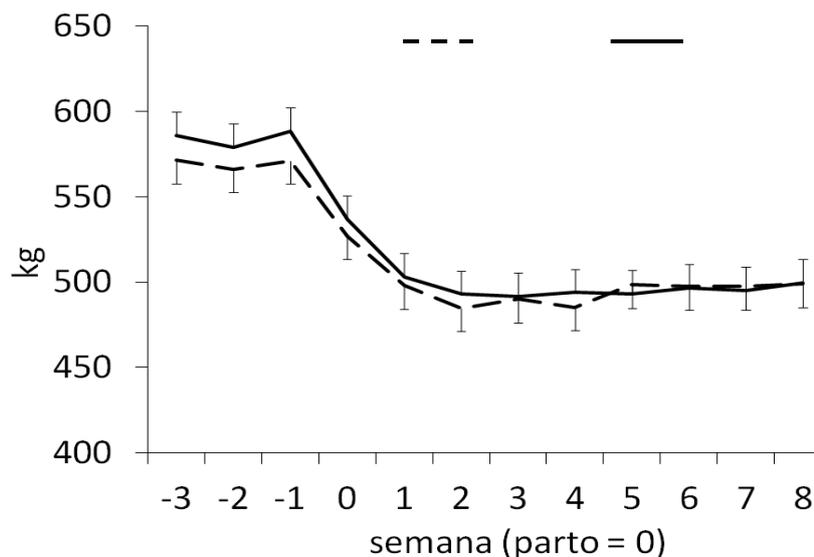


Fig. 1: Evolución del PV promedio durante el período de transición (TMAÍZ: Grano de maíz como fuente de carbohidratos no fibrosos, TSOJA: Cáscara de soja como fuente de carbohidratos fibrosos).

Se observa a continuación la evolución de la CC durante la transición y cabe destacar que tampoco se registraron efectos entre los tratamientos:

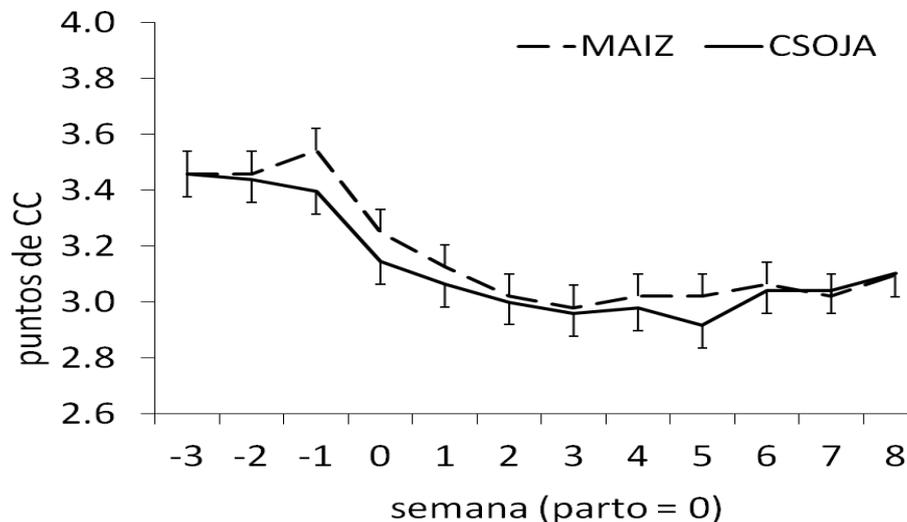


Fig. 2: Evolución de la CC promedio durante el período de transición en la escala de 1 a 5 puntos (TMAÍZ: Grano de maíz como fuente de carbohidratos no fibrosos, TSOJA: Cáscara de soja como fuente de carbohidratos fibrosos).

En cuanto a la producción y composición de leche no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos.

Cuadro 3. Producción y composición de leche (promedio diario hasta el día 56

| | Tratamiento | | EEM | Efecto | | |
|-----------------------|-------------|-------|-------|--------|---------|---------------|
| | TMAÍZ | TSOJA | | Trat | Semana | Trat x semana |
| | | | | | | |
| Leche, kg/d | 30,18 | 30,77 | 1,05 | NS | <0,0001 | NS |
| LCG, kg/d | 35,31 | 35,51 | 1,30 | NS | <0,0001 | NS |
| LCS, kg/d | 31,89 | 31,90 | 1,11 | NS | <0,0001 | NS |
| Grasa, % | 4,209 | 4,157 | 0,078 | NS | NS | NS |
| Grasa, kg/d | 1,333 | 1,331 | 0,052 | NS | <0,0001 | NS |
| Proteína, % | 3,165 | 3,129 | 0,041 | NS | <0,0001 | NS |
| Proteína, kg/d | 0,995 | 0,999 | 0,033 | NS | <0,0001 | NS |
| Lactosa, % | 4,783 | 4,733 | 0,045 | NS | <0,0001 | NS |
| Lactosa, kg/d | 1,513 | 1,520 | 0,049 | NS | <0,0001 | NS |
| Urea, mg/dl | 19,54 | 19,32 | 0,63 | NS | NS | NS |

posparto) (tomado de Malvasio y col, 2013).

TMAÍZ: Maíz como fuente de carbohidratos no fibrosos

TSOJA: Cascarilla de soja como fuente de carbohidratos fibrosos

EEM: error estándar de la media

LCG kg/ d: leche corregida por grasa al 3,5% en kg/d; LCS kg/d: leche corregida por sólidos en kg/d

NS: no significativo

III. Metabolitos en sangre

Los animales fueron sangrados semanalmente entre las semanas -3 y +8 (parto=0) para determinar la concentración plasmática de metabolitos (glucosa y urea). Las muestras se tomaron de la vena coccígea por la mañana (a la salida del ordeño AM durante el posparto), colectando las mismas en tubo de vidrio. Se colectaron muestras con tubo seco (para urea) o con fluoruro de potasio como conservante (para glucosa), y luego de centrifugadas (15 minutos a 3000 g) se separó el suero o plasma, que se usó para analizar urea o glucosa, respectivamente. Se determinó la concentración de glucosa y urea usando kits comerciales (BioSystems S.A., Barcelona, España) usando un espectrofotómetro (Unico 1200 series, United Products & Instruments Inc, NJ, EEUU). Para la glucosa, la concentración mínima detectable del ensayo fue de 0,01 mmol/L y los coeficientes de variación intraensayo para los controles bajos (4,7 mmol/L) y altos (14,9 mmol/L) fueron 5,81% y 8,10%, respectivamente. Para la urea, la concentración mínima detectable del ensayo fue de 0,2 mmol/L y los coeficientes de variación intraensayo para los controles bajos (5,5 mmol/L) y altos (9,7 mmol/L) fueron 6,74 % y 9,77 % respectivamente.

B. ANALISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico se usó el programa estadístico SAS (versión 9.1). Los resultados se analizaron separadamente para el parto y para el posparto. Los datos de consumo de nutrientes se analizaron con un modelo lineal mixto, que incluyó el efecto fijo del tratamiento y el efecto aleatorio del bloque. Los datos de

metabolitos sanguíneos se analizaron como medidas repetidas en el tiempo con un modelo lineal mixto, que incluyó el efecto fijo del tratamiento, la semana relativa al parto, su interacción, y el efecto aleatorio del bloque. La estructura de covarianza fue AR(1). Las medias se compararon con el test de Tukey, considerando un nivel de significancia de $P = 0,05$ y se consideró una tendencia cuando $P \leq 0,10$.

6. RESULTADOS

6.1 CONSUMO DE NUTRIENTES

En consumo de RTM preparto existió una diferencia entre los tratamientos ($P = 0,0004$) al igual que el consumo de MO ($P = 0,0002$; cuadro 3), siendo mayores en el tratamiento TSOJA. Sin embargo, no hubo diferencias entre ambas dietas en cuanto a aporte de ENL y PC, siendo isoenergéticas e isoproteicas. Pero, las vacas de TSOJA consumieron 59% más de FDN y 102% más de FDA que las de TMAIZ, resultando en diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0,0001$), mientras que en las vacas de TMAIZ tuvieron un consumo 29% mayor de CNF ($P < 0,0001$). A pesar de lo mencionado anteriormente, en ninguno de los componentes se encontró diferencias por semana o en la interacción semana* tratamiento (Cuadro 3).

Cuadro 4. Consumo diario de nutrientes durante el preparto.

| | Tratamiento ¹ | | EEM ³ | Efecto ² | | |
|-------------------|--------------------------|---------|------------------|---------------------|--------|----------------|
| | TMAIZ | TSOJA | | Trat | Semana | Trat. x Semana |
| RTM, kg MS | 8,27 b | 9,00 a | 0,102 | 0,0004 | NS | NS |
| ENL, Mcal | 14,11 | 14,03 | 0,260 | NS | NS | NS |
| PC, kg | 1,300 | 1,229 | 0,030 | NS | NS | NS |
| MO, kg | 7,730 b | 8,450 a | 0,090 | 0,0002 | NS | NS |
| FDN, kg | 2,802 b | 4,467 a | 0,014 | <0,0001 | NS | NS |
| FDA, kg | 1,379 b | 2,789 a | 0,008 | <0,0001 | NS | NS |
| CNF, kg | 3,545 a | 2,742 b | 0,070 | <0,0001 | NS | NS |

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas ($P < 0,05$)

¹TMAIZ: Grano de maíz como fuente de carbohidratos no fibrosos, TSOJA: Cáscara de soja como fuente de carbohidratos fibrosos.

²Trat: efecto debido a los tratamientos, semana: efecto debido a la semana, trat. por semana: efecto debido a la interacción entre los tratamientos y la semana.

³EEM: error estándar de la media

RTM: Ración totalmente mezclada, ENL: Energía neta para lactación, PC: Proteína cruda, MO: materia orgánica, FDN: Fibra detergente neutro, FDA: Fibra detergente ácido, CNF: Carbohidratos no fibrosos

En cuanto a los resultados obtenidos en el posparto, no se observó un efecto del tratamiento para ninguna de las variables medidas, excepto para el consumo de RTM, que fue mayor en TMAIZ ($P = 0,0134$; Cuadro 4). Para consumo de MS total, ENL, CNF y MO, se detectó interacción tratamiento x semana ($P < 0,05$; Cuadro 4). Como se observa en las gráficas (1, 2 y 3) el consumo de MS total, ENL y CNF se incrementó de forma más marcada entre la semana 1 y 2 posparto en TSOJA respecto a TMAIZ. El consumo de pastura, de PC, FDN y FDA solo fueron afectados por la semana ($P < 0,05$; Cuadro 4), aumentando de 5,92 a 7,34 kg, 2,83 a 3,26 kg, de 5,31 a 6,15 kg, y de 2,58 a 3,01 kg, respectivamente, entre la semana 1 y 2.

Cuadro 5. Consumo diario de nutrientes en el posparto.

| | Tratamiento ¹ | | EEM ³ | Efecto ² | | |
|---------------------------|--------------------------|--------|------------------|---------------------|---------|----------------|
| | TMAIZ | TSOJA | | Trat. | Semana | Trat. x Semana |
| RTM, kg MS | 8,94 a | 7,27 b | 0,44 | 0,0134 | 0,0215 | NS |
| Concentrado, kg MS | 2,18 | 2,23 | 0,20 | NS | NS | NS |
| Pastura, kg MS | 6,03 | 7,34 | 0,57 | NS | 0,0015 | NS |
| Total, kg MS | 16,87 | 16,86 | 0,62 | NS | <0,0001 | 0,0312 |
| MO, kg | 15,56 | 15,57 | 0,56 | NS | <0,0001 | 0,0440 |
| ENL, Mcal | 28,30 | 28,29 | 1,00 | NS | <0,0001 | 0,0288 |
| PC, kg | 3,03 | 3,06 | 0,12 | NS | <0,0001 | NS |
| FDN, kg | 5,69 | 5,76 | 0,24 | NS | <0,0001 | NS |
| FDA, kg | 2,78 | 2,81 | 0,12 | NS | <0,0001 | NS |
| CNF, kg | 6,53 | 6,41 | 0,21 | NS | <0,0001 | 0,0066 |

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas ($P < 0,05$)

¹TMAIZ: Grano de maíz como fuente de carbohidratos no fibrosos, TSOJA: Cáscara de soja como fuente de carbohidratos fibrosos

²Trat: efecto debido a los tratamientos, semana: efecto debido a la semana, trat. x semana: efecto debido a la interacción entre los tratamientos y la semana.

³EEM: error estándar de la media

RTM: Ración totalmente mezclada, ENL: Energía neta para lactación, PC: Proteína cruda, MO: materia orgánica, FDN: Fibra detergente neutro, FDA: Fibra detergente ácido, CNF: Carbohidratos no fibrosos

Cuadro 6. Evolución en el consumo de MS, ENL y CNF en cada tratamiento durante el posparto.

| Tratamientos ¹ | TMAIZ | | TSOJA | |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 |
| MS total (Kg/d) | 15,89 | 17,85 | 15,53 | 18,19 |
| ENL (Mcal/d) | 26,7 | 29,9 | 26,0 | 30,5 |
| CNF (Kg/día) | 6,24 | 6,82 | 5,86 | 6,95 |

¹TMAIZ: Grano de maíz como fuente de carbohidratos no fibrosos, TSOJA: Cáscara de soja como fuente de carbohidratos fibrosos.

²Semana 1 y 2 posparto, MS total: materia seca total, ENL: energía neta para lactación, CNF: carbohidratos no fibrosos.

6.2 METABOLITOS EN SANGRE: UREA Y GLUCOSA

Las concentraciones de glucosa en plasma en el preparto tendieron a ser afectadas solamente por la interacción tratamiento por semana ($P < 0,10$; Cuadro 5). En TSOJA, estas concentraciones permanecieron estables entre la semana -2 y el parto, mientras que en TMAIZ tendieron a incrementarse al parto (Figura 3). Las concentraciones de urea fueron mayores en TMAIZ respecto a TSOJA ($P < 0,05$), mientras que aumentó entre la semana -2 hasta el parto, pasando de 4,25 a 6,75 mM ($P < 0,05$; Cuadro 5; Figura 4).

Cuadro 7. Concentración de urea y glucosa en sangre durante el parto

| | Tratamiento ¹ | | EEM ² | Efecto ³ | | |
|-------------|--------------------------|--------|------------------|---------------------|---------|----------------|
| | TMAIZ | TSOJA | | Trat | Semana | Trat. x semana |
| Glucosa, mM | 3,60 | 3,93 | 0,12 | 0,6750 | 0,1126 | 0,1000 |
| Urea, mM | 5,98 a | 5,03 b | 0,24 | 0,0027 | <0,0001 | 0,3436 |

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas ($P < 0,05$)

¹TMAIZ: Grano de maíz como fuente de carbohidratos no fibrosos, TSOJA: Cáscara de soja como fuente de carbohidratos fibrosos.

²EEM: error estándar de la media.

³Trat: efecto debido a los tratamientos, semana: efecto debido a la semana, tratamiento por semana: efecto debido a la interacción entre los tratamientos y la semana.

En el posparto, las concentraciones de glucosa no fueron afectadas ni por el tratamiento, la semana o la interacción tratamiento por semana (Cuadro 6). En el caso de urea, las concentraciones solo fueron afectadas por la semana en el tratamiento de TMAIZ del parto a la semana 1 como se muestra a continuación en el gráfico, manteniéndose estables hasta la semana 6 (en torno de 6,4 mM para aumentar a 6,9 mM) (Figura 4).

Cuadro 8. Concentración de urea y glucosa durante el posparto.

| | Tratamiento ¹ | | EEM ² | Efecto ³ | | |
|-------------|--------------------------|-------|------------------|---------------------|--------|---------------|
| | TMAIZ | TSOJA | | Trat | Semana | Trat x semana |
| glucosa, mM | 3,09 | 3,09 | 0,07 | 0,9793 | 0,1717 | 0,1144 |
| urea, mM | 6,78 | 6,45 | 0,25 | 0,3482 | 0,0165 | 0,5816 |

¹TMAIZ: Grano de maíz como fuente de carbohidratos no fibrosos, TSOJA: Cáscara de soja como fuente de carbohidratos fibrosos

²EEM: error estándar de la media

³Trat: efecto debido a los tratamientos, semana: efecto debido a la semana, trat. x semana: efecto debido a la interacción entre los tratamientos y la semana.

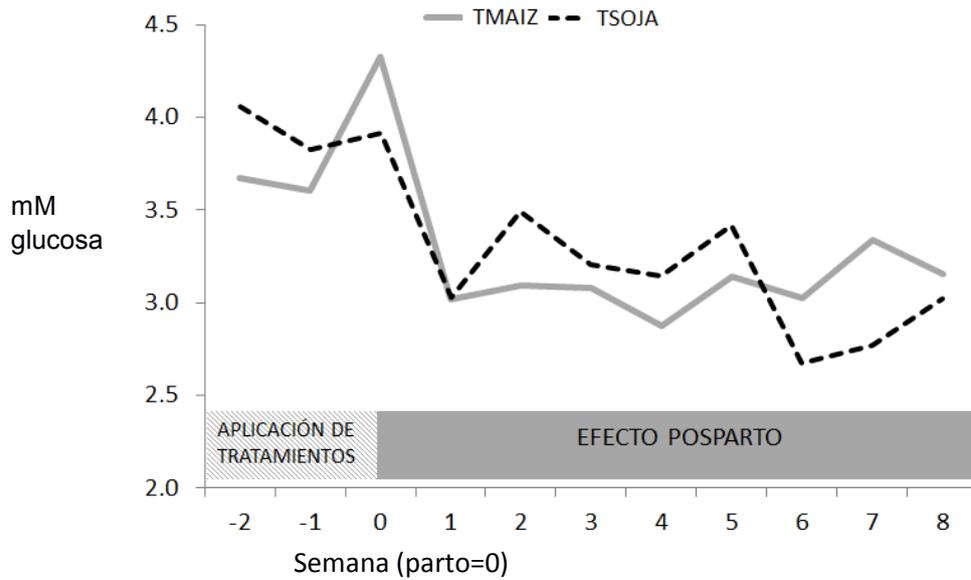


Figura 3. Dinámica de la concentración de la glucosa en sangre durante el período de transición. TMAÍZ: Grano de maíz como fuente de carbohidratos no fibrosos, TSOJA: Cáscara de soja como fuente de carbohidratos fibrosos.

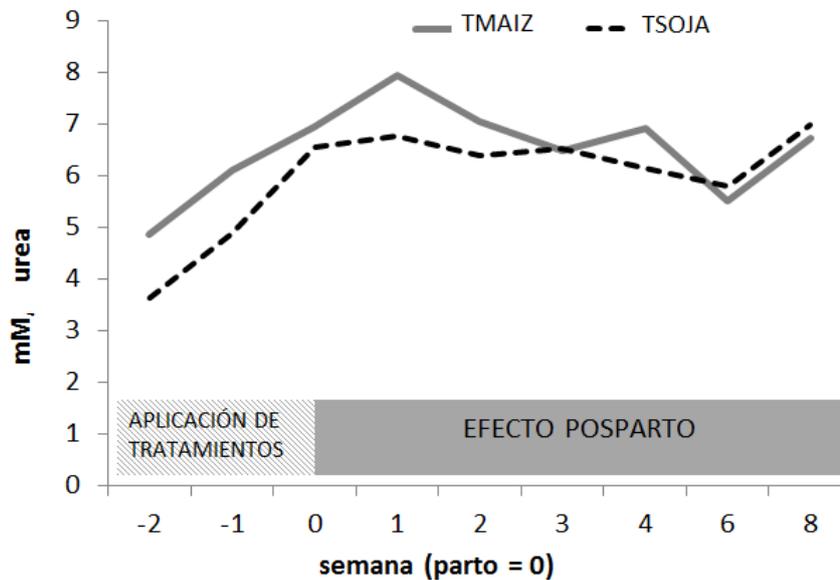


Figura 4. Dinámica de la concentración de urea en sangre durante el período de transición. TMAÍZ: Grano de maíz como fuente de carbohidratos no fibrosos, TSOJA: Cáscara de soja como fuente de carbohidratos fibrosos.

7. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en cuanto al consumo preparto demuestran que el aporte de ENL y proteína cruda (PC) no difirió entre tratamientos, pero sí hubo diferencias importantes en la ingesta de CNF entre los mismos. Esto era buscado al momento de diseñar el experimento, y por lo tanto, permite decir que cualquier diferencia observada en las variables medidas, es atribuible no a un consumo diferencial de ENL o PC, sino a la fuente de carbohidratos evaluada.

Si bien no hubo efecto del aporte de CNF proveniente de grano de maíz sobre los valores medios de ingesta de MS total y de otros nutrientes en el posparto, la interacción tratamiento por semana observada para variables como consumo de MO y CNF sugiere que hubo algún efecto de la dieta preparto sobre las mismas. En este sentido, los animales suplementados con cáscara de soja en el preparto tuvieron una mayor variación en el consumo de CNF entre la primera y segunda semana posparto respecto a los suplementados con grano de maíz. Dicho de otro modo, los animales de TMAIZ tuvieron un menor crecimiento en su ingesta de nutrientes entre la semana 1 y 2 comparado a TSOJA, lo que sugiere que estos animales podrían haber tenido una ventaja en cuanto a su adaptación a las dietas ricas en concentrado y CNF ofrecidas en lactancia temprana.

Esta adaptación podría deberse a la proliferación durante el preparto de flora principalmente celulolítica de los animales del TSOJA, lo que probablemente no ocurrió en los animales de TMAIZ, que habrían desarrollado rápidamente (3 a 5 días) una mayor presencia de flora amilolítica, que produce preferentemente ácido propiónico en rumen (Calsamiglia, 2000; Roche, 2010; Grummer, 1995). Esto habría permitido que las vacas que fueron suplementadas con un porcentaje mayor de CNF estuvieran más adaptadas a consumir dietas ricas en CNF, como lo fueron las dietas ofrecidas en el posparto en este experimento, que tuvieron una proporción importante de grano de maíz y concentrados ricos en CNF en general.

Otro factor que puede explicar en parte la aparente mejor adaptación de las vacas de TMAIZ a consumir las dietas posparto ricas en CNF sería la adaptación de la pared ruminal a la absorción de los AGV, lo que está determinado por el tamaño de las papilas ruminales (Rabelo y col., 2003). Sin embargo otros autores no reportaron cambios en el epitelio ruminal en vacas alimentadas con estas dietas (Andersen y col., 1999). Administrar dietas ricas en CNF durante el preparto es una estrategia que se ha planteado como forma de estimular el desarrollo de poblaciones bacterianas utilizadoras de ácido láctico que permite que el propiónico producido estimule el desarrollo de dichas papilas, favoreciendo a los animales en la prevención de patologías asociadas a la alimentación de vaca en lactancia (Calsamiglia, 2000).

A diferencia de nuestro trabajo, otros experimentos han reportado cambios favorables al ofrecer dietas ricas en CNF sobre el consumo de MS durante el período de transición (Amanlou y col., 2008). Sin embargo, Overton y Waldron (2004) comentan que la mayoría de esos experimentos, además de modificar la fuente de carbohidratos, también alteraron el aporte de energía, y muchas veces las dietas que daban un mayor aporte de CNF resultaban también en un mayor aporte de energía, siendo esto último lo que explicaría los resultados positivos. De hecho,

en experimentos donde las dietas preparto ofrecidas fueron isoenergéticas (Smith y col., 2005; Roche y col., 2010), no se observó ninguna ventaja de suministrar una mayor proporción de CNF en la dieta preparto sobre el consumo total de nutrientes durante el período de transición.

El aumento de la ingesta de nutrientes en el posparto temprano que se observa en este trabajo, y que fue independiente de los tratamientos, coincide con lo ya reportado por otros autores, en cuanto a que las vacas aumentan lentamente su consumo luego de paridas, hasta llegar a un máximo alrededor de entre 3 y 4 meses posparto (Calsamiglia, 2000). En cambio, es llamativo que el consumo preparto no se redujo entre la semana -2 y -1. Esto ya había sido reportado por Cavestany y col. (2009) para dietas similares a las usadas en este trabajo. Según Roche (2011), cuando se usan dietas preparto ricas en forraje como las usadas en este experimento estos animales no sufrirían una depresión del consumo de MS como los animales alimentados en sistemas con dietas en base a concentrados.

Se esperaba que un mayor aporte de CNF en la dieta preparto estimulara una mayor producción ruminal de propionato, y que esto a su vez causara una mayor producción de glucosa vía gluconeogénesis, lo que mejoraría el estado energético del animal, ya que la glucosa es un metabolito muy importante en la vaca durante el período de transición es esencial para el desarrollo del feto y oxidación de tejidos placentarios (Bell y Bauman, 1997). Sin embargo, a pesar que TMAIZ consumió 29% más de CNF que TSOJA, no se observó una mayor concentración plasmática de glucosa en este tratamiento. Esto sugiere que, con concentraciones de grano de maíz o cáscara de soja normalmente usadas por los productores en las dietas preparto, no sería posible modificar la concentración de dicho metabolito. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Roche y col. (2010), quien observó solo un transitorio efecto de dicho metabolito sobre el grupo de animales alimentados con concentrado (cebada y maíz). En cambio, se hace notar que, a medida que se aproximó el parto, las vacas de TSOJA no modificaron su concentración de glucosa, mientras que en TMAIZ aumentó, lo que sugiere que quizás hubo un efecto positivo de haber aportado mayor cantidad de CNF, que no fue más claro quizás porque hubiera sido necesario incrementar el aporte de CNF de forma más marcada.

La uremia de los rumiantes varía en el mismo sentido que la concentración de amoníaco en el rumen y que el tenor nitrogenado de la ración. Esto es debido a que la digestión microbiana del N alimentario genera amoníaco que es utilizado por la microflora del rumen para sintetizar sus proteínas, y puede ser parcialmente absorbido a través de la pared ruminal para ser transformado en urea en el hígado (Cirio y Tebot, 2008). En este caso, las diferencias podrían deberse a que si bien las ingestas de PC no fueron distintas, la degradabilidad de esta PC consumida pudo haber sido mayor en TMAIZ y/o la disponibilidad de energía de rápida fermentación en rumen haber sido menor, respecto a TSOJA, ambos factores que podrían afectar la disponibilidad de amoníaco ruminal (Repetto y Cajarville, 2009). Por ejemplo, la dieta TMAIZ tenía una mayor proporción de harina de soja, cuya degradabilidad en rumen es importante (entre 24 y 35%, según NRC (2001), y que contenía una proporción levemente superior de urea. Además, si bien no fue estadísticamente distinto, numéricamente el consumo de PC total fue casi 6% mayor en TMAIZ respecto a TSOJA.

8. CONCLUSIÓN

Un mayor aporte de CNF en la dieta preparto no tuvo efectos marcados sobre el consumo de nutrientes durante el período de transición entre el fin de la gestación y el inicio de la lactancia, aunque las vacas alimentadas con esta dieta parecieron adaptarse mejor a la dieta posparto rica en CNF como lo fue la dieta usada en este experimento.

Un mayor aporte de CNF en la dieta preparto tendió a afectar la dinámica preparto de la concentración sanguínea de glucosa, y aumentó la concentración sanguínea de urea, pero no tuvo efectos sobre estas variables durante el posparto.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- Amanlou, H., Zahmatkesh, D., Nikkhah, A. (2008). Wheat grain as a prepartal cereal choice to ease metabolic transition from gestation into lactation in Holstein cows. *J. Anim. Physiol. Anim. Nut.* 92: 605-613.
- 2- Andersen, J. B., Sehested, J., Ingvarsen, K. L. (1999). Effect of dry cow feeding strategy on rumen pH, concentration of volatile fatty acids and rumen epithelium development. *Acta Agric. Scand. A, Animal Sci.* 49: 149–155.
- 3- AOAC. (1990). Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of analysis. 15th ed. Arlington. 1103 p.
- 4- Bell, A.W., Bauman, D.E. (1997). Adaptation of glucose metabolism during pregnancy and lactation. *J. Mamm. Gland Biol. Neopl.* 2: 265-278.
- 5- Butler, WR (2000). Nutritional interactions with reproductive performance in dairy cattle. *Anim. Reprod. Sci.* 60-61: 449-457.
- 6- Calsamiglia, S. (2000). Nuevos avances en el manejo y alimentación de la vaca durante el parto. XVI Curso de especialización FEDNA. p: 1-20.
- 7- Cavestany, D., Blanc, J.E., Kulcsar, M., Uriarte, G., Chilbroste, P., Meikle, A., Febel, H., Ferraris, A., Krall, A. (2005). Studies of the transition cow under a pasture-based milk production system: metabolic profiles. *J. Vet. Med. A* 52: 1-7.
- 8- Cavestany, D., Viñoles, C., Crowe, M.A., La Manna, A., Mendoza, A. (2009). Effect of prepartum diet on postpartum ovarian activity in Holstein cows in a pasture-based dairy system. *Anim. Reprod. Sci.* 114: 1-13.
- 9- Chilbroste, P. (1998). Fuentes comunes de error en la alimentación del ganado lechero en pastoreo: I. Predicción del consumo. XXVI Jornadas Uruguayas de Buiatría, Paysandú, pp. 1-7.
- 10- Cirio, A., Tebot, I. (2008). Fisiología metabólica de los rumiantes. Facultad de Veterinaria, Uruguay. 146 p.
- 11- Conrad, H.R., Pratt, A.D., Hibbs, J.W. (1964). Regulation of feed intake in dairy cows. I. Changes in importance of physical and physiological factors with increasing digestibility. *J. Dairy Sci.* 47: 54-62.
- 12- Fahey, G.C., Berger, L.L. (1993). Carbohydrate nutrition of ruminant. En: *The ruminant animal: Digestive physiology and nutrition* (Ed: D.C. Church). Waveland Press. Prospect Heights. pp: 269-297.
- 13- Faverdin, P., (1999). The effect of nutrients on feed intake in ruminants. *Proc. Nutr. Soc.* 58: 523-531.
- 14- Goff, J.P., Horst, R.L. (1997). Physiological changes at parturition and their relationship to metabolic disorders. *J. Dairy Sci.* 80: 1260–1268.

- 15-González, F.H.D. (2000).** Perfil metabólico em ruminantes: seu uso em nutrição e doenças nutricionais. Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Federal de Rio Grande do Sul, Brasil. 108 p.
- 16-Grummer, R.R. (1995).** Impact of changes in organic nutrient metabolism of feeding the transition dairy cow. *J. Anim. Sci.* 73: 2820-2833.
- 17-Hayirli, A., Grummer, R.R., Nordheim, E.V., Crump, P.M. (2002).** Animal and dietary factors affecting feed intake during the prefresh transition period in Holsteins. *J. Dairy Sci.* 85:3430–3443.
- 18-Macoon, B., Sollenberger, L.E., Moore, J.E. Staples, C.r., Fike, J.H., Portier, K.M. (2003).** Comparison of three techniques for estimating the forage intake of lactating dairy cows on pasture. *J. Anim. Sci.* 81: 2357-2366.
- 19-Mc Donald, E., Green Halgh, M. (1999).** Nutrición animal. 5a ed. Zaragoza, Acribia. 576 p.
- 20-Meikle, A., Kulcsar, M., Chilliard, Y., Febel, M., Delavaud, C., Cavestany, D., Chilbroste, P., (2004).** Effects of parity and body condition at parturition on endocrine and reproductive parameters of the cow. *Reproduction* 127: 727-737.
- 21-Meikle, A., Cavestany, D., Carriquiry, M., Adrien M.L., Artegoitia, V., Pereira, I., Rupprechter G., Pessina, P., Rama, G., Fernández, A., Breijo, M., Laborde, D., Pritsch, O., Ramos J.M., de Torres, E., Nicolini, P., Mendoza, A., Dutour, J., Fajardo, M., Astessiano,A.L., Olazábal, L., Mattiauda, D., Chilbroste, P. (2013).** Avances en el conocimiento de la vaca lechera durante el período de transición en Uruguay: un enfoque multidisciplinario. *Agrociencia* 17: 141-152.
- 22-NRC. National Research Council. (2001).** Nutrient requirements of dairy cattle. 7th revised edition. National Academy Press, Washington D.C. 381 p.
- 23-Overton, T.R., Waldron, M. (2004).** Nutritional management of transition dairy cows: Strategies to optimize metabolic health. *J. Dairy Sci.* 87 (E. Suppl.): E105-E119.
- 24-Polakova, K.,Kudrna, V., Kodes, A., Hucko, B., Mudrik, Z. (2010).** Non structural carbohydrates in the nutrition of high- yielding dairy cows during a transition period. *Czech J Anim Sci* 55: 468-478.
- 25-Rabelo, E, Rezende, R.L., Bertics, S.J., Grummer, R.R. (2003).** Effects of transition diets varying in dietary energy density on lactation performance and ruminal parameters of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86: 916–925.
- 26-Relling, A.E., Mattioli, G.A. (2002).** Fisiología digestiva y metabólica de los ruminantes. Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de La Plata. 172 p.

- 27-**Repetto, J.L., Cajarville, C. (2009). ¿Es posible lograr la sincronización de nutrientes en sistemas pastoriles intensivos? XXXVII Jornadas Uruguayas de Buiatría. Paysandú, Uruguay, p: 60-67.
- 28-**Roche, J.R., Kay, J.K., Phyn, C.V.C., Meier, S., Lee, J.M., Burke, C.M., (2010). Dietary structural to nonfiber carbohydrate concentration during the transition period in grazing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93: 3671–3683.
- 29-**Roche, J.R. (2011). Transition cow feeding and management on pasture systems. En: *Encyclopedia of Dairy Sciences* (Eds: J.W. Fuquay, P.F. Fox, P. McSweeney). Academic Press. pp: 464-469.
- 30-**Rodríguez, L.A., Stallings, C.C., Herbein, J.H., McGilliard, M.L. (1997). Diurnal variation in milk and plasma urea nitrogen in Holstein and Jersey cows in responseto degradable dietary protein and added fat. *J. Dairy Sci.* 80: 3368-3376.
- 31-**Soca, P., Gonzales, H., Manterola, H. (2007). Estrategia de pastoreo en vacas lecheras. *Ciencia Animal (Chile)* 25: 119-125.
- 32-**Smith, K.L., M. R. Waldron, M.R., Drackley, J.K., Socha, M.T., Overton, T.R. (2005). Performance of dairy cows as affected by prepartum dietary carbohydrate source and supplementation with chromium throughout the transition period. *J. Dairy Sci.* 88: 255–263.
- 33-**Van Soest, P.J., Robertson, J. B., Lewis, B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583-3597.
- 34-**Whitaker, D.A. (2004). Metabolic profiles. In: *Bovine Medicine: Diseases and Husbandry of Cattle*. Eds: Andrews, A.H., Blowey, R.W., Boyd, H., Eddy, R.G. (Eds.). Blackwell Publishing, Oxford, Blackwell Publishing. pp: 804-817.