

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**

**La Ración Totalmente Mezclada en vacas altas productoras (REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA)**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

**PRESENTA:**

**Luis Ariel Toledo González**

**ASESOR: Dr. Jesús Jonathan Ramírez Espinosa**

**COASESOR: M en M.V.Z. Héctor Reyes Soto**

**CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2020**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**Con profunda dedicación y agradecimiento:**

*Este trabajo está hecho con mucho cariño para todos aquellos que acompañaron mi vida profesional, social y moral, con especial agradecimiento al **Dr. Jesús Jonathan Ramírez Espinosa** por todo su apoyo, paciencia, objetividad y transmisión de su conocimiento, el cual no parece de este mundo, por su amabilidad y objetividad ante toda situación, a mi amigo **M en M.V.Z. Héctor Reyes Soto** por su amistad, disciplina, apoyo, orientación, dedicación y por su caritativo fomento a la lectura.*

*A la **Universidad Nacional Autónoma de México** y a la **Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán**, por recibirme con su calidez, grandeza y fraternidad, quien desde el primer momento me cautivó y motivó a emprender mi sueño, con agradecimiento a todos los profesores que estuvieron presentes en mi formación, colegas, compañeros y todos los animales que prestaron su tiempo o dieron su vida para mi aprendizaje, a mis sinodales Dra. Marisela, M.C. Bricia, Dra. Ángeles y M.C. Manuel por todas sus observaciones, recomendaciones y buenos consejos para que este trabajo se presentara de la mejor forma*

*Con especial agradecimiento infinito a mi señor padre **Edmundo Ariel Toledo Ramírez** (QEPD) por tu amor, cariño, apoyo y disciplina, quien a pesar de partir antes de tiempo, me logró enseñar el sentido de la vida, el coraje y valentía para enfrentarla siempre con una sonrisa, te amo papá, algún día nos veremos pronto y celebraremos en el gran salón.*

*Igualmente agradezco con todo mi amor a mi madre **María del Carmen González Gutiérrez** por su cariño, amor, apoyo, fraternidad y por nunca dejarme caer ante la adversidad, por tus enseñanzas, comidas, atenciones, cuidados, paciencia y regaños, por todo lo que un hijo le puede agradecer a su madre durante toda su vida.*

*A mi hermano **Axel Gabriel Toledo González** por sus enseñanzas, regaños y ejemplos que todo hermano mayor te puede enseñar, por ser compañero de juego y apoyo incondicional ante toda adversidad, por cuidar de mí y guiarme por el mejor camino.*

*A mi familia que siempre me apoyo y sacó una sonrisa, en especial a mi tío **Ramón González Gutiérrez**, por su apoyo desde que era un niño y sus buenos ejemplos, por compartir tus conocimientos y gustos, a mi tío **Vicente González** por los buenos ejemplos y cariño, a mi tía*

**Yolanda Ramírez** y mi primo **Martín Benítez** por su apoyo incondicional, compañía, buenas comidas y grandes enseñanzas, los estimo mucho.

A todos mis amigos que siempre estuvieron al tanto de mí, **Ana Cristina y familia** por llegar en el mejor momento a mi vida, por tu cariño, apoyo y entrega, te quiero mucho a **Zueth Medina y Paco Medina (QEPD)** por su buena compañía y hermandad, **Adriana Zamora** por tu amistad, apoyo, cariño y enseñanzas durante mi formación, **Avidán García** por tu amistad duradera y fraternidad, **Mariana Álvarez** por ser ejemplar, gran amiga y por tu apoyo , **Victoria Valdés** por enseñarme tu fortaleza y resiliencia ante la vida, **Maciel Arellano** por tu grata amistad y cariño, **Mario García** por ser con quien más he reído, **Gustavo Montiel** por enseñarme a ser sencillo y amar las plantas, **Ismael Nuñez y familia** por tu amistad sincera, apoyo, camaradería fraterna y buen sentido del humor, **Antonio González y Brenda Jiménez** por demostrar que el amor existe, su amistad y apoyo durante toda la carrera , **Pedro Andraca y familia** por tu apoyo, cariño dentro y fuera de los partidos, **Dra. Penélope, MVZ Verónica Sánchez y Chío**, y los que me faltaron, por todas las sonrisas, charlas, adversidades, regaños, consejos, terapia, apoyo, compañía, por su enorme paciencia pero sobre todo su afecto y carisma, los quiero mucho, los llevo en mi corazón y les deseo el mejor de los caminos.

**“En la mirada del animal que carece del don del lenguaje existe un discurso que solamente el alma del sabio puede realmente comprender”**

**El animal sin habla (Jhalil Gibran)**

## **ÍNDICE DE CONTENIDO**

**La Ración Totalmente Mezclada en la alimentación de vacas altas productoras (REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA)**

<b>RESUMEN</b>	<b>7</b>
<b>Antecedentes</b>	<b>8</b>
<b>CAPITULO 1.- Introducción (Concepto de la Ración Totalmente Mezclada y su función)</b>	<b>9</b>
<b>CAPITULO 2.- Principales ingredientes utilizados en la Ración Totalmente Mezclada</b>	<b>11</b>
<b>CAPITULO 3.- Etapas productivas y sus necesidades nutricionales</b>	<b>19</b>
<b>CAPITULO 4.- Componentes físicos y su efecto sobre el desempeño productivo y en la composición química de la leche</b>	<b>24</b>
<b>CAPITULO 5.- Componentes químicos y su efecto sobre el desempeño productivo y en la composición química de la leche</b>	<b>34</b>
<b>Conclusiones</b>	<b>50</b>
<b>Literatura citada</b>	<b>51</b>

## **Índice de Tablas**

<i>Tabla 1: Composición química promedio de los principales forrajes utilizados en la RTM</i>	15
<i>Tabla 2: Composición química promedio de los principales pastos utilizados en la RTM</i>	15
<i>Tabla 3: Ingredientes más comunes utilizados en el concentrado de la RTM</i>	19
<i>Tabla 4: Composición química y nutricional recomendada de la ración para vacas lecheras por kg de MS</i>	24
<i>Tabla 5: Efecto del nivel de humedad en la RTM sobre el consumo de materia seca, FDN, almidón y desempeño productivo</i>	28
<i>Tabla 6: Recomendaciones para el tamaño de partícula de forrajes y RTM</i>	30
<i>Tabla 7: Efecto del tamaño de partícula sobre el consumo de MS y desempeño productivo</i>	32
<i>Tabla 8: Efecto del nivel de almidón en la RTM sobre el consumo de MS y desempeño productivo</i>	38
<i>Tabla 9: Efecto del nivel de FDN en la RTM sobre el consumo de MS y desempeño productivo</i>	40
<i>Tabla 10: Efecto del nivel de grasa en la RTM sobre el consumo de MS y desempeño productivo</i>	43
<i>Tabla 11: Efecto de AGPI en dietas a base de granos sobre el desempeño productivo</i>	44
<i>Tabla 12: Perfil de aminoácidos (%total de aminoácidos) de la leche, bacterias ruminales y algunas fuentes proteicas</i>	46
<i>Tabla 13: Efecto del nivel de proteína al aumentar la proporción de la pasta de soya, sobre el consumo de MS y rendimiento lácteo</i>	48
<i>Tabla 14: Efecto del nivel de granos de destilería sobre el consumo de materia seca y desempeño productivo</i>	49

## **METODOLOGIA**

Para la obtención de la información bibliográfica se consultaron diversos artículos científicos publicados en revistas indizadas así como libros relacionados con la producción animal, nutrición animal y alimentación animal, tomando como criterios de inclusión: el año de publicación (1980-2019), título de publicación y su contenido en donde se involucra a la Ración Totalmente Mezclada con los efectos productivos, fisiológicos y de salud en vacas altas productoras. Para lo anterior se utilizaron motores de búsqueda y publicaciones especializadas como *Science direct*, *Scopus*, *Pub Med Central*, *Journal of Dairy Science*, *Journal of Animal Feed Science & Technology* y *Journal of Animal Science*.

## **RESUMEN**

El sistema de Ración Totalmente Mezclada (RTM) es un sistema de mezcla cuantitativa de forrajes, concentrado y suplementos, diseñada para satisfacer las necesidades nutricionales de mantenimiento y producción de los animales. El objetivo de la RTM es cubrir las demandas de nutrientes (energía, proteína, minerales, etc.) que exige la producción de las vacas lecheras sin comprometer la salud ruminal; su origen se remonta a los años 50, sin embargo; su auge en nuestro país inició en la década de los 90, con la finalidad de incrementar la producción lechera y cumplir con estándares comerciales. El sistema RTM permite utilizar diversos ingredientes, los cuales difieren en su presentación, comportamiento ruminal y disponibilidad. La composición física y química de la RTM tiene efectos sobre el consumo de materia seca, producción de leche y composición química de la leche. Modificar el tamaño de partícula de la ración o de algunos de sus ingredientes puede afectar el consumo de materia seca y el rendimiento lácteo, el nivel de humedad favorece la adherencia de partículas por lo que disminuye la selección de alimento y su desperdicio, por otro lado, incrementar el nivel de fibra detergente neutro disminuye el consumo de materia seca y favorece la composición de grasa en leche. Un mayor nivel de almidón en la RTM favorece el volumen lácteo, mientras que aumentar la composición de grasa en la RTM suprime el consumo de materia seca.

## **Antecedentes**

Una de las necesidades fundamentales del ser humano a través de su desarrollo evolutivo e histórico ha sido la producción de alimentos, se piensa que incluso algunas civilizaciones llegaron a desaparecer por la falta de recursos alimenticios. El crecimiento poblacional mundial, que se espera alcance los 10 mil millones de habitantes para el año 2050; aunado al aumento del poder adquisitivo de las economías emergentes, ejercerá una enorme presión sobre la ya de por sí insuficiente producción de alimentos, que tendrá que aumentarse en eficiencia pero conservando el entorno natural. El panorama de la leche a nivel mundial sigue siendo importante, debido a que la leche provee los nutrientes esenciales para el ser humano, es una fuente de proteína, aminoácidos esenciales, energía y calcio, por lo anterior es importante su consumo en la etapa de crecimiento, además estimula el desarrollo cerebral desde edad temprana (Shimada, 2015; Peters, 2018). La producción de leche en nuestro país siempre ha ocupado un papel importante para la solvencia alimentaria, ya que se estima que en México existe un crecimiento poblacional del 1.3% por año lo que impone una mayor carga a este aspecto. México ocupa el noveno lugar en producción de leche mundial (3 de cada 100 litros de leche en el mundo son de México), con más de 11 mil millones de litros anuales, esperando un crecimiento de hasta el 1.7% en la producción de cada año; sin embargo, anualmente se incrementan un 13% las importaciones, teniendo como resultado un 53% del producto importado vs 47% de producto nacional (292,803 millones de toneladas vs 257,118 millones de toneladas, respectivamente) (Turiello, 2018; SIAP, 2016).

En este sentido, el manejo de la alimentación mediante el uso de la “Ración Totalmente Mezclada” (RTM) ha favorecido un mayor volumen de producción en el ganado bovino lechero a nivel nacional e internacional, además de que permite el control sobre el registro de consumo de ingredientes lo que se traduce en menores pérdidas económicas. En México el sistema de RTM se implementó bajo la influencia de sistemas de producción norteamericanos, el auge en este sistema vino en los años 90s, donde el mercado de alimentos, maquinaria y otras materias primas abrió sus puertas al sistema de producción

nacional, bajo el fundamento de optimizar la producción y cumplir con los estándares de calidad del mercado (conteo de células somáticas, composición de grasa en leche, entre otros factores) (O'Callaghan, 2016; Schingoethe, 2017; Arzola, 2010).

## **Capítulo 1: Introducción**

### ***La Ración Totalmente Mezclada y su función***

La RTM o “*Unifeed*” comenzó a usarse en la década de los 50, hoy en día es un método común de alimentación en el sistema intensivo. De acuerdo a la Universidad Estatal de Pensilvania (2011), la RTM se define como un sistema de mezcla cuantitativa de forrajes, concentrado y suplementos, formulada para satisfacer las necesidades nutricionales de mantenimiento y producción de los animales. El objetivo de la RTM es cubrir las demandas de nutrientes (energía, proteína, minerales, etc.) que exige la producción de las vacas lecheras; aunado a lo anterior, con este sistema de alimentación también se busca mantener la salud ruminal (NRC 2001).

Para implementar el sistema de RTM es necesario formular con base en el consumo de materia seca de los animales, su rendimiento lácteo, composición química del producto final (porcentaje de grasa, proteína, lactosa), peso y condición corporal, entre otros factores. Además es importante conocer las características químico nutricionales de las materias primas utilizadas (humedad, proteína, fibra detergente neutro –FDN-, minerales) así como su costo y disponibilidad (Penn State, 2011).

Oelberg y Stone (2014), sugieren una secuencia de mezclado de ingredientes en la preparación de la RTM, para una correcta homogeneidad (Figura 1); siendo este orden el siguiente: 1) forraje de mayor a menor tamaño de partícula, 2) alimentos húmedos y cereales, 3) alimento seco de baja inclusión y 4) agua.



**Figura 1. Efecto de no llevar a cabo la secuencia de mezclado adecuada (Oelberg y Stone 2016).**

El sistema RTM cuenta con ventajas y desventajas en su implementación, entre las ventajas más importantes que mencionan Lammers *et al.* (2012) en el sistema de RTM se encuentran:

- 1) Aumenta la utilización de nitrógeno (incluyendo nitrógeno no proteico) por parte de las bacterias, aumentando la producción de proteína microbiana.
- 2) La selección de alimento disminuye y con ello el desperdicio.
- 3) Se reduce la incidencia de problemas metabólicos y digestivos como acidosis ruminal subclínica, desplazamiento de abomaso o hipocalcemia.
- 4) La producción de leche puede incrementar hasta un 5% mayor respecto a raciones convencionales y otros sistemas de alimentación.
- 5) El consumo de materia puede ser hasta un 4% mayor respecto a otros sistemas de alimentación.
- 6) Mayor control sobre el consumo, ingredientes y registros (productivos y económicos).
- 7) Permite utilizar ingredientes de alto valor, así como incluir ingredientes que requieren un manejo particular o poco palatables.
- 8) Puede disminuir los costos de transporte y manejo de dietas comerciales, cuando se tiene el equipo y se cosecha una parte o la totalidad del alimento.

Sin embargo este sistema tiene como desventajas que requiere un grado mayor de inversión económica debido a la mecanización y mantenimiento de equipo por lo que se recomienda su utilización en unidades de producción con un número mayor a 100 animales para que sea redituable (Lammers *et al.* 2012; Oelberg *et al.* 2014).

Para volver más eficiente el sistema RTM es necesario conocer la disponibilidad y variedad de ingredientes, además que el sistema productivo lechero se divide en varias etapas fisiológicas y productivas (vacas secas, próximas al parto, recién páridas, altas productoras, y final de lactancia) por lo que sus demandas nutricionales se van modificando de acuerdo a su gasto metabólico y nivel productivo; esto exige un balanceo adecuado de la ración sin comprometer la salud ruminal (NRC, 2001).

## **Capítulo 2: Principales ingredientes utilizados en el sistema RTM**

En la alimentación del ganado vacuno lechero se utilizan varios tipos de ingredientes los cuales difieren de su origen, variedad, proceso o tratamiento, tiempo al corte, entre otros factores. De acuerdo al Consejo Nacional de investigación de Estados Unidos (NRC por sus siglas en inglés), estos son clasificados en 8 clases, para ser identificados: 1) forraje seco, 2) forraje fresco, 3) ensilados, 4) alimentos energéticos, 5) suplementos proteicos, 6) suplementos minerales, 7) suplementos vitamínicos y 8) aditivos.

La inclusión de cada ingrediente depende del nivel y/o calidad nutricional, costo, disponibilidad, época del año, experiencia del nutriólogo o granja, necesidades metabólicas y nutricionales del ganado, entre otros factores (Flores, 1980).

De acuerdo a NRC (2001) y Lammers (2012) la mayor proporción de ingredientes en la RTM está dada por los forrajes, en forma de heno, ensilado o como forraje fresco, a continuación se describen algunos forrajes comúnmente utilizados en este sistema.

## **Forrajes**

El sistema RTM incluye principalmente leguminosas y gramíneas; las cuales se pueden henificar o ensilar y difieren en su contenido proteico y energético, palatabilidad, digestibilidad, así como en características físicas como, gravedad específica, flotabilidad y fragilidad. Así también estas características mencionadas influyen sobre la tasa de pasaje a nivel retículo ruminal (Siciliano, 1991).

Las gramíneas tienen una menor digestibilidad que las leguminosas (alfalfa), debido a que estas últimas son más frágiles y poseen mayor capacidad de flotabilidad, disminuyendo así su tiempo de retención ruminal, lo que promueve un mayor consumo de materia seca de las leguminosas frente a las gramíneas (Allen, 2000).

## **Ensilado de maíz**

Este recurso forrajero es el más popular en la industria del ganado lechero en América, ya que es altamente palatable, es una rica fuente de FDN altamente digestible. Además, es un recurso energético (1.6 Mcal EN<sub>L</sub>/kg MS) y aproximadamente el 50 % de su valor energético proviene de su almidón (22-28% de la MS); la concentración de proteína cruda es de aproximadamente 8-9% en base seca (Tabla 1). La digestibilidad de este recurso se ve afectada por la madurez del forraje al momento de la cosecha y por el tipo de procesamiento al ensilar. Como consideraciones en su utilización es importante su manejo, ya que pueden ser fácilmente expuestos a la contaminación; utilizar ensilados de alta calidad puede comprometer la salud ruminal ya que pueden tener tasas de fermentación más altas, su disponibilidad en el mercado nacional es diversa por lo que es posible encontrar variaciones en su calidad o costo (NRC, 2001; Bredrosian *et al.*, 2012; Borreani, 2018).

## **Alfalfa**

Es una leguminosa perenne de gran calidad nutricional, ya que es una fuente rica en proteínas (18-24%) y algunos minerales como el calcio y el fosforo (Tabla 1), su

distribución es mundial, su manejo es diverso (henificado, ensilado o peletizado). Los cultivos de este forraje pueden tolerar hasta 12 cortes por año, su proceso de ensilaje es común, sin embargo requiere de aditivos que faciliten su fermentación por su bajo contenido de almidón. La concentración energética de la alfalfa es baja (1.07 Mcal EN<sub>L</sub>/kg MS) sin embargo, muestra una alta palatabilidad. Dentro de las consideraciones para su utilización destaca la fluctuación de su costo durante el año, es común que su precio aumente en épocas de lluvia debido a la dificultad en su henificado y durante el invierno ocasionado por la baja producción de este forraje (Radovic *et al.*, 2009).

### ***Heno de avena***

La avena es una gramínea de distribución mundial, sus cultivos se adaptan bien a climas fríos y soportan una elevada acidez en el suelo, presenta un alto nivel de fibra detergente neutro (55-58 % MS) y un bajo nivel de almidón, es pobre en calcio, pero alta en potasio, el contenido de proteína en esta planta oscila entre el 7 a 12% MS, y una densidad energética de alrededor de 1.18 Mcal EN<sub>L</sub>/kg MS (Tabla 1), es utilizada principalmente durante la etapa de transición debido a su contenido de FDN, es ampliamente utilizada en el norte del país y su costo no es tan elevado (NRC, 2001).

### ***Paja de trigo***

Es un forraje perteneciente al grupo de las gramíneas, la paja de trigo se obtiene partir del trigo que fue inicialmente sembrado para la producción de grano, sin embargo esta paja es cosechada y utilizada como recurso forrajero, es baja en proteína (3-4%) y energía (0.88Mcal EN<sub>L</sub>/kg MS); sin embargo, es una fuente rica de fibra detergente neutra (alrededor de 85% MS) (Tabla 1) para mantener la salud ruminal, este nivel de FDN hace que se utilice en etapa de transición lo que promueve la rumia, disminuye el riesgo de acidosis ruminal u otros padecimientos como desplazamiento de abomaso (NRC, 2001; Carder,2017).

### ***Triticale***

Es un forraje híbrido (trigo-centeno) perteneciente al grupo de las gramíneas, este recurso forrajero generalmente se ensila, sin embargo es muy rígido para su compactación, su costo puede ser elevado con respecto a otros ingredientes, su disponibilidad es limitada, sin embargo, presenta un aporte energético de aproximadamente 1.2 Mcal EN<sub>L</sub>/ Kg MS, es una fuente rica de fibra detergente neutra (42-45% MS; Tabla 1) (NRC, 2001; FEDNA, 2005).

### ***Pastos***

En la RTM se puede utilizar pastos, según el NRC (2001) y FEDNA (2005) poseen cualidades nutricionales como ser ricos en fibra detergente neutro (>20% MS), y poseer de 8 a 14 % de PC; sin embargo, su densidad energética es limitada (<1.5 Mcal/Kg EN<sub>L</sub>). Son perennes, económicos y altamente adaptables, existen más de 200 forrajes que difieren en su composición química, zona geográfica y costo, pueden ser ensilados, sin embargo, su manejo en la compactación y almacenamiento es delicado, por otro lado su rendimiento es menor debido al menor volumen de producción en comparación con otros forrajes (Tabla 2).

En la Tabla 1 se muestra la composición química y el contenido de energía promedio de los principales forrajes utilizados en la elaboración de raciones totalmente mezcladas, por otro lado en la Tabla 2 se muestran algunos pastos utilizados en la elaboración de RTM.

**Tabla 1. Composición química promedio de los principales forrajes utilizados en la RTM**

Ingrediente	%MS	%PC	%FDN	%FDA	%Almidón	%EE	% Cenizas	EN <sub>L</sub> (Mcal /Kg)
Heno de alfalfa	90±1.8	22±1.2	44.8±0.6	33.4±0.4	3.0±0.7	2.1±0.5	10.7±0.4	1.5±0.3
Ensilado de alfalfa	45±2.1	17±1.8	50±2.2	37±1.6	NE	2.3±0.2	11.4±0.5	1.2±0.4
Heno de Avena	90±2.2	12±0.7	56±1.2	34±1.2	9.7±0.3	2.2±0.7	8.3±0.4	1.18±0.3
Paja de avena	92±0.8	4±0.6	70±1.4	44±1.6	NE	1.5±0.3	7.4±0.2	1.0±0.2
Ensilado de maíz	28.2±2.4	7.2±1.2	46.1±1.2	24.6±0.8	24.4±2.6	2.5±0.6	3.9±0.3	1.8±0.2
Rastrojo de maíz	92.9±0.6	3.7±0.6	37.9±0.9	53.2±2.1	NE	0.6±0.3	6.6±0.2	1.65±0.2
Paja Trigo	91.0±0.3	4.2±1.1	77.5±0.7	50.0±0.4	1.0±0.2	1.4±0.4	6.7±0.4	0.9±0.2
Ensilado de Triticale	35.5±0.6	17.2±0.8	34.5±1.3	36.4±0.7	19.3±0.2	4.9±0.3	6.07±0.2	1.53±0.3

MS=Materia seca, PC= Proteína cruda, FDN= Fibra Detergente Neutra, FDA= Fibra Detergente Ácida, EE= Extracto etéreo, EN<sub>L</sub>=Energía neta de lactancia, NE= No Especificado  
(Adaptado de NRC, 2001; Eastridge 2017; Yang 2009, Yari 2014 e INRA 2007)

**Tabla 2. Composición química promedio de los principales pastos utilizados en la RTM**

Pasto	%MS	%PC	%FC	%FDN	%FDA	%EE	%Cenizas	EN <sub>L</sub>
Rye Grass	76.2±2.2	12.0±0.6	26.6±1.2	51.1±0.4	31.3±0.7	2.56±0.4	8.5±0.23	1.2±0.2
Orchard	89.1±1.4	10.0±0.4	30.2±1.2	63.7±1.1	36.5±0.4	3.3±0.3	8.7±0.1	1.2±0.3

MS=Materia seca, PC= Proteína cruda, FDN= Fibra Detergente Neutra, FDA= Fibra Detergente Ácida, EE= Extracto etéreo, EN<sub>L</sub>=Energía neta de lactancia, NE= No Especificado  
(Adaptado de NRC, 2001 y FEDNA, 2005)

## ***Ingredientes del concentrado más empleados en la RTM***

Estos ingredientes se caracterizan por aumentar la densidad nutricional de la dieta, algunos ingredientes son energéticos (>1.5 Mcal/Kg EN<sub>L</sub>) y otros proteicos (>18% PC). El nivel de inclusión de cada ingrediente depende de su costo, disponibilidad, toxicidad, tasa de fermentabilidad, efecto en la composición química de la leche, criterio del nutriólogo y época del año, entre otros factores (Flores 1980, Aguerre, 2011). En la Tabla 3 se muestran algunos ingredientes comunes del concentrado utilizados en la RTM.

### ***Pasta de Soya***

Presenta un nivel elevado de proteína (>40% en base seca), demuestra una excelente palatabilidad y digestibilidad, además de ser una rica fuente de energía (1.94 EN<sub>L</sub> Mcal/Kg MS) (Tabla 3). Su nivel de inclusión generalmente es bajo, debido a su alto costo y su baja disponibilidad, su nivel de inclusión por encima del 6% MS puede ocasionar bajas en la composición de grasa en leche (NRC, 2001, FEDNA 2005).

### ***Canola***

Después de la pasta de soya es el recurso de proteína y energía más utilizado a nivel mundial, su nivel de proteína es mayor al 35% y su nivel energético es de 1.5 Mcal EN<sub>L</sub>/Kg MS (Tabla 3), su densidad energética proviene de su contenido de lípidos (3.6%) ya que su contenido de almidón es bajo (5.1%), su uso por encima del nivel de inclusión recomendado (>20% MS) puede ocasionar depresión de la grasa en leche, su costo puede ser elevado principalmente en las zonas centro de México (FEDNA, 2005; Newkirk, 2008)

### ***Maíz rolado/Maíz molido***

El proceso de rolado y molido son tratamientos para aumentar la digestibilidad y la eficiencia energética del grano de maíz. El maíz molido presenta 1.8 Mcal EN<sub>L</sub>/ Kg MS y el maíz rolado 2.04 Mcal EN<sub>L</sub>/ Kg y tienen un nivel de proteína similar (8-10% base seca) (Tabla 3); a pesar de esto presentan diferencias de digestibilidad, solubilidad y patrones de fermentación (NRC, 2001; FEDNA, 2005).

### ***Recursos de fibra no forrajeros en la RTM***

Los recursos de fibra no forrajeros son subproductos vegetales o industriales con valor alimenticio; pueden aportar pectinas, ácidos grasos poliinsaturados, entre otras sustancias nutricionales (Holt, 2010). Los ingredientes más comunes son los subproductos de cervecería, cascarilla de soya, semilla de algodón y la pulpa de cítricos; y son empleados principalmente en unidades de alta producción en zonas donde el forraje suele ser escaso (Alamouti *et al.*, 2014; Eastridge *et al.*, 2017). Estos ingredientes son altamente digestibles (>60%), pero no tienen las cualidades físicas de un forraje (tamaño de partícula óptimo) que estimule la rumia; sin embargo, son precursores de ácido propiónico, compuesto gluconeogénico que al favorecer la síntesis de lactosa que aumenta el volumen de leche (Alamouti *et al.*, 2014; Sari *et al.*, 2015).

#### ***Cascarilla de soya***

Es un subproducto derivado del proceso de la extracción del aceite de la semilla, es ampliamente utilizado en el ganado lechero a nivel mundial por su alto contenido de fibra detergente neutra (> 60% MS), sin embargo su digestibilidad es mayor al 80%. Su densidad proteica oscila entre el 7-20%, por ser un recurso de fibra no forrajera su uso se limita a 1.5% total de la dieta ya que este tipo de fibra no promueve una rumia eficiente, su costo puede ser elevado, su disponibilidad variable y tiene poca palatabilidad (NRC, 2001; FEDNA 2005).

#### ***Subproductos de destilería.***

El origen de este ingrediente es el proceso de fermentación de bebidas alcohólicas o etanol para uso de biocombustible provenientes del maíz, cebada, entre otras materias primas; son una fuente importante de energía (1.6 Mcal EN<sub>L</sub>/ Kg MS), fibra detergente neutra no forrajera (32% base seca) y proteína (25- 30% base seca), su limitante es la disponibilidad en cierta época del año y cambios en la composición química de la leche (disminuye la concentración de grasa en leche) (FEDNA, 2005).

### ***Semilla de algodón.***

Se utiliza principalmente en la alimentación de vacas productoras de leche, es una fuente de Fibra Detergente Neutro (40 % base seca), su nivel de proteína es alto (20% base seca) y un aporte energético alto (1.9 Mcal EN<sub>L</sub>/ Kg MS), por su nivel de lípidos es utilizado como grasa de sobrepaso. El nivel de inclusión generalmente es bajo por no ser una fuente de fibra forrajera y por su costo generalmente alto. Su uso estimula las papilas ruminales pero disminuye el porcentaje de grasa en la leche (debido su contenido de ácido esteárico y oleico principalmente); asimismo la inclusión se limita al 12% MS debido a su contenido de gosispol, el cual puede causar problemas hepáticos y renales (NRC, 2001; FEDNA, 2005; Wang 2012).

### ***Pulpa de cítricos.***

Es un subproducto de la industria de jugos de naranja, esta principalmente compuesta por la cáscara, con un moderado nivel de pectina, es un ingrediente de alta palatabilidad y digestibilidad (>85%), presenta un alto contenido energético (1.7 Mcal EN<sub>L</sub> /Kg MS) y su contenido de proteína es bajo (8% base seca) al igual que de extracto etéreo (3% base seca), su nivel de fibra detergente neutro es de aproximadamente 26% en base seca y es mayormente utilizada en climas cálidos (NRC, 2001; FEDNA,2005).

**Tabla 3. Ingredientes más comunes utilizados en el concentrado de la RTM**

Ingrediente	%MS	%PC	%FDN	%FDA	%Almidón	%EE	EN <sub>L</sub> (Mcal /Kg)
<b>Canola</b>	92.0±0.4	44.0±1.2	21.0±3.2	16.8±0.6	5.1±0.7	3.6±0.3	1.5±0.5
<b>S. Algodón</b>	92.0±0.5	20.0±2.6	40.0±2.5	33.0±0.7	0.0	18.0±1.2	1.9±0.4
<b>Pasta de soya</b>	90.0±1.2	40.0±4.4	10.0±2.6	5.4±0.9	0.5±0.6	1.8±0.4	1.9±0.2
<b>B. Cervecería</b>	92.0±0.6	23.0±3.1	43.0±2.4	17.0±2.1	13.0±0.7	10.3±1.6	1.6±0.2
<b>Maíz rolado</b>	90±0.7	8.0±2.1	9.0±2.1	3.0±1.2	15.0±2.1	4.0±0.7	2.04±0.5
<b>Maíz molido</b>	90±1.1	8.0±1.4	9.0±1.8	3.0±1.8	15.0±1.2	4.0±0.9	1.8±0.3
<b>Pulpa cítricos</b>	90±1.2	6.7±2.1	26.0±2.2	23.0±2.2	0.0	3.7±0.6	1.77±0.3

MS=Materia seca, PC= Proteína cruda, FDN= Fibra Detergente Neutra, FDA= Fibra Detergente Ácida, EE= Extracto etéreo, EN<sub>L</sub>=Energía neta de lactancia, NE= No Especificado

### Capítulo 3: Etapas productivas y sus necesidades nutricionales

La mayoría de los cambios adaptativos ocurren durante el periodo periparto, las demandas energéticas y proteicas de la vaca son mayores a las ingeridas en la dieta, por ello no sólo se busca disminuir el balance energético negativo sino evitar complicaciones al parto, promover la calostrogénesis y lactogénesis. Las vacas obtienen energía para la producción de leche de dos fuentes importantes: la primera del consumo de alimento y la segunda de la movilización de reservas corporales (Kuhla, 2016).

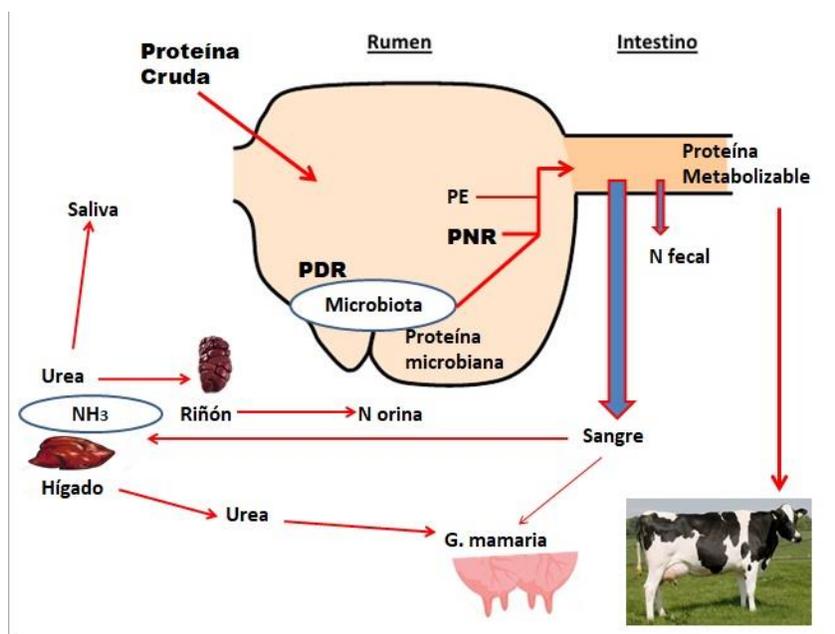
La movilización de reservas corporales proviene del hígado, músculo (glucógeno y proteína), y del tejido adiposo (triglicéridos), el grado de movilización corporal en este periodo está determinado por el grado de almacenamiento de grasas en el último periodo lactacional y el periodo seco. Un sobre acondicionamiento energético y corporal durante el periodo preparto promueve una mayor pérdida de condición corporal, un menor consumo de alimento y un menor contenido de grasa en leche. El nivel de proteína en la ración es importante porque promueve el crecimiento fetal, la cicatrización de tejidos

(puerperio), la fertilidad, mejora la condición corporal y la inmunidad (Konnonof, 2003a; Kuhla 2016).

Las proteínas y los carbohidratos son los dos nutrientes principales incluidos en las dietas de las vacas lecheras en este periodo, el suministro equilibrado de carbohidratos y proteínas contribuye a aumentar el desempeño productivo del animal, mejorar la eficiencia alimenticia y reducir además la contaminación ambiental. Una forma de mejorar la eficiencia del consumo de N es utilizar los carbohidratos de la dieta como fuente de energía fermentable, para que la fermentación ruminal de los carbohidratos se adapte a la degradación de las proteínas ruminales (Santos *et al.*, 1998; Broderick, 2004). La eficiencia del consumo de PC en la dieta es mayor en las vacas lecheras que en cualquier otro rumiante, la necesidad de atenuar el balance energético negativo, mantener la producción de leche y mantener la salud posterior al parto, son algunos factores importantes, sin embargo, las vacas excretan aproximadamente 2 a 3 veces más N en materia fecal que en su leche, debido al metabolismo bacteriano, es importante así resaltar, que conforme se aumenta el contenido de proteína cruda (PC) en la dieta, incrementa el nivel de proteína degradable en rumen (PDR), es decir, aquella cantidad de proteína que es aprovechada por la microbiota ruminal, a la porción no digerida se le conoce como proteína no degradada en rumen (PNR) (Broderick, 2003; Bahrami-Yekdangi *et al.*, 2014). Si el nivel de PDR excede los requisitos microbianos, se producen grandes cantidades de  $\text{NH}_3$ , que se absorben en la sangre, se convierten en urea en el hígado y se excretan en la orina. La proteína microbiana sintetizada en rumen (PMC), la Proteína no degradada en rumen (PNR) entre otras proteínas endógenas (PE) continúan su paso a nivel intestinal, donde terminan de ser digeridas y aprovechadas por el animal, a esta proteína se le conoce como proteína metabolizable (PM) y tiene como objetivo mantener las necesidades fisiológicas, metabólicas y de producción del animal (NRC, 2001, Fenwick *et al.*, 2006). En vacas de alta producción, la proteína microbiana suministra una parte menor del requerimiento de proteína; ésta proteína degradable en rumen es absorbida hacia la sangre y puede ser aprovechada por el animal, por otro lado, la proporción de proteína que escapa de la degradación ruminal es absorbida en intestino teniendo como principal objetivo cumplir

con los requerimientos de proteína del animal y de producción (Bahrami-Yekdangi *et al.*, 2014).

**Figura 2. Metabolismo proteico en el rumen**

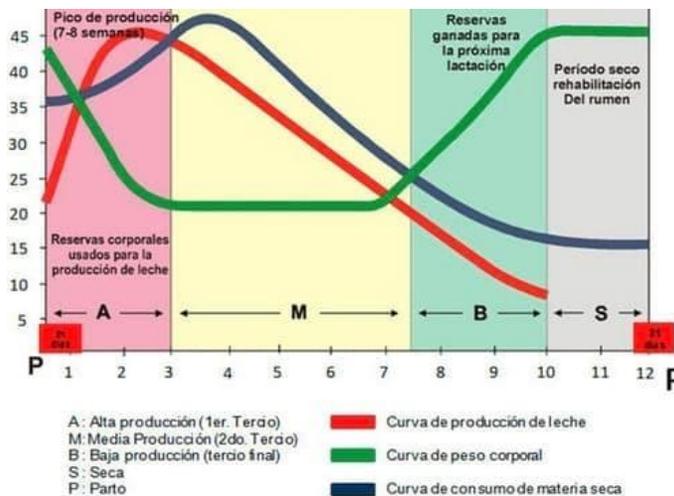


(Adaptado de Fenwick *et al.*, 2006)

En el periodo preparto las vacas disminuyen su consumo debido al llenado ruminal ocasionado por el contenido de fibra en la dieta (>30% MS), aumenta el tiempo de retención ruminal (energía de larga disponibilidad) y aumenta la producción de ácido acético, el cual ahorra la utilización de glucosa extra hepática, por otro lado se activan mecano-receptores de saciedad a nivel intestinal y disminuye la acumulación de grasas por un aumento en la concentración de insulina (Allen, 2009; Dann 2014,).

Al inicio de la lactación se incrementa el nivel de almidón en la dieta como recurso energético, aumentando la producción de ácido propiónico en el rumen provocando un menor consumo de alimento ya que a nivel hepático se promueve la oxidación de acetyl CoA. Conforme aumenta la producción de leche incrementa la concentración de glucosa plasmática que estimula la secreción de insulina, disminuye la lipólisis y la concentración

plasmática de ácidos grasos no esterificados (AGNEs), los cuales al oxidarse en menor proporción disminuyen las señales de saciedad a nivel cerebral y se oxida en menor grado la acetil CoA aumentando el consumo de alimento (Allen 2009, Kuhla 2016).



**Figura 3. Curva de lactación, consumo de materia seca y peso corporal (Adaptado de Edmondson, 1989)**

### ***Vacas secas (primeros 40 días de secado)***

Durante esta etapa, los animales ganan peso debido a que dejan de perder energía utilizada por la lactancia, su manejo alimenticio implica no exceder las demandas energéticas, ni proteicas para evitar el sobre peso, es importante mantener la condición corporal óptima (3.5) hasta el parto, durante esta etapa, en el manejo alimenticio se ofrecen una dieta rica en forrajes (>70%) y baja proporción de concentrado (<30%), con las que las necesidades energéticas (1.30 Mcal EN<sub>L</sub> /Kg MS) y proteicas (12 % base MS) de estos animales y las del feto en rápido crecimiento son cubiertas (Lean, 2010; Allen 2014).

### ***Últimos 20 días de secado (vacas próximas al parto)***

Durante esta etapa los animales deben de tener un periodo de adaptación, se debe empezar a suministrar almidón (± 22% en base seca) para prevenir disturbios digestivos como acidosis ruminal subclínica en el periodo posparto; sin embargo, otros manejos alimenticios deben implementarse como reducir la concentración de Ca<sup>2+</sup> (<1% base seca)

y K<sup>+</sup> (<1.5% base seca) en la dieta, para prevenir enfermedades metabólicas como la hipocalcemia, por lo que forrajes como alfalfa, triticale, cebada y avena en la dieta deben ser limitados. Densidades energéticas de 1.50-1.60 Mcal EN<sub>L</sub>/Kg MS y proteicas de 14 a 16 % cubren las demandas totales de la vaca, del feto y de la glándula mamaria durante la calostrogénesis (Allen, 2009; Alleri, 2016).

### ***Vacas recién paridas (Primeras 2 semanas posparto)***

Durante esta etapa, las vacas necesitan una densidad energética (1.70 Mcal EN<sub>L</sub>/ Kg MS) y proteica (16-18 %) suficiente para mantener una lactogénesis óptima y atenuar el balance energético negativo presente, la concentración de almidón debe estar alrededor del 24 % en base seca, por otro lado, la concentración de FDN debe ser mayor al 25% en base seca, para evitar disturbios digestivos (acidosis ruminal subclínica), es una etapa crítica y es importante promover un consumo adecuado de materia seca (2.5 % del peso vivo) para prevenir enfermedades metabólicas como la cetosis. Se debe utilizar forrajes de alta palatabilidad y digestibilidad con una alta tasa de pasaje ruminal como el ensilado de maíz, asimismo se pueden utilizar ingredientes ricos en pectinas que favorecen la fermentación a ácido propiónico (Allen, 2014).

### ***Vacas altas productoras (>2 semanas pos parto)***

Las vacas durante esta etapa requieren cantidades elevadas de glucosa para mantener la salud y la producción láctea, la concentración de almidón en la dieta debe oscilar alrededor del 28 % base seca y un 16-17% de PC base seca, con una concentración mínima de 25% de FDN para evitar los disturbios digestivos antes señalados, los ingredientes forrajeros y del concentrado deben ser similares a la etapa anterior para mantener un equilibrio en la población ruminal (Allen, 2014; Alleri 2016).

### **Necesidades nutricionales del ganado vacuno lechero**

Lean y colaboradores (2010), proponen la siguiente composición nutricional con base a cada kilogramo de MS para vacas lecheras sin tomar en cuenta factores como el nivel de producción o calidad de leche.

**Tabla 4. Composición química y nutricional recomendada de la ración para vacas lecheras por kg de MS (Adaptado de Lean et al, 2010 y NRC, 2001)**

Nutriente	Vacas secas	Vacas de Transición	Vacas frescas
Consumo MS (% Peso Vivo)	1.9-2.1	1.6-1.8	2.5
PC (% / kg MS)	>12	14-16	16-18
*PDR (% PC)	68-72	64-67	60
Mcal EN <sub>L</sub> / kg MS	1.30	1.50-1.60	1.70-1.75
Almidón (%)	>18	18-22	22-24
Azúcares simples (%)	>4	4-6	6-8
FDN (%)	38-45	33-38	25-33
Grasa (%)	3%	4-5%	4-5%

PDR= Proteína degradable en rumen, FDN=Fibra detergente neutro, PC=Proteína cruda, MS=Materia seca

## **Capítulo 4: Componentes físicos de la RTM, su efecto sobre el desempeño productivo y la composición química de la leche**

La RTM se compone de diversos ingredientes que difieren en su presentación, composición química y nivel de inclusión, sin embargo, la RTM posee características físicas importantes que pueden determinar su calidad e integridad. Diversos factores como la secuencia, el tiempo y el tipo de mezclado; humedad, tamaño de partícula de los forrajes, tipo de forraje, entre otros, pueden ser además determinantes para el desempeño productivo de los animales.

### ***Materia seca***

En los programas de alimentación de las vacas lecheras, la ingestión de materia seca es uno de los factores más importantes; en la práctica las raciones son formuladas con base en la concentración de nutrientes (porcentaje de proteína, Megacalorías de EN<sub>L</sub> sobre kilogramo de materia seca). Sin embargo, los animales necesitan un aporte total de

nutrientes diarios, y para ello basta con multiplicar la concentración de dicho nutriente por la cantidad total de materia seca ingerida por día (Lean *et al.*, 2010). El principal objetivo es controlar la alimentación de las vacas lecheras, por lo que es importante conocer el consumo real del alimento de los diferentes corrales en la unidad de producción, este se puede obtener fácilmente pesando la cantidad total ofrecida y restando su desperdicio (que debe ser no menor al 2% ni mayor al 3%) de esta manera se reduce el riesgo de subalimentación o sobre-alimentación (Kononoff *et al.*, 2003a).

En este sentido, el consumo voluntario se define como: la capacidad de ingestión de alimento que tienen los animales sin ser limitados por las condiciones de manejo. Su importancia radica en que existe una correlación positiva entre el consumo de materia seca y el rendimiento lácteo (Sapper, 2002; Lutter y Nestler 2009; Allen, 2014). Sin embargo, factores propios del animal (paridad, estado fisiológico, días en leche, condición corporal, etc.), de la ración (palatabilidad, tamaño de partícula de los forrajes, relación forraje: concentrado en la dieta) y factores ambientales (densidad poblacional, calor, instalaciones) pueden afectar y regular este consumo (Leonardi y Armentano, 2005; Devries, 2012).

### ***Humedad en la RTM***

Adicionar agua a la ración es una práctica común, hasta alcanzar un 40-60 % de MS, ya que esto favorece un mayor consumo de alimento, mejor digestibilidad, desempeño productivo, así como un menor rechazo y/o selección de alimento (Eastridge 2006; Felton y Devries 2010). La temperatura junto con la humedad juegan un papel importante en la integridad de la ración, en este sentido, temperaturas mayores a 30°C promueven la descomposición del alimento, lo que aumenta el rechazo del alimento, menor consumo y producción láctea (Felton y DeVries, 2010).

Para evaluar el efecto de la humedad en la RTM Leonardi *et al.* (2005) agregaron agua a la ración para aumentar el nivel de humedad del 20 al 65% y compararla con una dieta seca

(80% vs 65% humedad), en sus resultados muestran que la dieta con mayor porcentaje de humedad promueve un mayor consumo de FDN (21.7 vs 22.6% MS,  $p < 0.05$ ) sin embargo, esto no tiene efectos sobre la producción de leche, además mencionan que agregar agua a la ración aumenta el rechazo de partículas grandes. En este sentido, Devries & Gill (2012) agregaron melaza al 4.1% de nivel de inclusión en la RTM para aumentar el nivel de humedad y lo compararon con una dieta similar en ingredientes pero sin inclusión de melaza, en sus resultados muestran que la RTM con melaza aumentó el consumo de materia seca y azúcares, asimismo numéricamente la producción de leche fue mayor (43.1 vs 41.2 Kg/d  $p = 0.08$ ) así como el porcentaje de grasa en leche (3.81 vs 3.92  $p = 0.42$ ), por otro lado, estos investigadores concluyen que la melaza promueve el consumo de materia seca gracias a su alta palatabilidad, su contenido de azúcares solubles son fuente de energía para la producción de leche. Esto muestra que, en general, agregar agua o alimentos líquidos a la RTM promueve un menor rechazo de partículas pequeñas debido al efecto de compactación y retención de partículas finas y polvos.

Sin embargo; Millercushon *et al.*, (2009) al evaluar el efecto de la humedad sobre el consumo de materia seca y el desempeño productivo, en vacas Holstein ( $139.3 \pm 53.3$  días en leche) asignadas aleatoriamente a dos niveles de humedad diferentes en la RTM (50% vs 40%) encontraron que hubo un mayor consumo de materia seca, FDN y almidón a favor del alimento seco (40% humedad) y que la producción de leche fue numéricamente mayor (37.1 vs 36.3 Kg/d  $p = 0.3$ ) debido a un mayor consumo de almidón en la dieta. Estos investigadores concluyeron que el factor agua no altera la composición de la leche, sin embargo, puede disminuir el consumo debido a que el agua puede disminuir la palatabilidad de la ración, por otro lado, el llenado ruminal en dietas húmedas es mayor, lo que disminuye el consumo de materia seca.

En este mismo sentido, Felton y DeVries (2010), evaluaron el efecto del nivel de humedad en la RTM, sobre el consumo de materia seca, desempeño productivo y su composición láctea, ellos utilizaron vacas Holstein ( $155 \pm 60.1$  días en leche) asignadas aleatoriamente a uno de tres tratamientos alimenticios: 1) 43.7% de humedad, 2) 49.2% de humedad y 3)

55.9 % de humedad. Los resultados demostraron que conforme aumenta el nivel de humedad en la RTM disminuye el consumo de materia seca, pero aumenta el consumo de partículas pequeñas, por otro lado, el desempeño productivo y la composición química no tuvieron diferencias estadísticas. Estos investigadores concluyen que aumentar el nivel de humedad mayor al 50% alimento disminuye el consumo de materia seca, almidón y FDN, además de que la humedad favorece el consumo de partículas finas por efectos de retención (Tabla 5).

En un estudio similar Arzola *et. al.*, (2010) evaluaron el efecto de la humedad en la distribución de partículas de la RTM a nivel de nivel de comedero y mezclador (superficie, mitad y fondo), en cuatro granjas con vacas Holstein. En sus resultados muestran que la humedad en la ración favorece la distribución de partículas pequeñas y medianas en la parte media y superficial tanto del comedero como del mezclador, alojando las partículas más grandes en el fondo; esto debido al efecto del agua que por adherencia de partículas limitan su movimiento de una criba a otra, lo que ayuda a reducir el polvo en la ración, el posible desperdicio y favorece la homogeneidad de la ración; lo que podría disminuir el tiempo de mezclado, promover una menor utilización de combustible y por ende un ahorro económico.

**Tabla 5. Efecto del nivel de humedad en la RTM sobre el consumo de materia seca, FDN, almidón y desempeño productivo**

Rango Humedad (%)	Consumo MS (Kg/d)	Consumo FDN (Kg/d)	Consumo almidón (Kg/d)	Leche (Kg/d)	Grasa (%)	Proteína (%)	Autor
<b>Muy bajo (10.0-20.0)</b>	20.3	6.15	NE	41.4	3.1	3.3	Leonardi (2005)
<b>Bajo (40.0-43.7)</b>	32.8 ●	9.7 ●	9.3 ●	37.1	3.4	3.4	Millercushon (2009)
	28.4 ■	9.3 ■	7.9 ■	30.5	3.9	3.4	Devries (2010)
<b>Medio (49.2-51.1)</b>	29.6 ●	8.7 ●	8.5 ●	36.3	3.4	3.4	Millercushon (2009)
	26.1 ■	8.6 ■	7.2 ■	31.3	3.8	3.4	Devries (2010)
	27.7 ◆	7.9	7.7	41.2	3.8	3.3	Devries & Gill (2012)
<b>Alto (51.2-60%)</b>	24.2 ■	8 ■	6.8 ■	31.1	3.92	3.41	Devries (2010)
	29.1 ◆	8.2	7.7	43.1	3.92	3.35	Devries & Gill (2012)
<b>Muy alto (&gt;60.0)</b>	28.3	6.42	NE	41.2	3.16	3.41	Leonardi (2005)

Superíndices iguales dentro de la misma columna indican diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ )

### ***Tamaño de Partícula de los forrajes***

La Ración Totalmente Mezclada promueve un consumo de ingredientes de manera uniforme, sin embargo, las vacas seleccionan componentes específicos de la ración (grano o partículas pequeñas de forraje) y esto puede provocar disturbios digestivos (acidosis

ruminal subclínica); es por ello que las vacas deben consumir una cantidad de tamaño óptimo de partícula que promueva un consumo idóneo de materia seca (Devries, 2012). Una forma de evaluar esta característica de la ración es el uso de cribas para determinar el tamaño medio de las partículas de alimento, en este sentido, el separador de partículas de Penn State es una herramienta que clasifica y cuantifica los diferentes tamaños de partículas de la RTM.

En la figura 4 se esquematiza la manera de usar este separador, mientras que en la Tabla 6 se muestra el tamaño de partícula ideal de diferentes alimentos usados en el ganado lechero (Kononoff et al., 2003a). Una ventaja de este tipo de pruebas es que se puede evaluar el tamaño de partícula de la dieta recién servida y del rechazo, la diferencia entre éstos permite determinar el grado de selección que realizan los animales al consumir la ración.

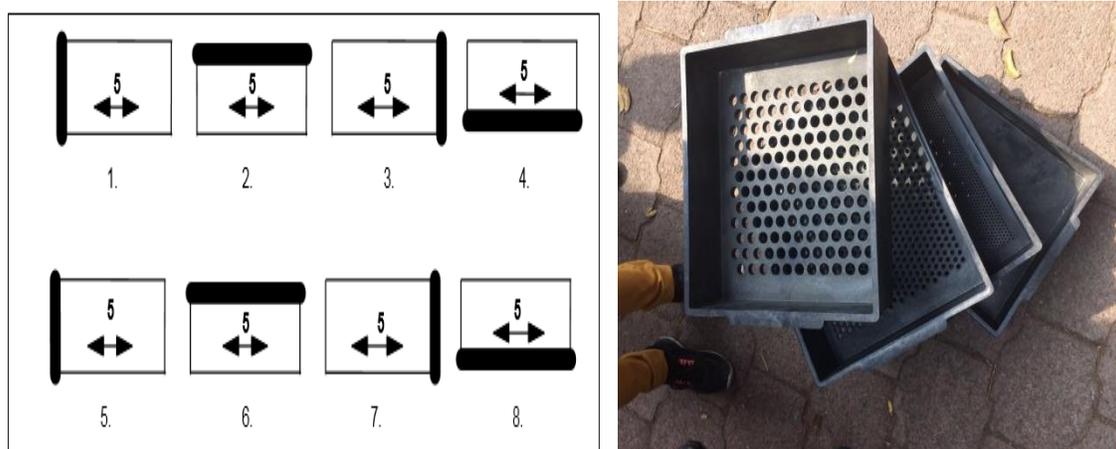


Figura 4. Esquema del uso del cajón de Penn State y Cajón de Penn State (Penn State, 2011)

**Tabla 6. Recomendaciones para el tamaño de partícula de forrajes y RTM (Kononoff et al., 2003a).**

Cajón Penn State	Poro (mm)	Partícula (mm)	Ensilado de Maíz (%)	Heno (%)	RTM (%)
<b>Criba Superior</b>	19.0	>19.0	3-8	10-20	2-8
<b>Criba Media</b>	8.0	8.0 - 19.0	45-65	45-75	30-50
<b>Criba inferior</b>	1.18	1.67 - 8.0	30-40	20-30	30-50
<b>Bandeja Baja</b>	0	<1.67	<5	<5	≤20

Respecto a las consecuencias que tiene el tamaño de partícula en el ganado lechero, Kononoff *et.al.*, (2003a), evaluaron el efecto de reducir el tamaño de partícula del ensilado de maíz e incluirlo en la RTM sobre el consumo de materia seca, desempeño productivo y composición láctea, estos investigadores utilizaron vacas Holstein (110 ± 4 días en leche, 675 ± 70 kg) asignadas a uno de cuatro tratamientos alimenticios, en los cuales las proporciones entre ingredientes y la composición química fue similar entre dietas (16% PC, 33% FDN); de estos, los tratamientos más sobresalientes fueron el tamaño de partícula corto contra largo (7.4 vs 8.8 mm, respectivamente). Los resultados mostraron que conforme se reduce el tamaño de partícula del ensilado de maíz, se favorece numéricamente el consumo de materia seca y el consumo de FDN de la ración (8.9 vs 8.1 Kg/d,  $p < 0.05$ ), por otro lado el rendimiento lácteo y su composición química no tuvieron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ), en contraste, se encontró que esta reducción en el tamaño de partícula disminuyó ligeramente la producción de ácido acético (59.6 vs 59.9 mol/100 mol,  $p < 0.05$ ) por lo que reducir el tamaño de partícula podría disminuir la concentración de grasa en leche (Tabla 7).

En este mismo sentido, Esmaeili *et.al.*, (2016) evaluaron el efecto del tamaño de partícula sobre el desempeño productivo y la composición de la leche, en este estudio utilizaron vacas Holstein de 15 granjas (83 ± 38 vacas por tratamiento, 109 ± 12 días en leche)

asignadas a tres tamaños de partículas diferentes de la RTM: 1) Corto (4.6mm), 2) Mediano (5.4 mm), 3) Largo (6.7mm). Los resultados de este trabajo, al igual que el realizado por Kononoff *et. al.* (2003) coinciden en que el tamaño de partícula no afecta la producción de leche pero si la composición grasa pues los animales consumen mayor cantidad de FDN (Tabla 7)

Por otra parte, Coon *et.al.*, (2018), estudiaron el efecto de disminuir el tamaño de partícula de la paja de trigo sobre el consumo de materia seca, desempeño productivo y su composición química. Estos investigadores utilizaron vacas Holstein asignadas a uno de dos tamaños de partículas: 1) corto (2.54 cm) y 2) largo (5.08 cm) ambas dietas fueron isoproteicas e isoenergéticas (15% PC, 1.63 EN<sub>L</sub>). Los resultados que obtuvieron afirman que disminuir el tamaño de partícula de la paja de trigo no tiene efecto sobre el consumo de materia seca ni en el rendimiento lácteo; sin embargo, y en contraste con lo reportado para el ensilado de maíz (Kononoff, 2003a) y RTM (Esmaeilli, 2016), esta reducción no tuvo efecto en la concentración de grasa en leche (Tabla 7).

**Tabla 7. Efecto de modificar el tamaño de partícula en la RTM sobre el consumo de MS y desempeño productivo**

Rango Tamaño de Partícula	Consumo MS (Kg/d)	Leche (Kg/d)	Grasa (%)	Proteína (%)	Autor
<b>Corto</b> <b>(4.46 - 5.0 mm)</b>	25.9	NE	NE	NE	Maulfair (2011)
	NE	41.8	2.8	2.9	Esmaeili (2016)
<b>Mediano</b> <b>(5.1 - 6.0 mm)</b>	27.1	NE	NE	NE	Maulfair (2011)
	23.6	NE	NE	NE	Maulfair (2011)
	25.3	NE	NE	NE	Maulfair (2011)
	NE	46.1	3.17	2.92	Esmaeili (2016)
<b>Grande</b> <b>(6.1 - 7.0 mm)</b>	NE	44.4	3.18	2.45	Esmaeili (2016)
	28	43.1	3.7	2.8	Kononoff(2003a)
	19	38.1	5.2	4.3	Coon (2018)
<b>Extragrande</b> <b>(7.1 mm - 5.08 cm)</b>	25.7	42.4	3.7	2.8	Kononoff(2003a)
	19	36.1	5.1	4.1	Coon (2018)

Superíndices iguales dentro de la misma columna indican diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ )

NE= No Especificado

### ***La Fibra Detergente Neutra efectiva (peFDN)***

La Fibra Detergente Neutra efectiva (peFDN) es aquella que estimula la rumia, ésta se obtiene a partir de la multiplicación entre la concentración de FDN en el alimento ingerido por el tamaño de partícula ( $peNDF = pef$  (factor físicamente efectivo o tamaño medio de partícula)  $\times$  %FDN de la muestra) y es importante porque ayuda a prevenir desbalances de pH como la acidosis ruminal subclínica (Beauchemin, 2005; Yang, 2009; White, 2017).

Normalmente las vacas consumen diferentes tamaños de partícula, la importancia de este tamaño de partícula radica en que conforme aumenta el contenido de fibra y el tamaño de partícula, es mayor el contenido de fibra efectiva. La variación en el tamaño de partícula influye sobre el tiempo de pasaje ruminal, tasa de fermentación y su digestibilidad, dietas que contienen tamaños de partícula grandes (> 8mm) pueden disminuir el consumo de materia seca debido al efecto de llenado ruminal, además esta relación entre el tamaño de partícula y el contenido de fibra, mantienen el pH ruminal, estimula la rumia y masticación (Van Soest, 1994). Conforme disminuye el tamaño de partícula incrementa el consumo de materia seca debido a un aumento en la densidad de partículas (Allen, 2000; Yansari *et al.* 2004 y Beauchemin *et al.* 2005) encontraron que ofrecer dietas con baja calidad (alto contenido de fibra) pero con tamaños de partícula cortos (<8 mm) aumentaron el consumo de materia seca.

Para comprobar el efecto del tamaño de partícula sobre la composición de fibra detergente neutro efectiva Grant *et al.* (1990) demostraron que las vacas que se les ofrecieron dietas con tamaños de partícula pequeños (<1.18 mm) rumiaron 2.5 hrs menos que aquellas que se les ofreció tamaños de partícula largos, esto además disminuyó la producción de bicarbonato, lo que puede comprometer el pH ruminal. En estudios similares se menciona que reducir el tamaño de partícula (<3mm) disminuye la actividad de masticación (Beauchemin *et.al* 2003; Tafaj *et al.*, 2005). Kahyani *et al.*, (2013) en un experimento donde se aumentó el tamaño de partícula del alfalfa en la RTM, reporta que conforme aumenta el tamaño del poro de la criba de 2.1 mm a 5.0 mm el consumo de peFDN es mayor así como el tiempo de rumia y masticación.

En otro sentido, Yang *et.al.* (2009) evaluaron el nivel de peFDN en la RTM, sobre el consumo de materia seca, rendimiento lácteo y su composición química, utilizaron vacas Holstein (65 ± 20 días en leche) asignadas a uno de cuatro tratamientos y los tratamientos más sobresalientes fueron el nivel de peFDN baja vs peFDN alta (10.7 vs 14.1%), ya que conforme aumenta el nivel de fibra detergente neutro efectiva disminuye el consumo de materia seca y la producción de leche así como su composición no se vieron afectados.

## **CAPÍTULO 5: Componentes químicos y su efecto sobre el desempeño productivo y la composición química de la leche**

El sistema RTM es complejo en su composición, su integridad física es determinante en la producción y/o de desempeño de los animales. Sin embargo, no solo el factor físico es importante en este sistema, la composición química de la RTM permite a nivel fisiológico y metabólico del animal, alcanzar su máximo desempeño y mantener su salud. La formulación es una herramienta indispensable para incluir los niveles nutricionales deseados, de acuerdo a su etapa productiva, etapa fisiológica, recursos y disponibilidad de ingredientes. Esto permite al productor implementar medidas correctivas, prospectivas y de desarrollo. El sistema RTM permite ofrecer de manera uniforme los niveles de proteína, energía, fibra y almidón en la dieta, siendo así un sistema importante para la alimentación animal; sin embargo, no todos los ingredientes satisfacen las necesidades nutricionales, difieren en su calidad, concentración de nutrientes, presentación, tasa de fermentación, digestibilidad, disponibilidad y nivel de inclusión.

### ***Almidón***

El almidón es un polisacárido (amilosa y amilopectina) altamente digestible y energético, su inclusión en la RTM puede llegar a un nivel de  $\geq 28\%$  en base seca, es el principal componente de los carbohidratos no fibrosos (NRC, 2001). En conjunto con azúcares solubles, favorecen una alta población microbiana e incrementa el flujo de proteínas de origen bacteriano al abomaso-duodeno, cubriendo las necesidades de mantenimiento y producción del animal (Dann, 2014). La fermentación de estos carbohidratos promueve la síntesis de ácido propiónico, compuesto gluconeogénico que favorece el aumento de síntesis de glucosa necesaria para la producción de leche (Sari et al 2015; Razaghi 2016; Dias et al., 2018).

La tasa de fermentación del almidón, es decir, la velocidad con que este es usado por la microbiota depende, en buena medida, del tipo de grano, siendo el trigo, la cebada y la avena granos que fermentan más rápido que el maíz, mientras que el sorgo es más resistente a la digestión debido a su endospermo mayormente ceroso. Por otro lado existen factores como el procesado (molienda, rolado), el método de conservación (seco, ensilado), la composición de la ración y características ruminales de los animales (población ruminal, tasa de pasaje ruminal), que también influyen en esta característica. Si bien los ingredientes con mayor contenido de almidón son los granos secos, también algunos forrajes son ricos en almidón como es el caso del ensilado de maíz (NRC, 2001; Ferrareto, 2015). Rottman *et al.* (2015) menciona que la secuencia en la alimentación puede alterar los patrones de fermentación, por lo que en el caso de las dietas altas en almidón no es recomendable ofrecerlas con intervalos mayores a 8 hrs ya que con ello se afecta la absorción de nutrientes y su disponibilidad para la producción de leche.

El maíz es el principal recurso energético por su nivel de almidón, alta tasa de fermentación y digestibilidad. En este sentido, Dann *et al.* en 2014 aumentaron el nivel de inclusión del maíz rolado en la RTM desde 3.4 hasta el 16.9 % base MS y disminuyeron el nivel de algunos recursos de fibra no forrajera para obtener niveles de almidón diferente para evaluar el consumo de materia seca así como la respuesta lactacional de vacas Holstein ( $118 \pm 5$  días en leche) asignadas a uno de tres niveles de almidón: 1) Bajo (17.7% base MS), 2) medio (21.0% base MS) y 3) alto (24.6% base MS). Los resultados mostraron que no hay efecto sobre el consumo de materia seca, pero si diferencias numéricas sobre la producción de leche ( $p=0.6$ ) y el porcentaje de grasa en leche ( $p=0.45$ ) (Tabla 8), concluyendo que aumentar el nivel de almidón a través de la inclusión de maíz en la RTM puede aumentar la producción de leche debido a una mayor producción de ácido propiónico a nivel ruminal y lactosa debido a una mayor disponibilidad de azúcares sin embargo, puede disminuir la composición de grasa en leche debido a un menor consumo de FDN en la dieta.

A través de los años el uso del maíz se ha incrementado, no solo por su valor nutricional sino por sus propiedades químicas previamente mencionadas, su uso como alimento para ganado y la producción de bio-combustibles ha aumentado el costo de este grano en los últimos años. Esto ha obligado a sustituirlo parcialmente con fuentes de fibra no forrajeras altamente digestibles (pulpa de cítricos, cascarilla de soya) y con forrajes de alta calidad (ensilado de maíz o híbridos del maíz), hasta un punto en donde la producción se mantenga rentable y mantenga el rendimiento de grasa en leche (Fredin, 2015; Ferrareto, 2015). Sin embargo, las vacas tienen una mayor preferencia por los granos y es posible que aumenten el consumo de este componente en poco tiempo lo que se ha denominado “Slug Feeding” o “atracones” (Chamberlain, 2010), esta conducta aumenta durante la ordeña, en el periodo de transición o cuando se modifica el tipo de grano por lo que puede incrementar el riesgo de acidosis subclínica o desplazamiento de abomaso.

Para entender la importancia energética del maíz en la alimentación del ganado bovino lechero Fredin *et.al.*, (2015), compararon dos RTM, una a base de grano de maíz y otra a base de ensilado de maíz, con la finalidad de obtener distintos niveles de almidón, en vacas Holstein multíparas (193± 11 días en leche) asignadas a uno de dos tratamientos: 1) alto en grano Maíz (28.5 % almidón MS) y 2) alta en ensilado de maíz (23.8 % almidón MS). Los resultados mostraron que la dieta con mayor concentración de almidón tuvo diferencias numéricas a favor del consumo de materia seca y producción de leche, asimismo, este trabajo sugiere que el tipo de ingrediente, su patrón de fermentación y palatabilidad pueden afectar el consumo de materia seca por la preferencia de los animales hacia estos ingredientes. En concordancia con Dann (2014) las dietas altas en almidón pueden disminuir la concentración de grasa en leche, debido al menor consumo de FDN. En este sentido Albornoz *et al.*, (2018) comparó dos RTM, a base de grano de maíz o de maíz molido, con niveles de almidón diferentes (22 vs 28%), este trabajo demostró que la concentración de almidón no influyó sobre la ración, pero la tasa de fermentabilidad del maíz molido fue mayor, lo que mejoró el consumo de materia seca y producción de leche debido a un aumento rápido en la concentración de ácido propiónico.

La selección de ingredientes para integrar la RTM puede estar encaminada a la composición de leche deseada, así, aumentar el nivel de almidón o concentrado en la RTM puede disminuir la concentración de grasa en leche, debido a que se disminuye el nivel de FDN en la dieta, promoviendo una menor producción de ácido acético a nivel ruminal (Martel *et al.* 2011).

Algunos autores como Kleinschmit *et al.* (2007) mencionan que el uso de recursos de fibra no forrajera previenen la caída de grasa en leche. Una alternativa para aumentar el nivel de grasa en leche es incrementar el nivel de carbohidratos de rápida fermentación en el rumen éstos fermentan en ácido láctico por lo que se puede comprometer el pH ruminal y disminuir la digestibilidad de la fibra (Oelker *et al.*, 2009).

Martel *et al.* (2011) menciona que aumentar el nivel de inclusión de la melaza del 0 al 5% MS promueve la fermentabilidad de carbohidratos a nivel ruminal; de la misma forma Broderick y Radloff (2004) reportan que reemplazar grano de maíz con melaza mejora la digestibilidad de la fibra, ya que no afecta la población ruminal de bacterias celulolíticas y promueve la biohidrogenación de ácidos grasos insaturados teniendo efectos positivos en la lipogénesis a nivel de glándula mamaria.

Por otro lado, Dias *et.al.*, (2018) estudiaron el efecto de suplementar una RTM con levaduras a fin de observar su efecto en la utilización del almidón de la ración; para ello utilizaron vacas Holstein ( $32 \pm 11$  días en leche) asignadas a dos tratamientos: 1) Dieta baja en almidón 23% MS y 2) Dieta alta en almidón 29% MS; ambas dietas suplementadas con levadura (*Sacharomices cerevisae*, 15 g por vaca al día). En este trabajo se encontró que hay una diferencia numérica pero no estadística a favor del tratamiento con mayor nivel de almidón sobre el consumo de materia seca, producción de leche, concentración proteica y de grasa en leche, sin embargo, cabe resaltar que a pesar del nivel de almidón de la dieta el nivel de grasa en leche no disminuyó, concluyendo que suplementar con levadura una RTM puede ser una alternativa para mantener el nivel de grasa en leche ya que su presencia parece favorecer la actividad y población de las bacterias celulolíticas no

afecta el consumo de materia seca ni la producción láctea; sin embargo su accesibilidad puede estar limitada por su costo y disponibilidad.

**Tabla 8. Efecto de modificar el nivel de almidón en la RTM sobre el consumo de MS y desempeño productivo**

Nivel Almidón (%)	Consumo MS (Kg/d)	Leche (Kg/d)	Proteína (%)	Grasa (%)	Lactosa (%)	Autor
<b>Bajo</b> (18-20%)	26.4	42.9	3.5	3.0	4.8	Dann (2014)
<b>Medio</b> (21-23%)	26.9	43.4	3.57	3.1	4.8	Dann (2014)
	24.3	35.3	4.0	3.2	4.7	Fredin (2015)
	25.4	39.6	2.84	3.8	4.9	Días (2018)
<b>Alto</b> (24-29%)	26.3	44.1	3.4	3.1	4.8	Dann (2014)
	25.5	36.4	3.7	3.3	4.8	Fredin (2015)
	26.1	40.8	3.0	3.8	4.9	Días (2018)

Superíndices iguales dentro de la misma columna indican diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ )

### ***Fibra Detergente Neutra (FDN)***

La FDN está compuesta por celulosa, hemicelulosa y lignina, es importante porque estimula la salivación, peristalsis y rumia, por lo que contribuye a disminuir la acidosis ruminal subclínica (Zebeli et al, 2006), y la concentración de ésta además tiene efectos en las señales de saciedad (Kendall, 2009; Fustini, 2017). A pesar de los efectos benéficos de la FDN, forrajes con mayor concentración de ésta permanecen por un mayor tiempo en el rumen, por lo que aumentar la concentración de este componente de la ración de un 25% al 35%, puede reducir hasta 4 Kg/d el consumo de materia seca (Allen, 2014).

En este sentido, Boerman *et.al.*, (2015a) evaluaron el efecto de modificar la concentración de FDN y almidón al modificar el tipo de ingrediente en la RTM sobre el consumo de MS y desempeño productivo, para ello utilizaron vacas Holstein ( $115 \pm 22$  días en leche)

alimentadas con diferente concentración de FDN en la RTM: 1) RTM convencional (30.1% almidón, 27.2% FDN y 2) RTM con Cascarilla de soya como recurso de FDN (12.2% almidón y 43.9% FDN), encontrando que aumentar el nivel de FDN a través del uso de cascarilla de soya disminuye el consumo de materia seca y la producción de leche, por otro lado, la RTM convencional tuvo un mejor desempeño sobre el consumo y producción, debido al nivel de almidón, asimismo el consumo se vio limitado debido al mayor tiempo de retención ruminal ocasionado por la concentración de fibra detergente neutro (Tabla 9).

En concordancia, Lopes *et.al.*, (2015) evaluaron el desempeño productivo y consumo de materia seca al modificar el nivel de FDN al reemplazar el tipo de ensilado de la RTM (ensilado de maíz vs ensilado de alfalfa), en vacas Holstein multíparas a las que se ofreció una dieta a base de ensilado de maíz (24% FDN base seca) y otra a base de ensilado de alfalfa (27% FDN base seca). Esta investigación mostró que utilizar ensilado de maíz en la RTM aumenta el consumo de materia seca y la producción de leche pero no hubo efectos en su composición química con respecto al ensilado de alfalfa (Tabla 9), estos resultados se explican porque el pH ruminal disminuyó (6.33 vs 6.52,  $p<0.01$ ) debido a una mayor producción de AGV's (85.3 vs 81.9 mM,  $p<0.01$ ), principalmente ácido propiónico (24.1 vs 20.2 % del total de AGV,  $p<0.01$ ), aumentando así la producción de leche por su capacidad gluconeogénica.

En otro estudio, Santana *et.al.*, (2019) sustituyeron el heno de alfalfa por heno de triticale para obtener niveles de FDN diferentes (30.7 vs 32.5% respectivamente) y observar los efectos sobre el consumo de materia seca y desempeño productivo, en vacas Holstein (120 ± 34 días en leche) alimentadas con dietas isocalóricas a base de heno de alfalfa a base de heno de triticale, , encontrando un mayor consumo de FDN para la dieta a base de heno de triticale (7.43 vs 7.21 Kg/d,  $p=0.03$ ), sin embargo, no hubo efecto sobre el consumo de materia seca en ambos tratamientos. La producción de leche y el nivel de proteína fue mayor para la dieta a base de heno de alfalfa, sin embargo, la composición grasa disminuyó debido al contenido de FDN en la dieta, concluyendo que utilizar fuentes

forrajeras como el triticale no afecta el consumo de materia seca, mientras que por su nivel de FDN, este tipo de alimentos mejora la concentración de grasa en leche.

**Tabla 9. Efecto de modificar el nivel de FDN en la RTM sobre el consumo de MS y desempeño productivo**

Nivel de FDN (%)	Consumo MS (Kg/d)	Leche (Kg/d)	Grasa (%)	Proteína (%)	Lactosa (%)	Autor
<b>Bajo (24-26)</b>	25.2 <sup>▲</sup>	39.8 <sup>★</sup>	3.57	3.17	4.88 <sup>+</sup>	Lopes (2015)
<b>Medio (27-30)</b>	28 <sup>◆</sup>	38.7 <sup>■</sup>	3.77 <sup>●</sup>	3.32	4.85	Boerman (2015)
	21.9 <sup>▲</sup>	36.4 <sup>★</sup>	3.64	3.17	4.89 <sup>+</sup>	Lopes (2015)
	23.5	37.6 <sup>✳</sup>	3.83 <sup>✳</sup>	3.23 <sup>✳</sup>	4.94	Santana (2019)
<b>Alto (32-44)</b>	26.4 <sup>◆</sup>	34.8 <sup>■</sup>	3.85 <sup>●</sup>	3.18	4.83	Boerman (2015)
	23	36.3 <sup>✳</sup>	3.92 <sup>✳</sup>	3.2 <sup>✳</sup>	4.98	Santana (2019)

Superíndices iguales dentro de la misma columna indican diferencias estadísticas (p<0.05)

## Lípidos

Las grasas son importantes en la alimentación del ganado vacuno lechero ya que son una fuente de energía para mantener la producción láctea y el metabolismo energético. Su aporte en la RTM oscila entre un 3 y 6% en base seca (NRC, 2001). La grasa de la leche proviene de dos fuentes importantes: la dieta y la movilización de triglicéridos del tejido adiposo (Kuhla, 2016).

Los lípidos se encuentran en los granos de cereales, semillas oleaginosas y forrajes, están formados de ácidos grasos saturados o insaturados. Los ácidos grasos insaturados son abundantes en concentrados, semillas oleaginosas y forrajes, esta clase de ácidos grasos pueden ser tóxicos para algunas bacterias ruminales por lo que estas recurren a la biohidrogenación (NRC, 2001; Bach 2000).

Las grasas sufren dos procesos ruminales, el primero es lipólisis donde se rompe la unión del glicerol con los ácidos grasos y el segundo es la biohidrogenación que modifica tanto la

posición como el número de insaturaciones, es decir, consiste en una isomerización, mediante el cambio de enlaces dobles de la forma *cis* de un ácido graso insaturado a su forma *trans*, dando lugar a un isómero más estable en el rumen; posterior a esto, ocurre una hidrogenación (saturación) progresiva de las insaturaciones (Bach, 2000; Sánchez, 2019).

La biohidrogenación utiliza del 1-2% del H<sup>+</sup> ruminal y solo puede ocurrir después de la lipólisis por lo que en condiciones de pH ruminal bajo, la lipólisis disminuye (sensibilidad de ciertas bacterias a pH bajo) permitiendo un mayor alcance de ácidos grasos insaturados al duodeno. En función del paso y del pH ruminal, la biohidrogenación puede ser incompleta lo que resulta en un flujo de metabolitos intermedios como el ácido linoleico conjugado (CLA) al duodeno, siendo algunos de estos metabolitos potentes inhibidores de la síntesis de grasa en la glándula mamaria (Sánchez, 2019).

Los lípidos disminuyen la fermentación de la fibra y afectan negativamente el consumo de materia seca, sin embargo, limitan la producción de metano debido a un efecto negativo sobre microorganismos metanogénicos (Shimada, 2015; Kuhla, 2016).

Una vez establecida la lactación, las grasas juegan un papel importante en esta etapa, pues las vacas alcanzan su máxima producción de leche y concentración de nutrientes en la misma, permitiendo mantener un mejor balance entre el nivel energético de mantenimiento y producción. Por otro lado, las dietas diseñadas para aumentar el volumen de leche (altas en almidón) ocasionan que a nivel fisiológico se incremente la producción de insulina, la cual limita la movilización de grasas y estimula la producción de lípidos en tejido adiposo. Este aumento en la producción de leche puede ocasionar una baja en la concentración de grasa en leche. Asimismo, a nivel ruminal se disminuye el pH lo que inhibe la lipólisis microbiana en este órgano. Los cambios metabólicos inducidos por dietas altas en almidón ocasionan un mayor depósito de grasa corporal que provoca, desde problemas reproductivos, hasta problemas metabólicos como cetosis. (Boerman, 2015b; Kuhla, 2016).

En este sentido, Boerman *et al.*, (2015a) reemplazaron parte del almidón en la dieta con fibra y grasa para obtener una ración con un nivel de energía similar (1.78 Mcal EN<sub>L</sub> / Kg MS) a la que proporciona el almidón, a través de la inclusión de semilla de algodón en un 9% de la MS y de ácidos grasos (C 16:0) a un 2.5% de MS. Estos investigadores encontraron que la dieta alta en fibra y grasa promovió una mayor producción de grasa en leche (3.9 vs 3.6, p<0.05). Sin embargo, el consumo de materia seca fue menor debido a que el nivel de grasa y fibra pueden inhibir el consumo; mientras que se encontró una diferencia numérica a favor del tratamiento alto en almidón, para el consumo de materia seca y la producción de leche, ya que los productos de fermentación del almidón favorecen la síntesis de lactosa que por efecto osmótico aumenta el volumen de leche promoviendo, por otro lado, la caída de grasa en leche.

La caída de grasa en leche, como demuestra Boerman (2015a), puede ser limitada cuando se aumenta el nivel de fibra y grasa en la dieta, por ello la semilla de algodón es ampliamente utilizada como un recurso de fibra no forrajero y por su contenido energético proveniente de su concentración de grasa; en este sentido Wang *et.al.* (2012) incluyeron la semilla de algodón en la dieta y la compararon con una dieta control (6.47 vs 4.21% grasa) siendo ambas isoenergéticas e isoproteicas (15.7% PC, 1.54 Mcal/Kg EN<sub>L</sub>). Los resultados de esta investigación muestran que utilizar semilla de algodón disminuye el consumo de materia seca y porcentaje de proteína en leche, sin embargo, existen diferencias numéricas a favor en su composición de grasa (Tabla 10) debido a su alto contenido de ácidos grasos insaturados.

Debido a que se conoce que los lípidos pueden disminuir el consumo de materia seca ya que afectan la digestibilidad de la fibra (Boerman, 2015a), para disminuir estos efectos es común utilizar grasa de sobrepaso (sales cálcicas); en este sentido, Ylioja *et.al.*, (2018) compararon dos RTM con diferente fuente de lípidos, una a base de sales cálcicas de aceite palma (1.4% MS; 32.0% FDN, 4.43% grasa, 1.63 Mcal/kg) y otra con ácidos grasos saturados (1.2% MS; 32.4% FDN, 3.99% grasa, 1.63 Mcal/kg). En este trabajo se encontró que la composición proteica en leche fue mayor para la dieta suplementada con ácidos

grasos saturados; pero que no se afectó el consumo de materia seca (24.5 vs 24.7 Kg/d), ni la producción de leche en ninguno de los tratamientos (Tabla 10).

En el mismo sentido, Souza y Lock en 2018, evaluaron los efectos de suplementar ácido palmítico y sales cálcicas de aceite de palma en la dieta y lo compararon con una dieta control, para ello utilizaron vacas Holstein (139 ± 39 días en leche) asignadas a uno de tres tratamientos: 1) Control (3.37% MS), 2) suplementada con ácido palmítico (4.82% MS) y 3) suplementada con sales cálcicas de aceite de palma (4.84% MS). Los resultados de este trabajo mostraron que suplementar la dieta con ácido palmítico o sales de calcio no afecta el consumo de materia seca, sin embargo, las vacas suplementadas con ácido palmítico producen más leche y tienen mejor composición grasa en leche con respecto a los otros grupos (Tabla 10), concluyendo que suplementar con ácido palmítico o sales cálcicas de este ácido graso mejora la producción de leche y la composición grasa de la leche, aumenta el consumo de energía pero puede disminuir el nivel de proteína en leche.

**Tabla 10. Efecto de modificar el nivel de grasa en la RTM sobre el consumo de MS y desempeño productivo**

Nivel de grasa (%)	Consumo MS (Kg/d)	Leche (Kg/d)	Grasa (%)	Proteína (%)	Lactosa (%)	Autor
<b>Bajo</b> <b>(3.19-4.3)</b>	27.4	47.1♦	3.5♦	3.0♦	4.9♦	Boerman (2015)
	24.5	34.2	3.9	3.3	4.8	Ylioja (2018)
	29.5	48.3	3.4	3.0	4.7	Souza (2015)
<b>Medio</b> <b>(4.4-4.82)</b>	22.1	14.1	3.5	3.3	4.4	Wang (2012)
	29.6	49.7	3.5	3.0	4.8	Souza (2015)
	24.7	34.3	3.9	3.3	4.8	Ylioja (2018)
<b>Alto</b> <b>(4.84-6.47)</b>	21.3	16.9	3.4	3.3	4.4	Wang (2012)
	28.7	48.9	3.5	2.9	4.8	Souza (2015)
	26.9	45.8♦	3.9♦	2.9♦	4.8♦	Boerman (2015)

Superíndices iguales dentro de la misma columna indican diferencias estadísticas (p<0.05)

En otro estudio Alvarez-Heiss *et.al.*, (2019) evaluaron el efecto de suplementar ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) con aceite de canola en dietas a base de maíz y trigo, en vacas Holstein-Friesian (207 ± 13.6 días en leche) asignadas a uno de cuatro tratamientos alimenticios: 1) Maíz (2% grasa MS), 2) Trigo (2% grasa MS), 3) Maíz/AGPI (6% grasa MS ), 4) Trigo/AGPI (6% grasa MS ). Los resultados de este trabajo indican un mayor consumo total de la dieta y mayor producción de leche para las dietas suplementadas con aceite de canola, sin embargo, el nivel de grasa y proteína en leche disminuyeron. Estos investigadores concluyen que el tipo de grano puede ser determinante sobre la composición de leche.

**Tabla 11. Efecto de suplementar con AGPI dietas a base de granos sobre el desempeño productivo**

Concepto	GM <sup>1</sup>	Tr <sup>2</sup>	GM/ AGPI <sup>3</sup>	Tr/AGPI <sup>4</sup>	SE	Grano (P<0.05)	AGPI (P<0.05)
<b>Consumo Total (kg/d)</b>	20.7	21.3	21.7	21.8	-	-	-
<b>Leche (kg/d)</b>	21.1	23.8	26.1	24.9	1.25	0.577	0.002
<b>Grasa %</b>	4.91	4.80	3.99	3.04	1.75	<0.001	<0.001
<b>Proteína %</b>	3.41	3.40	3.29	3.18	1.18	0.413	0.045
<b>Lactosa %</b>	4.97	4.94	5.04	4.78	0.87	0.025	0.406
<b>AGV's</b>	68.8	66.5	68.3	64.1	0.87	<0.001	0.029

1)GM= dieta a base de granos de maíz, 2) Tr= dieta a base de trigo, 3) GM/AGPI=granos de maíz, aceite de canola (0.8% MS) 4) Tr/AGPI=trigo, aceite de canola (0.8% MS)

## **Proteína**

La proteína es un nutriente esencial, se compone de aminoácidos esenciales y no esenciales que son útiles para funciones estructurales (tejido conectivo y músculo esquelético), metabólicas (enzimas, hormonas), de producción e influyen sobre la microbiota ruminal (Kaufman, 2017). En la alimentación de vacas lecheras los niveles de

proteína cruda oscilan de entre el 16-18%, el objetivo de la nutrición proteica en rumiantes es satisfacer las demandas de nitrógeno de la microbiota ruminal y por otro lado las demandas del animal; el manejo alimenticio para satisfacer estas necesidades consiste en diseñar RTM a base de concentrado ( $\geq 50\%$ ) y forrajes de alta calidad (alfalfa,  $\geq 20\%$  PC) siempre cuidando el bienestar ruminal y de la vaca (Zebeli *et al.*, 2010).

Los ingredientes utilizados en la RTM contienen nitrógeno no proteico (NNP) y nitrógeno proteico (o proteína verdadera), el NNP consiste en nitrógeno amoniacal, ácidos nucleicos aminoácidos libres, péptidos de cadena corta, amidas y aminos. Los forrajes contienen mayor proporción de NNP que los concentrados, los ensilados y henificados tienen un mayor nivel de NNP que el forraje fresco (debido a la proteólisis asociada al proceso de conservación), sin embargo, el nivel de proteína cruda en los ingredientes que componen el concentrado es mayor (INRA, 1988; Zebeli *et al.*, 2010).

La proteína en rumiantes se puede clasificar en dos grupos dependiendo de su comportamiento y función en el rumen: Proteína degradable en rumen (PDR) y proteína no degradable en rumen (PNR). La PDR es la proteína que utiliza la microbiota ruminal para su desarrollo, la PNR es la proteína que escapa de la digestión ruminal hacia el duodeno. La diferencia radica en que la PDR es mayormente utilizada para la producción de leche, mientras que la PNR satisface en mayor proporción las necesidades de mantenimiento del animal (Savari, 2018).

Manipular los niveles de PDR y PNR puede ser una estrategia alimenticia efectiva que mantiene la producción de leche y mejora el nivel de N en leche, en algunos estudios realizados por Zook, (1982) y Taylor *et al.*, (1991) se encontró que reducir del 10.8% al 8.5% MS el nivel de PDR mejoró la producción de leche sin afectar el consumo de materia seca. Asimismo al reducir el nivel de PC del 16.7 al 15.1% se manipulan las cantidades de PDR y PNR, y esto no afecta el consumo de materia seca o la producción de leche, mientras que se aumentó en un 6% el nivel de N lácteo ureico (Arieli *et al.* 2004; Kalscheur *et al.*, 2006).

Se estima que entre el 60 y 90 % del alimento consumido es digerido por acción de bacterias, protozoarios y hongos ruminales, la mayoría de las bacterias ruminales (75 a 80%) transforman diferentes fuentes de NNP en amonio (NH<sub>4</sub>), el cual es utilizado para la síntesis de proteína microbiana, la cual estará disponible para el animal una vez que salga del rumen e inicie el proceso digestivo. Entre el 60 y 90% de los requerimientos de proteína son abastecidos por la microbiota ruminal que contiene los 10 aminoácidos esenciales, aunque es limitante en metionina, lisina, histidina y treonina como se observa en la Tabla 12 (Savari, 2018).

**Tabla 12. Perfil de aminoácidos (%total de aminoácidos) de la leche, bacterias ruminales y algunas fuentes proteicas (Adaptado de Bach y Casamiglia, 2002)**

Ingrediente	Arg	His	Ile	Leu	Lys	Met	Phe	Thr	Trp	Val
Leche	7.2	5.5	11.4	19.5	16.0	5.5	10.0	8.9	3.0	13.0
B. ruminales	10.2	4.0	11.5	16.3	15.8	5.2	10.2	11.7	2.7	12.5
Alfalfa	10.9	5.2	10.9	18.4	11.1	3.8	12.2	10.6	3.4	13.5
Gluten Maíz	6.9	4.7	9.3	36.4	3.8	5.5	13.8	7.5	1.5	10.7
Ensilado maíz	6.4	5.5	10.3	27.8	7.5	4.8	12.0	10.1	1.4	14.1
B. cervecería	8.9	6.4	10.6	17.6	11.4	4.8	10.3	11.4	3.0	15.6
G. destilería	7.7	7.2	9.8	26.3	6.2	5.2	11.1	10.3	2.7	13.4
H. soya	16.3	5.7	10.8	17.0	13.7	3.1	11.0	8.6	3.0	10.6

Los requerimientos de proteína y aminoácidos en el ganado lechero se han estudiado para mejorar la producción de leche, incrementar el depósito de N en leche y minimizar la excreción de nitrógeno al medio ambiente (Mutsvangwa *et al.*, 2016a). Vacas alimentadas con niveles mayores al 18% PC maximizan su producción de leche, sin embargo, dietas con altos niveles de proteína disminuyen el nivel de nitrógeno en leche e incrementa la

excreción de N al medio ambiente. (Colmenero & Broderick, 2006; Rius *et al.*, 2012), las vacas lecheras convierten una tercera parte del N de la dieta en nitrógeno lácteo y excretan al ambiente dos terceras partes a través de la orina y materia fecal (Hristov *et al.*, 2004). Broderick en 2003 menciona que aumentar el nivel de PC del 15% al 18% aumenta el nivel de nitrógeno en leche.

Por otro lado, hay un mayor nivel de N en leche cuando se disminuye en la dieta la concentración de proteína degradable en rumen sin efectos negativos en la producción láctea (Wang *et al.*, 2007; Rius *et al.*, 2010); por ejemplo reducir 2.8% la PDR incrementó hasta un 16% el nivel de N lácteo y redujo su excreción hasta en un 29% (Kalscheur *et al.*, 2006)

En este sentido, Mutsvangwa *et.al.*, (2016b) mencionan que utilizar pasta de canola o granos de destilería para aumentar el nivel de proteína (14% vs 17%) no tiene efectos sobre el consumo de materia seca y desempeño productivo, sin embargo, aumenta la producción de nitrógeno ureico en leche. En otro estudio del mismo autor (2016a) se evaluó la interacción de la proteína cruda con la proteína degradable en rumen (68 vs 65% PDR del total de PC) al aumentar la proporción de la pasta de canola en la RTM, se encontró que aumentar el nivel de proteína degradable en rumen (65 a 68 % del total de PC) no tiene efectos sobre el consumo de materia seca, pero numéricamente aumenta la producción de leche (39.4 vs 38.5 Kg/d,  $p=0.68$ ) e incrementa el nitrógeno ureico en leche (19.5 vs 12.3 mg/dL,  $p<0.01$ ), concluyendo que incrementar el nivel de PDR favorece la producción de leche sin afectar su composición y el consumo de materia seca pero con una mayor excreción de nitrógeno en leche.

Con respecto al nivel de proteína en la RTM, incrementar el nivel de proteína a través del concentrado (>50% de la MS ofrecida) o forrajes de alta calidad (>18% PC) incrementa la producción de leche, asimismo la formulación de RTM con niveles superiores al 14% incrementan el consumo de MS y su desempeño lácteo (Yari *et.al.*, 2014). Cabrita *et.al.*, (2007) evaluaron el efecto de aumentar la proporción de pasta de soya en la dieta para obtener dos dietas con niveles de PC diferente (14% vs 16% base seca), en vacas Holstein

(77 ± 15 días en leche) encontrando que aumentar el nivel de proteína en la dieta no tiene efectos sobre el consumo de materia seca pero disminuye la producción de leche y su composición, destinando un 25% de la proteína ingerida en la dieta hacia la leche en comparación con la dieta con menor nivel de proteína donde se estima que un 30% de la proteína ingerida es destinada a leche (Tabla 13).

**Tabla 13. Efecto del nivel de proteína al aumentar la proporción de la pasta de soya, sobre el consumo de MS y rendimiento lácteo (p<0.05)**

Concepto	14 % PC	16% PC	SE	P
Consumo MS (kg/d)	24.7	24.7	0.62	0.05
Leche (kg/d)	35.2	34.9	1.30	0.02
Grasa %	4.44	4.39	0.06	0.7
Proteína %	3.09	3.07	0.04	0.109
Lactosa %	1.72	1.69	0.06	0.8

SE= Error estándar P=<0.05 (Tomado de Cabrita *et al.*, 2007)

En otro estudio Benchaar *et.al.* (2013) evaluaron el efecto de aumentar el nivel de inclusión de granos de destilería de maíz del 0 al 30%, para observar sus efectos sobre el consumo de materia seca y el desempeño productivo, en vacas multíparas (99 ± 18 días en leche) asignadas a uno de cuatro tratamientos: 1) Control, 16.2 % PC, 2) 10% DDGS, 16.4 % PC, 3) 20% DDGS, 16.6 % PC y 4) 30% DDGS, 16.8 % PC. Sus resultados mostraron que conforme aumenta el nivel de inclusión de Granos de destilería y proteína cruda aumenta el consumo de materia seca y la producción de leche, sin embargo disminuye la concentración de grasa y proteína en la leche (Tabla 14), concluyendo que el nivel de proteína no es determinante en la dieta, sin embargo el tipo de ingrediente y su nivel de inclusión puede favorecer el consumo de materia seca y la producción de leche, ya que estos ingredientes fermentan en ácido propiónico (gluconeogénico), ocasionando además una baja en el nivel de grasa y proteína en leche.

En otro estudio Christen *et.al.*, (2010) evaluaron el efecto de utilizar granos de destilería de alto nivel proteico (44% PC, 3.4% Grasa) para compararlos con granos de destilería convencionales (30% PC, 10% Grasa), pasta de canola y pasta de soya, demostrando que utilizar este tipo de ingredientes con alto valor proteico no tiene efecto sobre el consumo de materia seca y producción de leche, pero si mejora el nivel de grasa en leche (4.21 vs 4.07%,  $p < 0.02$ ).

**Tabla 14. Efecto del nivel de granos de destilería sobre el consumo de materia seca y calidad de leche**

Concepto	0% DDGS	10% DDGS	20% DDGS	30% DDGS	SE	P(<0.05)
<b>Consumo MS (Kg/d)</b>	23.4	24.4	24.8	25.2	0.63	<0.01
<b>Leche (Kg/d)</b>	32.6	35.1	35.8	36.6	1.97	<0.01
<b>Grasa %</b>	3.93	3.91	3.69	3.47	0.184	<0.01
<b>Proteína %</b>	3.49	3.41	3.31	3.31	0.047	<0.01
<b>Lactosa %</b>	4.60	4.63	4.59	4.58	0.027	0.42

**DDGS= granos de destilería con solubles, SE= Error estándar**

## Conclusiones

El sistema RTM es una opción eficiente para la alimentación de vacas lecheras, permite diseñar o formular las dietas con base a las necesidades nutricionales y fisiológicas de los animales, permite la inclusión de ingredientes a diferentes niveles, debido a su comportamiento a nivel ruminal y su efecto sobre la salud del animal y el desempeño productivo, además permite el control alimenticio de los animales y de los ingredientes, lo que permite llevar a cabo los registros económicos y de desempeño de los animales.

El sistema RTM permite a los animales alcanzar su máximo desempeño productivo, sin embargo, su implementación es dependiente de un número mayor a 90 animales para que sea redituable, el grado de inversión es mayor y requiere de maquinaria más especializada la cual influye sobre su integridad y uniformidad.

Aspectos físicos de la RTM como el tamaño de partícula son determinantes sobre la digestibilidad y fermentabilidad, selección de alimento, consumo de materia seca y desempeño productivo así como la composición láctea. El nivel de humedad es determinante ya que el efecto del agua disminuye la proporción de partículas finas y polvos, por lo que disminuye el rechazo y por lo tanto los costos alimenticios, sin embargo, el nivel elevado de humedad en la RTM puede promover su descomposición y disminuir su nivel nutricional.

La composición química de la RTM influye en el desempeño productivo y la composición química de la leche e interactúa con la microbiota y ambiente ruminal. El sistema RTM permite que los animales consuman almidón, proteína, grasa, fibra, vitaminas y minerales necesarios para mantener la salud y el volumen lácteo.

## Literatura citada:

Aguerre M.J. 2011. Effect of forage-to-concentrate ratio in dairy cow diets on emission of methane, carbon dioxide, and ammonia, lactation performance, and manure excretion. *J. Dairy Sci.* 94 :3081–3093.

Alamouti AA, Alikhani M, Ghorbani GR, Teimouri-Yansari A, Bagheri M. 2014. Response of early lactation Holstein cows to partial replacement of neutral detergent soluble fiber for starch in diets varying in forage particle size. *Livestock Science* 160: 60-68.

Allen. M.S. 2000. Effects of Diet on Short-Term Regulation of Feed Intake by Lactating Dairy Cattle. *J. Dairy Sci.* Vol. 83: 1598-1624.

Albornoz R.I., Allen M.S. 2018. Highly fermentable starch at different diet starch concentrations decreased feed intake and milk yield of cows in the early postpartum period. *J. Dairy Sci.* 101:1–14.

Allen. M.S., Bradford B.J., Oba M. 2009. BOARD-INVITED REVIEW: The hepatic oxidation theory of the control of feed intake and its application to ruminants. *J. Anim. Sci.* 87:3317

Allen M.S., Piantoni P. 2014. Managing Energy Intake and Partitioning Through Lactation. *Vet. Clin. Food Anim.* 30: 577-597.

Alleri J.W., Hine B.C., Pyman M.F., Mansell P.D., Wales W.J., Mallard B., Fisher A.D. . 2016. Periparturient immunosuppression and strategies to improve dairy cows health during the periparturient period. *Veterinary Science* 108: 8-17.

Álvarez-Hess P.S. Williams S.R.O., Jacobs J.L., Hannah M.C., Beauchemin K.A., Eckard R.J. , Wales W.J., Morris G.L,<sup>2</sup> and Moate P.J. 2019. Effect of dietary fat supplementation on methane emissions from dairy cows fed wheat or corn. *J. Dairy Sci.* 102:1–10.

Arieli, A., G. Adin, and I. Bruckental. 2004. The effect of protein intake on performance of cows in hot environmental temperatures. *J. Dairy Sci.* 87: 620-629.

Arzola-Álvarez C., Bocanegra-Viezca J.A., Murphy M.R., Salinas-Chavira J., Corral-Luna A., Romanos A., Ruíz-Barrera O. and Rodríguez-Muela C. 2010. Particle size distribution and chemical composition of total mixed rations for dairy cattle: Water addition and feed sampling effects. *J. Dairy Sci.* 93:4180–4188.

Bach A.G., Huntington G.B., Calsamiglia S., Stern M.D. 2000. Nitrogen metabolism of early lactation with two different levels of protein and different amino acid profiles. *J. Dairy Sci.* 83 2585-2595.

Bach A. and Calsamiglia S. 2002. *Manual de racionamiento para el Ganado vacuno lechero.* España. Editorial Servet. Pág. 108.

Bahrami-Yekdangi H., M., Khorvash M., Ghorbani G.R., Alikhani M., Jahanian R. and Kamalian E. 2014. Effects of decreasing metabolizable protein and rumen-undegradable protein on milk production and composition and blood metabolites of Holstein dairy cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 97:3707–3714.

Beauchemin, K.A., W.Z. Yang L. M. Rode. 2003. Effects of particle size of alfalfa-based dairy cow diets on chewing activity, rumen fermentation, and milk production. *J. Dairy Sci.* 86:630–643.

Beauchemin, K.A., and W.Z. Yang. 2005. Effects of physically effective fiber on intake, chewing activity, and ruminal acidosis for dairy cows fed diets based on corn silage. *J. Dairy Sci.* 88: 2117– 2129.

Benchaar C. F., Hassanat C.F., Gervais R., Chouinard P.Y., Julien C., Petit H.V., and Massé D.I. 2013. Effects of increasing amounts of corn dried distillers grains with solubles in dairy cow diets on methane production, ruminal fermentation, digestion, N balance, and milk production. *J. Dairy Sci.* 96:2413–2427.

Broderick, G. A. 2003. Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:1370–1381.

Broderick, G. A., and W. J. Radloff. 2004. Effect of molasses supplementation on the production of lactating dairy cows fed diets based on alfalfa and corn silage. *J. Dairy Sci.* 87: 2997-3009.

Boerman J.P., Potts S.B., VandeHaar M.J., Lock L. 2015a. Effects of partly replacing dietary starch with fiber and fat on milk production and energy partitioning. *J. Dairy Sci.* 98:7264–7276.

Boerman J.P., Potts S.B., Allen M.S., VandeHaar M.J., Lock L. 2015b. Milk production responses to a change in dietary starch concentration vary by production level in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 98:4698–4706.

Borreani G., Tabacco E., Schmidt R.J, Holmes B.J., and Muck R.E. 2018. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *J. Dairy Sci.* 101:3952–3979.

Bredrosian M.C.D., Nestor E. and Kung L. Jr. 2012. The effects of hybrid, maturity, and length of storage on the composition and nutritive value of corn silage. *J. Dairy Sci.* 95:5115–5126.

Cabrita A.R.J., Bessa R.J.B., Alves S.P., Dewhurst R.J., and Fonseca A.J.M. 2007. Effects of Dietary Protein and Starch on Intake, Milk Production, and Milk Fatty Acid Profiles of Dairy Cows Fed Corn Silage-Based Diets. *J. Dairy Sci.* 90:1429–1439.

Carder E. G. and Weiss W.P. 2017. Short- and longer-term effects of feeding increased metabolizable protein with or without an altered amino acid profile to dairy cows immediately postpartum. *J. Dairy Sci.* 100:1–11.

Christen K.A., Schingoethe D.J., Kalscheur K.F., Hippen A.R., Karges K.K., Gibson M.L. 2010. Response of lactating dairy cows to high protein distillers grains or 3 other protein supplements. *J. Dairy Sci.* 93:2095–2104.

Colmenero, J.J.O., and Broderick G.A. 2006. Effect of dietary crude protein concentration on milk production and nitrogen utilization in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89:1704–1712.

Coon R.E., Duffield T.F., DeVries T.J. 2018. Effect of straw particle size on the behavior, health, and production of early-lactation dairy cows. *J. Dairy Sci.* 101:1–13.

Dann E., Tucker H.A., Cotanch K.W., Krawczel P.D., Mooney C.S., Grant R.J., Eguchi T. 2014. Evaluation of lower-starch diets for lactating Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 97 :7151–7161.

DeVries, T. J., Beauchemin K.A., von Keyserlingk M.A.G. 2007. Dietary Forage Concentration Affects the Feed Sorting Behavior of Lactating Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 90:5572–5579.

DeVries, T. J., and R. M. Gill. 2012. Adding liquid feed to a total mixed ration reduces feed sorting behavior and improves productivity of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 95:2648–2655.

Dias A.L.G., Freitas J.A., Micai B., Azevedo R.A., Greco L.F. and Santos J.E.P. 2018. Effects of supplementing yeast culture to diets differing in starch content on performance and feeding behavior of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 101:1–15.

Eastridge, M. L. 2006. Major advances in applied dairy cattle nutrition. *J. Dairy Sci.* 89:1311–1323.

Eastridge, M.L., Starkey R.A., Gott P.N., Oelker E.R., Sewell A.R., Mathew B. and Firkins J.L. 2017. Dairy cows fed equivalent concentrations of forage neutral detergent fiber from corn silage, alfalfa hay, wheat straw, and corn stover had similar milk yield and total tract digestibility. *Animal Feed Science and Technology.* 225:81-86.

Edmonson, A.J., Lean I.J., Weaver L.D., Farver T., Webster G. 1989. A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 72:68-78.

Esmaeilli M, Khorvash M., Ghorbani G.R., Nasrollahi S.M., Saebi M. 2016. Variation of TMR particle size and physical characteristics in commercial Iranian Holstein dairies and effects on eating behavior, chewing activity and milk production. *Livestock Science.* 191:22-28.

Felton CA and DeVries T, 2010. Effect of water addition to a total mixed ration on feed temperature, feed intake, sorting behavior, and milk production of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93 :2651–2660.

Fenwick M. A., Fitzpatrick R., Kenny D. A., Diskin M.G., Patton J., Murphy J. J., *et al.* 2006. Interrelationships between negative energy balance (NEB) and IGF regulation in liver of lactating dairy cows. *Dom. Anim. Endocrinology.* 34: 31-44.

Ferraretto L.F., Fonseca A.C., Sniffen C.J., Formigoni A. and Shaver R.D. 2015. Effect of corn silage hybrids differing in starch and neutral detergent fiber digestibility on lactation performance and total-tract nutrient digestibility by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 98:1–11.

Flores M. J.A. 1980. *Bromatología Animal*, 2ª Edición, Editorial Limusa, México. Pág. 120-185.

Fustini M., A. Palmonari A., Canestrari G., Bonfante E., Mammi L., Pacchioli M.T., Sniffen G.C.J., Grant R.J., Cotanch K.W. and Formigoni A. 2017. Effect of undigested neutral detergent fiber content of alfalfa hay on lactating dairy cows: Feeding behavior, fiber digestibility, and lactation performance. *J. Dairy Sci.* 100:1–9.

Grant, R. J., V. F. Colenbrander, and D. R. Mertens. 1990. Milk fat depression in dairy cows: Role of particle size of alfalfa hay. *J. Dairy Sci.* 73:1823–1833.

Holt M.S., Williams C.M., Dschaak C.M., Eun J., Young A.J. 2010. Effects of corn silage hybrids and dietary nonforage fiber sources on feed intake, digestibility, ruminal fermentation, and productive performance of lactating Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93:5397–5407.

Hristov, A. N., W. J. Price, and B. Shafii. 2004. A meta-analysis examining the relationship among dietary factors, dry matter intake, and milk and milk protein yield in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87:2184–2196.

Kahyani A., Ghorbani G.R., Khorvaah M., Nasrollahi S.M., Beauchemin K.A. 2013. Effect of alfalfa hay particle size in high concentrate diets supplemented with unsaturated fat:

Chewing behavior, total-tract digestibility, and milk production in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 96 :7110–7119.

Kalscheur, K. F., Baldwin R.L., Glenn B.P. and Kohn R.A. 2006. Milk production of dairy cows fed differing concentrations of rumen-degraded protein. *J. Dairy Sci.* 89:249–259.

Kaufman J.D., Kassube K.R., Rius A.G. 2017. Lowering rumen-degradable protein maintained energy-corrected milk yield and improved nitrogen-use efficiency in multiparous lactating dairy cows exposed to heat stress, *J. Dairy Sci.* 100:1–14.

Kendall C. et.al. 2009. Intake and milk production of cows fed diets that differed in dietary neutral detergent fiber and neutral detergent fiber digestibility. *J. Dairy Sci.* 92:313–323.

Kononoff P.J., Heinrichs A.J., Lehman H.A. 2003a. The effect of corn silage particle size on eating behaviour, chewing activities, and, rumen fermentation in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:3343-3353.

Kononoff P.J., Heinrichs A.J., Buckmaster D.R. 2003b. Modification of the Penn State Forage and Total Mixed Ration Particle Separator and the Effects of Moisture Content on its Measurements. *J. Dairy Sci.* 86:1858–1863.

Kleinschmit, D. H., Anderson J.L., Schingoethe D.J., Kalscheur K.F. and A. R. Hippen. 2007. Ruminal and intestinal degradability of distillers grains plus solubles varies by source. *J. Dairy Sci.* 90:2909–2918.

Kuhla B., Metges C.C., Hammon H.M. 2016. Endogenous and dietary lipids influencing feed intake and energy metabolism of periparturient dairy cows. *Domestic Animal Endocrinology.*

Lean I., De Garis P. 2010. Transition cow management: a review for nutritional professionals, veterinarians and farm advisers. Dairy Australia Ltd, IBM, Australia.

Leonardi C. F. Giannico F., Armentano L. 2005. Effect of Water Addition on Selective Consumption (Sorting) of Dry Diets by Dairy Cattle. *J. Dairy Sci.* 88:1043–1049.

Lopes F., Cook D.E., Combs D.K. 2015. Effects of varying dietary ratios of corn silage to alfalfa silage on digestion of neutral detergent fiber in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 98:6291–6303.

Lutter M. and Nestler E.J. 2009. Homeostatic and hedonic signals interact in regulation of food intake. *Journal of Nutrition.* 629-632.

Martel C. A., Titgemeyer E.C., Mamedova L.K., and Bradford B.J. 2011. Dietary molasses increases ruminal pH and enhances ruminal biohydrogenation during milk fat depression. *J. Dairy Sci.* 94:3995–4004.

Miller-Cushon E. K., DeVries T.J. 2009. Effect of dietary dry matter concentration on the sorting behavior of lactating dairy cows fed a total mixed ration. *J. Dairy Sci.* 92:3292–3298.

Mutsvangwa, T., Davies K.L., McKinnon J.J., Christensen D.A. 2016a. Effects of dietary crude protein and rumen-degradable protein concentrations on urea recycling, nitrogen balance, omasal nutrient flow, and milk production in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 99:6298–6310.

Mutsvangwa T., Kiran D., Abeysekara S. 2016b. Effects of feeding canola meal or wheat dried distillers grains with solubles as a major protein source in low- or high-crude protein diets on ruminal fermentation, omasal flow, and production in cows. *J. Dairy Sci.* 99:1–12.

National Research Council (NRC). 2001. *Nutrient requirements of dairy cattle*, 7th rev. ed., Washington, DC.

O Callaghan., Tom F.O., Deirdre Hennessy, Stephen McAuliffe, Kieran N. Kilcawley, Michael O'Donovan, Pat Dillon, R. Paul Ross and Catherine Stanton. 2016. Effect of pasture versus indoor feeding systems on raw milk composition and quality over an entire lactation. *J. Dairy Sci.* 99:1-17.

Oelberg T.J., Stone W. 2014. Monitoring Total Mixed Rations and Feed Delivery Systems. *Vet Clin Food Animal.* 30: 721-744.

Oelker, E. R., C. Reveneau, and J. L. Firkins. 2009. Interaction of molasses and monensin in alfalfa hay- or corn silage-based diets on rumen fermentation, total tract digestibility, and milk production by Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 92: 270-285.

Peters R.L., Koplin, J.J., Dharmage, S.C., Tang, M.L.K., McWilliam, V.L., Gurrin, L.C., *et al.* 2018. Early exposure to cow's milk protein is associated with a reduced risk of cow's milk allergic outcomes. *American Academy of Allergy, Asthma & Immunology.* 7: 462-470.

Radovic, J., Sokolovic, D., Markovic, J. 2009. Alfalfa-most important perennial forage legume in animal husbandry. *Biotechnology in Animal Husbandry.* 25:465-475.

Razzaghi A., Valizadeh R., Naserian A.A., Danesh Mesgaran M., Carpenter A.J. and Ghaffa M.H. 2016. Effect of dietary sugar concentration and sunflower seed supplementation on lactation performance, ruminal fermentation, milk fatty acid profile, and blood metabolites of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 99: 3539-3548.

Rius A.G., Appuhamy J.A.D.R.N., Cyriac J., Kirovski D., Becvar O., Escobar J., *et al.* 2010. Regulation of protein synthesis in mammary glands of lactating dairy cows by starch and amino acids. *J. Dairy Sci.* 93:3114–3127.

Rius A.G., Kittelmann S., Macdonald K.A., Waghorn G.C., Janssen P.H. and Sikkema E. 2012. Nitrogen metabolism and rumen microbial enumeration in lactating cows with divergent residual feed intake fed high-digestibility pasture. *J. Dairy Sci.* 95:5024– 5034.

Rottman L.W., Ying Y., Zhou K., Bartell P.A., and Harvatine K. 2015. The effects of feeding rations that differ in neutral detergent fiber and starch concentration within a day on production, feeding behavior, total-tract digestibility, and plasma metabolites and hormones in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 98:4673–4684.

Sanchez R., Muñoz C., Peralta A.M.T., Espíndola S., Yan T., R. Morales., *et al.* 2019. Effects of feeding unprocessed oilseeds on methane emission, nitrogen utilization efficiency and milk fatty acid profile of lactating dairy cows. *Animal Feed Science and Technology.* 249: 18-30.

Santana O.I., Olmos-Colmenero J.J. and Wattiaux M.A. 2019. Replacing alfalfa hay with triticale hay has minimal effects on lactation performance and nitrogen utilization of dairy cows in a semi-arid region of Mexico. J. Dairy Sci. Vo. 102 No.9

Santos F.A.P., Theurer C.B., Swingle R.S., Simas J.M., Chen K.H., Yu P. 1998. Milk yield and composition of lactating cows fed steam-flaked sorghum and graded concentrations of ruminally degradable protein. J. Dairy Sci. 81:215–220.

Saper C.B. 2002. The need to feed: homeostatic and hedonic control of eating, Neuron, 36, pp. 119-211.

Sari M., Ferret M., Calsamiglia S. 2015. Effect of pH on *in vitro* microbial fermentation and nutriment flow in diets containing barley straw or non- forage fiber sources. Animal Feed Science and Technology. 200:17-24.

Savari M., Khorvash M., Amanlou H., Ghorbani G.R., Ghasemi E. and Mirzaei M. 2018. Effects of rumen-degradable protein: rumen -undegradable protein ratio and corn processing on production performance, nitrogen efficiency, and feeding behavior of Holstein dairy cows. J. Dairy Sci. 101:1–12.

Schingoethe. D.J. 2017. A 100-Year Review: Total mixed ration feeding of dairy cows. J. Dairy Sci. 100:10143–10150.

Shimada A.M. 2015. Nutrición Animal. Trillas. 4a. Ed, México. Pág. 34-50.

Siciliano J.W., Murphy M.R. 1991. Specific Gravity by Particle Size of Various Feed stuffs as Affected and In Vitro Fermentation. J. Dairy Sci. 74: 896-901.

Souza and A. L. Lock. 2018. Short communication: Comparison of a palmitic acid-enriched triglyceride supplement and calcium salts of palm fatty acids supplement on production responses of dairy cows. J. Dairy Sci. 101:3110–3117.

Tafaj M., Zebeli Q., Junck B., Steingass H., Drochner W., 2005. Effects of particle size of a total mixed ration on in vivo ruminal fermentation patterns and inocula characteristics used for in vitro gas production. Anim. Feed Sci. Technol. 138: 137–161.

Taylor R. B., Huber T.J., Gomez-Alarcon R.A., Wiersma F., and Pang X. 1991. Influence of protein degradability and evaporative cooling on performance of dairy cows during hot environmental temperatures. *J. Dairy Sci.* 74:243–249.

Turiello. P., Alejandro L., Fernando B., Alejandro R. and William Weiss. 2018. Sources of variation in corn silage and total mixed rations of commercial dairy farms. *The Professional Animal Scientist* 34:148–155.

Van Soest, P.J. 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*, 2nd ed. Cornell University Press, Ithaca, NY.

Wang, C., Liu J.X., Yuan Z.P., Wu Y.M., Zhai S.W. and Ye H.W. 2007. Effect of level of metabolizable protein on milk production and nitrogen utilization in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90:2960–2965.

Wang A.P., Zhang M., Meng Y.L., Deng L.Q., Lu Y.F., Li C. and Wang J.Q. 2012. Effects of different sources and levels of dietary gossypol on gossypol residues in plasma and milk of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 95: 5127–5132.

White R.R., Mary Beth Hall, Jeffrey L. Firkins, and Paul J. Kononoff. 2017. Physically adjusted neutral detergent fiber system for lactating dairy cow rations, II: Development of feeding recommendations. *J. Dairy Sci.* 100:1–16.

Yang W.Z. Beauchemin K.A. 2009. Increasing physically effective fiber content of dairy cow diets through forage proportion versus forage chop length: Chewing and ruminal pH. *J. Dairy Sci.* 92:1603–1615.

Yansari A.T., Valizadeh R., Naserian A., Christensen D.A., Yu P. and Shahroodi F.E. 2004. Effects of alfalfa particle size and specific gravity on chewing activity, digestibility, and performance of Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87:3912–3924.

Yari M., Valizadeh R., Naserian A.A., Jonker A., Azafar A., Yu P. 2014. Effects of including alfalfa hay cut in the afternoon or morning at three stages of maturity in high concentrate

rations on dairy cows performance, diet digestibility and feeding behavior. J. Dairy Sci. 192:62-72.

Ylloja C.M., Abney-Schulte C., Stock R. and Bradford B.J. 2018. Effects of fat supplementation to diets high in nonforage fiber on production responses of midlactation dairy cows. J. Dairy Sci. 101:1–8.

Zebeli Q., Tafaj M., Steingass H., Metzler B. and Drochner W. 2006. Effects of Physically Effective Fiber on Digestive Processes and Milk Fat Content in Early Lactating Dairy Cows Fed Total Mixed Rations. J. Dairy Sci. 89:651–668.

Zebeli Q., Mansman D., Steingass H., Ametaj B.N. 2010. Balancing diets for physically effective fiber and ruminally degradable starch: a key to lower the risk of sub-acute rumen acidosis and improve productivity of Dairy Cattle. Livestock science 1-10.

Zook, A. B. 1982. The effects of two levels of dietary protein solubility on lactating cows exposed to heat stress and in thermal neutral environments. Ph.D Thesis. Dairy Science Department, University of Missouri, Columbia.

### **-Recursos electrónicos:**

-Chamberlain A. 2010. Slug Feeding: Technical note 19, Nutrition Plus: Department of Employment, Economic Development and Innovation (DEEDI), Dairy Australia

[https://www.daf.qld.gov.au/\\_data/assets/pdf\\_file/0018/58113/19Slug-feeding.pdf](https://www.daf.qld.gov.au/_data/assets/pdf_file/0018/58113/19Slug-feeding.pdf)

- Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, España

<http://www.fundacionfedna.org/>

-Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Francia

<https://es.ird.fr/content/view/full/71328>

-Lammers. B.P., Heinrichs A.J., Ishler V.A. 2012. Use of total mixed rations (TMR) for dairy cows. Department of Dairy and Animal Science. The Pennsylvania State University

<https://extension.psu.edu/total-mixed-rations-for-dairy-cows>

-Newkirk R. 2009. Pasta de Canola: Guía para la industria de forrajes. Canadian International Grains Institute, 4a Edición. Canadá

[https://www.canolacouncil.org/media/516719/canola\\_meal\\_feed\\_guide\\_spanish.pdf](https://www.canolacouncil.org/media/516719/canola_meal_feed_guide_spanish.pdf)

-PennState: College of Agriculture Sciences, 2011

<https://animalscience.psu.edu/research/areas/dairy>

-Servicio de información agroalimentaria y pesquera, 2016

<https://www.gob.mx/siap#1404>