

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**UNIDAD LAGUNA**  
**DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL**



**Efecto del carro mezclador sobre la distribución de la partícula,  
eficacia física, variabilidad y selectividad de la ración totalmente  
mezclada de vacas en producción**

**POR**

**JOSÉ MARÍA UBIETA RODRÍGUEZ**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

**TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.**

**DICIEMBRE DEL 2020**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

Efecto del carro mezclador sobre la distribución de la partícula,  
eficacia física, variabilidad y selectividad de la ración totalmente  
mezclada de vacas en producción

POR  
JOSÉ MARÍA UBIETA RODRÍGUEZ

TESIS

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

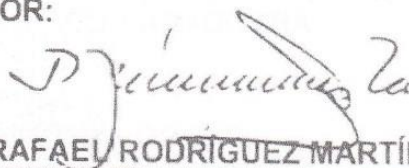
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

APROBADA POR:



PEDRO ANTONIO ROBLES TRILLO

DR.  
Presidente



RAFAEL RODRÍGUEZ MARTÍNEZ

DR.  
Vocal



JORGE HORACIO BORUNDA RAMOS

IZ.  
Vocal



SIGIFREDO HURTADO RODRÍGUEZ

MVZ.  
Vocal suplente

MC. J. GUADALUPE RODRÍGUEZ MARTÍNEZ  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

DICIEMBRE DEL 2020



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

Efecto del carro mezclador sobre la distribución de la partícula,  
eficacia física, variabilidad y selectividad de la ración totalmente  
mezclada de vacas en producción

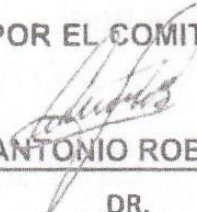
POR  
JOSÉ MARÍA UBIETA RODRÍGUEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

APROBADA POR EL COMITÉ DE ASESORÍA:

  
PEDRO ANTONIO ROBLES TRILLO

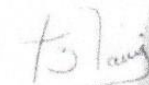
DR.

Asesor principal

  
RAFAEL RODRÍGUEZ MARTÍNEZ

DR.

Co-asesor

  
JORGE HORACIO BORUNDA RAMOS

IZ.

Co-asesor

  
MC. J. GUADALUPE RODRÍGUEZ MARTÍNEZ  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL



TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

DICIEMBRE DEL 2020

## **AGREDECIMIENTO**

**A mi Dios**, por darme salud, sabiduría, serenidad y paciencia a lo largo de toda mi vida.

**A mi madre**, María Josefa Ubieta Rodríguez por darme la vida y haber sido la primera persona que creyó en que yo podía lograr convertirme en un profesionalista. Ta amo ma.

**A mis padrinos**, el Ing. Hugo Ubieta Rodríguez y a la Lic. Andrea León Hernández, por su apoyo incondicional durante toda mi vida y más importante durante mi vida como universitario, fueron pieza clave, mil gracias.

**A mis abuelos**, Cecilio Ubieta González y Magdalena Rodríguez Pérez, por entregar parte de su tiempo en mi crianza y sobre todo por los consejos que siempre han sido sinceros hacia mi persona, los amo.

**A toda mi familia**, por ser parte de mí, por los consejos, por los ánimos, por la ayuda que me brindaron cuando más lo necesitaba, mil gracias.

**A mis asesores**, el Dr. Pedro Antonio Robles Trillo, por haber sido mi profesor y mentor durante mi paso por la universidad, le agradezco por creer que yo era apto para este trabajo y sobre todo por su amistad, gracias. Al Dr. Rafael Rodríguez Martínez, por su apoyo en la elaboración de este trabajo, gracias.

**A mis amigos**, por haber sido parte del experimento, por brindarme su amistad y compartir buenos momentos durante la carrera, gracias por todo.

## DEDICATORIA

**A mi Alma Mater**, por darme las oportunidades de estudiar la carrera y convertirme en una profesionalista.

**A los docentes de los Departamentos de Ciencias Médico Veterinario, Producción Animal y Salubridad e Higiene**, por compartir conmigo sus conocimientos, consejos y experiencias en el ámbito de la medicina veterinaria.

**A mi primo**, el Ing. Pedro Ubieta Saenz † por el cariño y la hermosa amistad que tuvimos, siempre estarás en mi corazón. Te extraño.

## RESUMEN

Este trabajo se realizó con la finalidad de evaluar el efecto del carro mezclador sobre la distribución del tamaño de partícula, la eficacia física, variabilidad y selectividad de la ración totalmente mezclada y de los sobranes de vacas en producción. Se utilizaron 28 corrales bajo las mismas condiciones de manejo de alimentación con RTM. Las vacas fueron alimentadas 3 - 4 veces al día con las RTM preparadas en un carro mezclador vertical y un carro mezclador horizontal. Para el análisis y evaluación de la distribución del TPr se utilizó el separador de partículas de Penn State con 105 muestras de RTM y 84 muestras de sobranes de ambos carros mezcladores. Para la determinación de la DTP se pesaron por separado las fracciones retenidas en cada criba, la eficacia física que consiste en sumar las cantidades de las cribas 19 mm y 8 mm para calcular el  $peRTM_8$  y se sumaron los contenidos de las cribas 19 mm, 8 mm y 1.18 mm para calcular la  $peRTM_{1.18}$ , y CV del tamaño de partícula se calculó como el promedio del CV diario de cada corral. No hubo efecto del carro mezclador sobre la DTP, de la  $pe$  de la RTM y de la variabilidad de la RTM ( $P > 0.05$ ), pero si hubo efecto del día de muestreo en las variables. El análisis estadístico de la distribución de partículas demostró diferencia ( $P < 0.05$ ) entre en los días de muestreo. No se observó efecto ( $P > 0.05$ ) del carro mezclador sobre la DTP de la RTM, pero la cantidad retenida en la criba  $> 19$  mm fue de 15.43 y 15.86 para el mezclador vertical y horizontal, respectivamente. Tampoco se observó efecto ( $P > 0.05$ ) del carro mezclador sobre la  $peRTM_8$  y  $peRTM_{1.18}$  de la RTM, ni sobre la variación de la DTP en ninguna de las cribas. La variabilidad del alimento retenido en la criba  $> 19.0$  mm fue superior al 17%. Tampoco hubo efecto ( $P > 0.05$ ) del carro mezclador sobre la distribución del tamaño de partícula, la  $peRTM$  y variabilidad de los sobranes. Con respecto a la selectividad, solamente en la base de las cribas se encontró efecto ( $P < 0.05$ ) del carro mezclador (132% del mezclador vertical vs 109% del mezclador horizontal). En conclusión, el carro mezclador no afectó la distribución de la partícula, la eficacia física ni la variabilidad de la RTM y de sus sobranes, sin embargo, el tipo de carro mezclador afectó la selectividad de la RTM.

Palabras clave: Tamaño de partícula, Separador de partículas, Ración, Vacas, Variación.

## ÍNDICE

AGREDECIMIENTO _____	i
DEDICATORIA _____	ii
RESUMEN _____	iii
ÍNDICE _____	v
ÍNDICE DE CUADROS _____	vi
Introducción _____	1
Revisión de literatura _____	2
Requerimiento de fibra _____	2
Digestión de la fibra _____	5
Efectividad de la fibra _____	7
Influencia del manejo del forraje en raciones totalmente mezcladas sobre el tamaño de partícula _____	8
Tamaño de partícula de la alfalfa _____	9
Tamaño de partícula del ensilaje de maíz _____	10
Tamaño de partícula y gravedad específica de los alimentos _____	10
Evaluación de la efectividad de la fibra _____	11
Selectividad de las raciones por los rumiantes _____	11
Materiales y métodos _____	13
Resultados y discusión _____	17
Literatura citada _____	23



## ÍNDICE DE CUADROS

<i>Cuadro 1. Composición química de los ingredientes en base húmeda (BH) y materia seca (MS) de la RTM.</i>	13
<i>Cuadro 2. Composición química de la RTM.</i>	14
<i>Cuadro 3. Secuencia y cantidades de ingredientes utilizados en la RTM.</i>	14
<i>Cuadro 4. Tiempo (segundos) de mezclado de la RTM durante su elaboración en los carros mezcladores vertical y horizontal.</i>	16
<i>Cuadro 5. LSMEANS de la distribución de partículas (porcentaje) basada en el separador de partículas de Penn State, de la RTM de vacas en producción.</i>	17
<i>Cuadro 6. Efecto del carro mezclador sobre el porcentaje de la distribución del tamaño de partícula de la RTM de vacas en producción.</i>	18
<i>Cuadro 7. Efecto del carro mezclador sobre el coeficiente de variación de la distribución del tamaño de partículas y de la eficacia física (porcentaje) de la RTM de vacas en producción.</i>	19
<i>Cuadro 8. Efecto del carro mezclador sobre la distribución del tamaño de partícula de los sobrantes de la RTM en vacas en producción.</i>	20
<i>Cuadro 9. Efecto del carro mezclador sobre el coeficiente de variación de la distribución de partículas (porcentaje) y la eficacia física de los sobrantes de la RTM de vacas en producción.</i>	20
<i>Cuadro 10. Efecto del carro mezclador sobre la selectividad de la ración totalmente mezclada.</i>	21

## Introducción

El rumiante requiere una cantidad mínima de fibra dietética efectiva para un óptimo consumo de materia seca, estimulación de la salivación, producción de leche y buena salud (Grant, 1997). La eficacia de la fibra ha sido denominada eficacia física (pe) debido a que la respuesta de la masticación por la vaca está altamente relacionada a las propiedades físicas de la fibra, como es el caso de la longitud de la partícula (Mooney and Allen, 1997).

El separador de tamaño de partícula de Penn State (PSPS, por sus siglas en inglés) es un método para determinar el tamaño de partícula de forrajes y de raciones totalmente mezcladas (RTM), en la alimentación del ganado. Este método ha sido ampliamente utilizado para establecer los tamaños de partículas ideales, siendo que 1.18 mm es el tamaño crítico que rige la retención de las partículas en el retículo-rumen (Kononoff et al., 2003b).

La forma física de la dieta es una determinante importante del valor nutritivo de la RTM, la cual afecta las actividades de consumo, rumia, función ruminal, eficiencia digestiva (Murphy and Zhu, 1997). El término factor de eficacia (ef) de la fibra detergente neutro (peFDN) considera las características físicas y químicas de los alimentos y puede afectar algunas variables como la masticación y el porcentajes de grasa como resultado (Mooney and Allen, 1997).

La reducción del tamaño de partícula (TPr) dentro del rango medio de longitud de partícula (0.4 a 0.8 mm) se relaciona con la tasa de consumo y fermentación y redujo el tiempo de masticación, pH ruminal y la tasa de ácido acético y propiónico en el fluido ruminal (Clark and Armentano, 1997b). El tamaño teórico de partícula de ensilaje de maíz está entre 13 a 19 mm (Soita et al., 2000).

Los forrajes tienen un TPr medio el cual es crítico y arriba del cual se obtiene poco beneficio adicional (Clark and Armentano, 1997b, Clark and Armentano, 1999). Yang et al., (2002), indican que el incremento del TPr del forraje en las dietas mejora la digestión de la fibra y la síntesis de proteína microbiana en el rumen. El tamaño de partícula dietético expresado como peFDN es un indicador confiable de la síntesis de proteína microbiana y digestión de nutrimentos.

Los rumiantes son capaces de consumir selectivamente ciertas partes de las plantas y esta habilidad se extiende al consumo de la ración totalmente mezclada RTM (Miller-Cushon and DeVries, 2017). La variabilidad en el TPr de la RTM puede causar un desequilibrio en la fermentación y el pH del rumen, esto puede atribuirse a diferencias en las características físicas del forraje, el porcentaje en las RTM, así como en la elaboración de las dietas (Esmaeili et al., 2016). La selectividad de la RTM está sujeta a las características de la dieta incluyendo el porcentaje de forraje, el TPr y el contenido de materia seca (DM) (Miller-Cushon and DeVries, 2017).

El índice de selección usa el consumo real de una fracción de la partícula dividido por el consumo estimado de la fracción de la partícula si no, ocurre selectividad para producir el valor del índice (Maulfair et al., 2013). El ofrecer una RTM expresaría que la ración sea homogénea; sin embargo, el ganado, consume selectivamente los componentes más palatables, causando que los animales consuman una dieta desbalanceada (DeVries et al., 2008; Maulfair et al., 2010).

Dentro de los alcances de la revisión de literatura realizada, no se observaron muchos estudios que determinen el efecto del carro mezclador la distribución del tamaño de partícula, eficacia física, la variabilidad y selectividad de la RTM de vacas en producción láctea. Es probable que al comparar dos carros mezcladores con diferentes posiciones de sus aspas y el movimiento de la RTM, la distribución de partícula se vea afectada y trascendería en la eficacia física de la RTM y la variabilidad. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del tipo de carro mezclador sobre la distribución de tamaño de partícula, la eficacia física, la variabilidad y selectividad de una dieta totalmente mezclada y sus sobrantes en vacas Holstein en producción.

## **Revisión de literatura**

### **Requerimiento de fibra**

El forraje proporciona energía y fibra para el mantenimiento de la función ruminal, para mantener los niveles de producción y cantidad de la grasa en la leche,

así como para mantener la salud de la vaca (Clark and Armentano, 1999, Mooney and Allen, 1997). El suministro de la fibra de los forrajes en la dieta es un factor importante para la optimización de la producción de leche y el mantenimiento de la función ruminal (Wang, et al., 2001).

La digestión de la fibra puede darse solo por la fermentación microbiana, que ocurre en el rumen y la tasa de digestión de la fibra del forraje es generalmente baja. Así la utilización actual de la fibra del forraje esta determinada no solo por las atribuciones intrínsecas del forraje, si no también por una extensión considerable de factores que influyen en la actividad fibrolítica ruminal y el tiempo de retención de partículas del alimento en el rumen, tanto como en el consumo de alimento y la proporción de carbohidratos rápidamente fermentables en la dieta (Stensig and Robinson, 1997).

Son tres los componentes independientes que afectan el balance de carbohidratos en la dieta. Los primeros dos son la naturaleza de la fibra detergente neutra (FDN) y la naturaleza de los carbohidratos no fibrosos. El tercer componente podría ser descrito por cualquiera de los siguientes: el contenido de FDN, el contenido de carbohidratos no fibrosos, o la tasa de FDN: carbohidratos no fibrosos (CNF) (Armentano and Pereira, 1997).

Los carbohidratos solubles neutro detergentes (CSND) varían en sus características digestivas y de fermentación, incluyendo el perfil de nutrimentos metabolizables que ellos generan. La fermentación de los mono y oligosacáridos y del almidón, tiende a producir más propionato que acetato, pudiendo producir además ácido láctico (Leiva, et al., 2000), en tanto que la fermentación de la fibra soluble neutro detergente (NDSF, por sus siglas en inglés), que son básicamente sustancias pécticas, tienden a producir más acetato que propionato y no generan cantidades apreciables de ácido láctico. Hay poca información directa que describa como la variación en las concentraciones dietéticas de las fracciones de carbohidratos solubles ND afectan el rendimiento animal y la eficiencia alimenticia.

El almidón y la fibra soluble ND tienden a predominar en diferentes alimentos usados comúnmente en el ganado. El almidón casi siempre compone a los carbohidratos solubles ND en granos pequeños, de maíz, sorgo y sus ensilajes, así

como en los subproductos. En tanto que la fibra soluble ND predomina en los forrajes de leguminosas, cascarilla de soya, pulpa de remolacha y de cítricos (Leiva, et al., 2000). El grano de maíz contiene cerca del 70% de almidón, de 6 a 10% de fibra soluble ND, y de 0 a 5% de azúcares, mientras que la pulpa de cítricos contiene de 12 a 14% de azúcares, 25 a 44 % de fibra soluble ND y menos del 1% de almidón en base seca.

Para mantener el funcionamiento saludable del rumen y para prevenir la disminución de la grasa en la leche se recomienda un mínimo de 25 a 28% de fibra, expresada como FDN, de la cual al menos el 75% debe ser proporcionada por el forraje. Esas recomendaciones están basadas en estudios realizados donde el principal grano era el maíz (Beauchemin and Rode, 1997).

La concentración de la FDN en la dieta puede depender de la fuente de grano de cereal. La FDN contenida en la cebada (19 a 25%) es más alta que la del maíz (7%), haciendo imposible satisfacer los criterios mínimos de fibra (Beauchemin and Rode, 1997).

Aunque las concentraciones de FDN están positivamente relacionadas a la densidad del volumen de los alimentos y afectan el potencial de consumo de alimento, la FND del forraje varía mucho en su digestibilidad en el rumen o en condiciones in vitro. La digestibilidad de la FDN tiene mucha influencia en el desarrollo del animal, independientemente de la concentración dietética de la FDN (Oba and Allen, 2000a).

Debido a la relación inversa entre fibra y energía neta de lactación (ENI), el valor nutritivo de los forrajes está negativamente relacionado a la concentración de fibra dietética, (Nichols, et al., 1998).

Existe poca información con respecto a la fuente de fibra o a el potencial para la interacción para la fuente de forraje y la concentración de fibra que está disponible (West, et al., 1998).

El Consejo Nacional de Ciencias de los Estados Unidos de Norte América (NRC) proporciona sólo recomendaciones mínimas de fibra y no proporciona ajustes para factores tales como la eficacia de la fibra, interacciones con carbohidratos no

fibrosos o los atributos de los animales, los cuales pueden afectar el rendimiento óptimo del ganado bovino productor de leche (Mertens, 1997).

La mayoría de los experimentos que han investigado la concentración de FDN en la dieta han iniciado cuando el pico de lactancia ha concluido. Por consiguiente existe poca información sobre las concentraciones de la FDN del forraje en vacas entre el parto y el pico de lactancia (Wang, et al., 2001).

### Digestión de la fibra

La función normal del rumen depende de la calidad (forma física) y la cantidad (concentrado dietético) de la fibra dietética (Shain, et al., 1999). La fracción fibrosa del alimento se fermenta lentamente en el rumen y es retenida por más tiempo que las fracciones de los alimentos no fibrosos. Debido a que el llenado físico del rumen a menudo limita el consumo máximo de MS, afecta a la desaparición rápida de la fracción de FDN del rumen debido a un incremento de la tasa de digestión o pasaje ya que esto podría reducir el llenado físico del rumen y permitiría un mayor consumo voluntario de materia seca (Oba and Allen, 2000b). Por tal razón, la digestibilidad de la fibra detergente neutro FDN es un parámetro importante en la determinación de la calidad del forraje.

Si la fibra es insuficiente o la fibra no tiene una textura tosca puede resultar en pH ruminal bajo, disminución de la eficiencia microbiana o por la disminución de la grasa en la leche (Mooney and Allen, 1997).

Cuando los alimentos son digeridos en el rumen, los microorganismos microbianos fermentan y producen ácidos orgánicos, disminuyendo el pH ruminal. Aunque es deseable una mayor fermentación en el rumen, para una máxima producción proteínica microbiana, la producción de ácidos por la fermentación en el rumen necesita estar balanceada con la remoción de los ácidos y la neutralización del pH. La capacidad amortiguadora de la digesta ruminal está determinada principalmente por el total de la masticación, debido a que las vacas secretan más saliva durante la masticación (Oba and Allen, 2000c).

Aunque el pH ruminal bajo disminuye la digestión de la fibra, los efectos de un pH bajo sobre algunas variables específicas de la cinética de la digestión (tasa y grado de digestibilidad de la FDN) varían entre estudios (Firkins, 1997).

Las dietas adecuadas en fibra promueven un pH ruminal deseable, mantienen la integridad del epitelio ruminal, contribuyen a la formación del bolo ruminal como un medio de retención de las partículas de fibra lo suficientemente largas para una digestión adecuada y estimulan la síntesis de grasa en la leche (Clark and Armentano, 1997b).

La digestibilidad ruminal de los alimentos está influenciada por la tasa en la que es degradada en el rumen y la tasa de remoción de su forma física del rumen (tiempo de retención media en el rumen, MRT por sus siglas en inglés) (Bernard, et al., 2000). Por lo tanto, la expresión cuantitativa de la cinética de la digestión y la tasa de pasaje de la FDN del forraje y su respuesta a cambios en la composición o consumo de alimento son esenciales para predecir el valor nutritivo de los forrajes en diferentes situaciones de alimentación (Stensig and Robinson, 1997).

Las fracciones fibrosas de los alimentos tienen un efecto mayor sobre el llenado físico del rumen que las fracciones no fibrosas ya que las primeras se fermentan más lentamente y son retenidas por más tiempo en el rumen (Oba and Allen, 2000c)

Una desaparición más rápida de la fracción de FDN del rumen debida a un incremento de la tasa de digestión o de pasaje, podría reducir el llenado físico en el rumen todo el tiempo y permitir un consumo voluntario más alto de alimento (Oba and Allen, 2000c).

La predicción de los efectos de los cambios dietéticos, tales como el tamaño de partícula (TP<sub>r</sub>) sobre el tiempo de retención media no es simple y depende del entendimiento de los mecanismos que regulan el llenado del rumen, la fragmentación de la partícula y las actividades propulsoras del tracto gastrointestinal (Bernard, et al., 2000).

Existe controversia sobre el efecto de la molienda sobre la tasa de pasaje de las partículas en el rumen. Lo anterior es debido a la complejidad de los mecanismos que determinan la retención en el rumen. Para algunos científicos la rumia es una

de las etapas limitantes en el desalojo de la materia seca del rumen, mientras que para otros el factor que más tiene influencia en la retención de la MS es la retención de las partículas elegibles para salir del rumen (Bernard, et al., 2000).

### Efectividad de la fibra

El rumiante requiere un cantidad mínima de fibra dietética efectiva para un óptimo consumo de materia seca, estimulación de la salivación, producción de leche y buena salud (Grant, 1997). La fibra efectiva ha sido definida como la capacidad para estimular la masticación, salivación y rumia, por lo tanto, la tasa de pasaje de la digesta, la salivación, la producción de acetato en el rumen y consecuentemente el porcentaje de grasa en la leche (Clark and Armentano, 1997, Grant, 1997, Soita, et al., 2000).

Por otra parte Pereira, et al., (1999) consideran que la habilidad para prevenir la depresión de la concentración de la grasa en la leche, en relación al henilaje de alfalfa, se ha utilizado para determinar el contenido de la FDN efectiva (eNDF) de los alimentos. De acuerdo a esta aproximación, la FDN efectiva puede definirse como el contenido de FDN de un alimento multiplicado por un factor de eficacia (ef).

La eficacia de la fibra para estimular la masticación ha sido denominada eficacia física (pe) debido a que la respuesta de la masticación por la vaca está altamente relacionada a las propiedades físicas de la fibra, como es el caso de la longitud de la partícula (Mooney and Allen, 1997). El término (ef) distingue los valores de eficacia medidos, usando la masticación como la respuesta a partir de valores calculados a partir de los porcentajes de grasa como resultado.

Se ha propuesto el tiempo que se emplea para masticar un Kg. de forraje como un índice de la cantidad de fibra de un alimento dado (Soita, et al., 2000). Sin embargo, las fuentes de fibra varían su habilidad para estimular la masticación, lo cual es evidente cuando se utilizan concentrados altos en fibra para reemplazar a los concentrados (Firkins, 1997). Debido a que el término pe está afectado por el TPr, los valores de pe calculados a partir de fuentes de fibra no forrajeras pueden variar, dependiendo del pe de los forrajes usados en el experimento.



La eficacia física está determinada por las respuestas del animal las que dependen principalmente de las características macro físicas de los forrajes. La certeza de las mediciones de los alimentos altos en fibra difiere cuando se estiman por la capacidad de provocar la masticación, por la tasa de ácido acético : propiónico o por la concentración de grasa en la leche (Armentano and Pereira, 1997).

Las características físico químicas de una dieta pueden causar cambios en la composición de la leche producidos debido a cambios en los patrones de fermentación en el rumen (Sanz Sampelayo, et al., 1998). Las cabras son menos sensibles que las vacas (en la alimentación) y tales cambios en la dieta probablemente se reflejen en una menor disminución en el contenido de grasa en la leche.

Las vacas lactantes deben recibir al menos un tercio del total de la MS dietética como heno largo o su equivalente como ensilaje cortado de pequeño a tosco, u otros forrajes para proporcionar una fibra efectiva adecuada (Clark and Armentano, 1999). Aunque existen recomendaciones para satisfacer un mínimo de FDN en el ganado lechero, tales indicaciones no consideran el contenido de fibra efectiva de los concentrados en la dieta o la influencia del TPr del forraje sobre la efectividad de la fibra.

Una limitante para determinar la eficacia de la fibra, es la falta de especificidad en los índices de valores que la determinan (masticación, rumia, consumo, salivación), cuando los alimentos varían en el tamaño de la partícula, perfil del componente de la fibra, materia seca y efectos asociados del alimento (Clark and Armentano, 1997b).

Influencia del manejo del forraje en raciones totalmente mezcladas sobre el tamaño de partícula

El forraje es potencialmente reducido en su tamaño por todas las fases de manejo, entre los que destacan: la cosecha, el almacenamiento, el sacarlo del almacén, la revoltura y la servida del alimento. La mezcla del alimento causa una reducción en el tamaño de todas las partículas del alimento y se relaciona directamente con el tiempo de revoltura del RTM. Estudios de campo indican que

las partículas más largas (> 27mm) pueden ser reducidas a un 50% de su tamaño (Heinrich, et al., 1999).

La forma física de la dieta es una determinante importante de su valor nutritivo, la cual afecta las actividades de consumo, rumia, función ruminal, eficiencia digestiva, producción de leche y su composición, así como la salud de la vaca. La evaluación cuantitativa de la forma física está basada a menudo en el análisis de la distribución del TPr del alimento obtenido, utilizando varios métodos de cernido o cribado. Ha habido poco acuerdo sobre que método utilizar o como resumir los resultados obtenidos, por lo tanto es difícil comparar los resultados de los diferentes laboratorios o compilar los resultados dentro de un formato que sea útil en la formulación de dietas (Murphy and Zhu, 1997).

La reducción del TPr dentro del rango medio de longitud de partícula (0.4 a 0.8 mm) mejoró la tasa de consumo y fermentación y redujo el tiempo de masticación, pH ruminal y la tasa de ácido acético y propiónico en el fluido ruminal (Clark and Armentano, 1997b).

El TPr varía ampliamente entre los forrajes debido a factores que involucran a la planta, a la cosecha del forraje, sí como al tipo de procesamiento del alimento, procedimientos de almacenaje, etc. (Heinrich, et al., 1999, Yang, et al., 2001b).

#### Tamaño de partícula de la alfalfa

Los forrajes tienen un TPr medio el cual es crítico y arriba del cual se obtiene poco beneficio adicional; Por ejemplo la reducción del tamaño medio de la partícula de ensilaje de alfalfa (de 3.1 mm a 2.0 mm) disminuye la masticación en aproximadamente un 21%, en cambio, la reducción del TPr medio del heno de alfalfa de 2.3 a 0.90 mm disminuyó el tiempo total de masticación (masticación más rumia) en aproximadamente un 16% (Clark and Armentano, 1997b, Clark and Armentano, 1999).

Yang, et al., (2002), evaluaron el efecto de la tasa de ensilaje y heno de alfalfa y el tamaño de partícula sobre el consumo de nutrimentos, sitio de digestión, síntesis de proteína microbiana ruminal y tasa de pasaje de los contenidos ruminales. Las dietas contenían 40% de forraje (50:50 o 25:75 ensilaje y heno, respectivamente). El consumo de nutrimentos se incrementó a medida que se

aumentó la tasa de ensilaje pero no fue afectado por el tamaño de partícula. Sin embargo, al incrementarse el tamaño de partícula de las dietas mejoró la digestibilidad de la fibra y del N en todo el tracto, así como la síntesis de proteína microbiana ruminal y la eficiencia microbiana. Esos resultados indican que en las dietas de vacas lecheras la manipulación de la tasa de ensilaje : heno de alfalfa modificó el consumo de alimento, pero tuvo poco efecto sobre la digestión. En contraste, el incremento del TPr del forraje en las dietas mejoro la digestión de la fibra y la síntesis de proteína microbiana en el rumen. El tamaño de partícula dietético expresado como peFDN fue un indicador confiable de la síntesis de proteína microbiana y digestión de nutrimentos.

Krause, et al., (2002) estudiaron los efectos del nivel de carbohidratos fermentables en el rumen y el tamaño de partícula del forraje, así como las interacciones entre éstas sobre la producción de leche, digestibilidad de los nutrientes y producción de proteína microbiana. Para ello, utilizaron ensilaje de alfalfa con dos tamaños de corte (corto y largo) y con dos niveles de maíz quebrado (bajo y alto). Estos investigadores concluyeron que la productividad de las vacas no fué afectada por el tamaño de la partícula ni por los carbohidratos fermentables en el rumen.

#### Tamaño de partícula del ensilaje de maíz

El tamaño teórico de partícula de ensilaje de maíz está entre 13 a 19 mm (Soita, et al., 2000). Este TPr también proporcionó resultados satisfactorios, cuando se compararon tres tamaños para el ensilaje de maíz de planta entera (EMPE) la cual se procesó en los siguientes tamaños: 0.95, 1.45, y 1.90 cm de largo. De acuerdo con éste experimento para mejorar el consumo de materia seca, digestión del almidón y desarrollo de la lactación se recomienda un corte teórico de 1.90 cm. de largo (Bal, et al., 2000).

#### Tamaño de partícula y gravedad específica de los alimentos

La gravedad específica funcional de la partícula y el tamaño de la partícula son los principales factores que determinan la salida de las partículas del alimento del rumen y están íntimamente ligados (Bernard, et al., 2000).

La gravedad específica del TPr está relacionada a la tasa de pasaje de las partículas ruminales. Dentro del rango de la densidad de la partícula normalmente encontrada en el rumen, a medida que la gravedad específica de una partícula independiente se incrementa, también aumenta su tasa de pasaje a través del rumen (Schettini, et al., 1999).

El TPr tiene poco efecto sobre la gravedad específica funcional de las fuentes de fibra no forrajera (FFNF), incluyendo a la pulpa de remolacha (Clark and Armentano, 1997b).

#### Evaluación de la efectividad de la fibra

La efectividad de la fibra esta basada en tres estudios: 1) cambios en la concentración de grasa, 2) cambios en la actividad de rumia 3) cribado y análisis del TPr ( Allen and Grant, 2000).

#### Selectividad de las raciones por los rumiantes

Los rumiantes son capaces de consumir selectivamente ciertas partes de las plantas y esta habilidad se extiende al consumo de la ración totalmente mezclada. La selectividad de la ración puede ser un problema si conduce al consumo de la dieta que es diferente de lo que se formula y se sirve (Miller-Cushon and DeVries, 2017). La selectividad de la ración está sujeta a las características de la dieta incluyendo el porcentaje de forraje, el tamaño de partícula y el contenido de materia seca, por ejemplo, el aumento del contenido de forraje en una ración aumenta el rechazo por el forraje en becerros y vacas adultas (Miller-Cushon and DeVries, 2017). El aumento del tamaño del forraje afecta el consumo de las partículas largas, mientras que el aumento en la proporción del forraje afecta el consumo de la materia orgánica fermentable y el consumo de partículas largas (Wang, et al., 2017).

Generalmente, se ha considerado un problema la selectividad de la ración en las vacas lactantes porque cuando los animales rechazan las partículas largas puede haber una disminución en el consumo de FDN y de la efectividad física de la ración mientras que se incrementa el consumo de almidón (Maulfair and Heinrichs, 2013; Miller-Cushon and DeVries et al., 2017) aumentando la susceptibilidad a una acidosis ruminal subaguda (Maulfair and Heinrichs, 2013). El objetivo de ofrecer una

RTM es que la ración sea homogénea; sin embargo, el ganado, cuando es alimentado con una RTM, consume selectivamente los componentes más palatables de la RTM causando que los animales consuman una dieta desbalanceada (DeVries et al., 2008; Maulfair et al., 2010) porque se altera el consumo de nutrientes (Miller-Cushon and DeVries, 2017). El consumo desbalanceado de nutrientes y la fermentación alterada del rumen como resultado de la selectividad, pueden afectar la eficacia de la digestión y la producción (Miller-Cushon and DeVries, 2017).

La selectividad también puede afectar el tiempo de consumo del alimento (Miller-Cushon and DeVries, 2017). Greter and DeVries (2011) asociaron el rechazo de partículas largas con una tasa de consumo más lenta. La reducción del CMS se ha asociado con el rechazo de las partículas largas y la preferencia por las cortas (Miller-Cushon and DeVries, 2017).

El índice de selección usa el consumo real de una fracción de la partícula dividido por el consumo estimado de la fracción de la partícula si no ocurre selectividad para producir el valor del índice (Maulfair et al., 2013). Cuando se consideran los efectos de la selectividad de la ración, es importante considerar los efectos resultantes del consumo total de nutrientes de la ración (Miller-Cushon and DeVries, 2017). Por ejemplo, Maulfair, et al., (2010) demostraron que la selectividad de la ración (de las partículas de la dieta, FDN y almidón) varió considerablemente entre raciones que contenían heno de pasto de diferente tamaño, pero el consumo real de esos componentes de la ración fue similar a lo largo del día, sin un efecto sobre la fermentación ruminal y en los parámetros de producción.

## Materiales y métodos

### Descripción del sitio experimental

El experimento se realizó en un establo comercial de alta producción, ubicado en la carretera libre a Saltillo km 40, Matamoros, Coahuila, se localiza entre 25°30'10.6"N y 103°09'18.5"W. El clima de la región se clasifica como clima árido, con una elevación de 1,120 msnm, donde la temperatura media anual es de 20 a 22° C. La prueba tuvo una duración de aproximadamente tres meses.

### Alojamiento y manejo de la alimentación

Se utilizaron 28 corrales bajo las mismas condiciones de manejo de alimentación con RTM, el alojamiento de las vacas fue en corrales con comederos lineales con una capacidad de 240 animales, y un promedio de  $180 \pm 30$  vacas de la raza Holstein de alta producción, por corral. Con un promedio de producción de leche de  $35 \pm 4$  kg/d/v. Durante el periodo de toma de muestras las vacas se movieron conforme al sistema de agrupación del establo, sin cambios de alimentación por corral. Las vacas fueron alimentadas 3 - 4 veces al día con las RTM preparadas en un carro mezclador vertical y un carro mezclador horizontal. La RTM utilizada en los carros mezcladores empleados en este estudio, se describen en el cuadro 1, destaca la presencia de alfalfa seca, ensilaje de maíz, triticale, semilla de algodón y maíz rolado. La composición química de la RTM empleada en este estudio se describe en el cuadro 2.

*Cuadro 1. Composición química de los ingredientes en base húmeda (BH) y materia seca (MS) de la RTM.*

<b>Ingredientes</b>	<b>BH (kg)</b>	<b>MS (%)</b>
Ensilaje de maíz	19.00	5.70
Alfalfa en greña	2.80	0.98
Triticale verde	9.50	3.61
Premezcla	7.25	6.11
Maíz rolado	9.50	8.17
Semilla de algodón	3.16	2.85
Alfalfa picada	3.91	1.37

Cuadro 2. Composición química de la RTM.

<b>Análisis químico</b>	<b>% en la MS</b>
MS	57.00
CP	19.77
EE	6.23
Ceniza	6.67
FDN	33.08
FDA	21.50
NFC	38.43

### **Descripción de los tipos de carros mezcladores**

Se utilizaron dos tipos de carros mezcladores, el carro mezclador vertical (CMV) es un carro alimentador compacto con una capacidad de 8 toneladas, con dos gusanos de aspas de acero en posición vertical y un resbaladilla de descarga hidráulica en ambos lados y báscula digital programada (TRIOLIET®), el carro mezclador horizontal (CMH) es de una capacidad de 4 toneladas con un gusano de aspas de acero en posición horizontal, con resbaladilla de descarga hidráulica y con báscula digital programada (TORMEX®), ambos carros con toma de fuerza del tractor.

### **Secuencia y tiempos de mezclado de los ingredientes de la RTM**

Se registró el orden de los ingredientes conforme se colocaban en los carros mezcladores y los tiempos que transcurría en revolverse un ingrediente. El proceso de elaboración de las RTM siguió el mismo orden y tiempo de mezclado, ambos carros mezcladores elaboraron la misma fórmula de la RTM, pero no con las mismas cantidades, como se observa en el cuadro 3.

Cuadro 3. Secuencia y cantidades de ingredientes utilizados en la RTM.

<b>Ingredientes</b>	<b>Kg en el CMV</b>	<b>Kg en el CMH</b>
Ensilaje de maíz	1290	570
Alfalfa en greña	380	170
Triticale verde	1290	570
Premezcla	990	435
Maíz rolado	1290	570
Semilla de algodón	430	190
Alfalfa picada	535	235
Ensilaje de maíz	1290	570
Total	7,495	3,310

### **Evaluación del tamaño de partícula de la RTM usando el separador de partículas de Penn State (PSPS)**

Para el análisis y evaluación de la distribución del TPr se utilizó el separador de partículas de Penn State, se tomaron tres muestras de tres áreas diferentes de los comederos, al comienzo, en la mitad y al final de la entrega de la RTM, inmediatamente después de la servida para garantizar una muestra representativa de la RTM, en cada muestreo se obtuvo una muestra de 800 gramos cada una (Esmaili et al. 2016). En cada sitio de muestreo se separó un área de aproximadamente 1 m de longitud del comedero, la muestra se dividió en cuartos, posteriormente se eliminaron dos extremos en forma diagonal, al material restante se le realizó el mismo procedimiento y se eligió un cuarto (Turiello et al. 2018). Se obtuvieron un total 105 muestras de RTM y 84 muestras de sobrantes.

La muestra se colocó en la parte superior de la criba de 19 mm, se agitó 8 veces en forma horizontal por cada lado hasta completar 8 vueltas, como resultado 64 repeticiones con una frecuencia de 1.1 Hz o aproximadamente 1.1 sacudidas por segundo (Esmaili et al. 2016). Las agitaciones fueron lo suficientemente fuertes para logra que las partículas pasarán de una criba a otra, hasta llegar a la base. Posteriormente, las fracciones retenidas en cada criba, se pesaron por separado con una báscula electrónica.

### **Determinación de la eficacia física de la RTM**

Para determinación la eficacia física de la ración se utilizó la metodología propuesta por Heinrichs and Jones, (2016), que consiste en sumar las cantidades de alimento de las cribas 19 mm y 8 mm para calcular el peRTM8; posteriormente se sumaron los contenidos de las cribas 19 mm, 8 mm y 1.18 mm para determinar la peRTM1.18.

### **Determinación del coeficiente de variabilidad (CV)**

Para el CV se determinó con el procedimiento de modelos lineales y mixtos propuestos por Esmaili et al. (2016) y Turiello et al. (2018), para comparar el CV de la distribución del TPr, utilizando los carros mezcladores verticales y horizontales,



como un efecto fijo. El CV del tamaño de partícula se calculó como el promedio del CV diario de cada corral.

### **Determinación de los tiempos de mezclado de los ingredientes de la RTM**

La determinación de los tiempos de mezclado se obtuvo a través del registro de la secuencia y tiempo de mezclado conforme se iban depositando cada uno de los ingredientes de la RTM en cada carro mezclador. El registro de los tiempo de mezclado se llevó a cabo por 16 días.

*Cuadro 4. Tiempo (segundos) de mezclado de la RTM durante su elaboración en los carros mezcladores vertical y horizontal.*

Ingrediente	Primera servida							
	Mezclador vertical				Mezclador horizontal			
	Media	Desv Est.	Máximo	Mínimo	Media	Desv Est.	Máximo	Mínimo
Alfalfa en greña	46.33	25.68	108	12	70.00	42.35	139	16
Alfalfa picada	45.00	29.85	124	5	53.42	24.77	100	10
Triticaleverde	73.69	78.45	340	12	58.58	35.54	129	12
Maíz rolado	57.31	30.25	144	13	58.92	35.54	130	13
Paca de Avena	51.17	9.43	60	36	75.00	28.05	104	48
Premezcla	41.69	21.80	98	12	52.42	21.66	87	13
S. de algodón	48.94	35.80	172	10	66.17	31.71	135	39
Ensilaje de Maíz	126.75	110.03	644	13	116.58	58.87	180	30

### **Determinación de la selectividad**

El índice de selección de la RTM de las vacas se evaluó siguiendo la metodología propuesta por Tayyab et al. (2018), por lo cual se llevó a cabo la determinación del tamaño de partícula de la RTM y de los sobrantes de la misma, para llevar a cabo la resta de las fracciones de cada criba, considerando un porcentaje de 100. Un valor de clasificación del 100% indica que no hay selección, un valor < 100% indica consumo preferencial y un valor > 100% indica rechazo selectivo (Felton y DeVries, 2010; Sova et al. 2014; Tayyab et al. 2018).

### **Análisis estadístico**

Se registraron los datos obtenidos en cada etapa del proceso. Los datos fueron analizados con Microsoft Excel y SAS (SAS Institute, 2002).

## Resultados y discusión

El presente trabajo se llevó a cabo con la finalidad de establecer el efecto del tipo de carro mezclador sobre la distribución del tamaño de partícula, la eficacia física y el coeficiente de variación de la RTM para vacas en producción láctea, así como de los sobrantes de esa ración. No se observó efecto del carro mezclador sobre la DTP, de la peRTM y de la variabilidad de la RTM ( $P > 0.05$ ), pero si del día de muestreo en todas las variables. En cuanto a la distribución de partículas no existió diferencia en ninguno de los días de muestreo como consecuencia de la muestra ( $P > 0.05$ ), a excepción del peRTM<sub>8</sub> (Cuadro 5), en donde, el valor más alto fue para la muestra 3 ( $56.18\% \pm 0.58$ ) y el más bajo para la muestra 1 ( $54.35\% \pm 0.58$ ).

*Cuadro 5. LSMEANS de la distribución de partículas (porcentaje) basada en el separador de partículas de Penn State, de la RTM de vacas en producción.*

Compartimientos del PSPS	muestra	LSMEAN	EE
> 19.0 mm	1	15.80	0.53
	2	15.43	
	3	16.27	
19.0 a 8.0 mm	1	38.55	0.60
	2	39.89	
	3	39.90	
8.0 a 1.18 mm	1	35.72	0.47
	2	35.15	
	3	34.45	
< 1.18 mm	1	9.93	0.23
	2	9.53	
	3	9.37	
peRTM 8.0 mm	3	56.18 <sup>a</sup>	0.58
	2	55.33 <sup>ab</sup>	
	1	54.35 <sup>b</sup>	
peRTM 1.18 mm	1	90.07	0.23
	2	90.47	
	3	90.63	

En el cuadro 6, se muestran los resultados del efecto del carro mezclador sobre la DTP, no se observó efecto ( $P > 0.05$ ) del carro mezclador sobre la DTP. La cantidad de DTP retenida en la criba 19 mm en este trabajo, fue superior a lo reportado por Kononoff et al. (2003c) quienes utilizaron una frecuencia (1.1 mhz) de cribado similar

a la empleada en este trabajo, reportaron una cantidad de 6.4% de partícula retenida en esa criba (19 mm). Por otra parte, Kononoff et al. (2003b) obtuvieron 6.7% de alimento > 19.00 mm, cuando utilizaron ensilaje de maíz y dos tamaños de partícula (corto y largo) de heno de alfalfa. Sin embargo, la cantidad de alimento retenida en la criba de 19 mm fue similar a lo reportado por Kononoff and Heinrichs, (2003a) quienes señalan que se retuvo el 12.3% de alimento en esa criba.

*Cuadro 6. Efecto del carro mezclador sobre el porcentaje de la distribución del tamaño de partícula de la RTM de vacas en producción.*

Variable	Mezclador vertical	Mezclador horizontal	DS	P
	Media	Media		
> 19.0 mm	15.43	15.86	3.97	>0.05
19.0 a 8.0 mm	40.04	39.19	4.18	>0.05
8.0 a 1.18 mm	35.04	35.16	2.70	>0.05
< 1.18 mm	9.48	9.79	1.77	>0.05
peRTM <sub>8</sub>	55.47	55.05	1.44	>0.05
peRTM <sub>1.18</sub>	90.51	90.21	1.23	>0.05

Los resultados de las cantidades de alimentos retenidas en las cribas de 19 a 8 mm y de 8 a 1.18 mm son similares a lo reportado por Kononoff et al. (2003c). Por otra parte, las cantidades reportadas en la base (<1.18) mm en este trabajo fueron inferiores a lo observado por Kononoff et al. (2003c) y Kononoff and Heinrichs, (2003a), quienes reportan 14% y 19%, respectivamente. Por último, Kononoff et al. (2003b), reportan un 4% de alimento en la base, cantidad menor a lo reportado en esta investigación.

En el cuadro 7, se presentan los resultados de la variabilidad de la distribución del tamaño de partícula de la RTM, no se observó efecto ( $P > 0.05$ ) del carro mezclador sobre la variación de la DTP en ninguna de las cribas. La variabilidad del alimento retenido en la criba > 19.0 mm fueron superiores al 17% y la variabilidad numéricamente fue superior en el carro mezclador horizontal, que tuvo un 15% más de variabilidad que el carro mezclador vertical. Sin embargo, en este trabajo, la cantidad de variabilidad encontrada en ambos carros, fue menor a la reportada por Turiello et al. (2018), además, ellos reportan diferencias significativas entre los carros mezcladores. Con respecto a la variabilidad de la distribución del tamaño de

partícula encontrada en la base (<1.18 mm), el resultado encontrado en el carro mezclador vertical fue del 42% de lo reportado en el carro horizontal, Turiello et al. (2018) no encontraron diferencia significativa entre carros mezcladores en la base. Tayyab et al. (2018) tampoco encontraron variabilidad en la DTP, aunque ellos utilizaron una modificación al sistema de cribas de Penn State, que incluyó seis cribas. Cada disminución de 5 puntos porcentuales en la variabilidad en el porcentaje de partículas de longitud (porcentaje de longitud promedio =  $19.8 \pm 6.5$ ; CV =  $16.1 \pm 6.9\%$ ) en la RTM se asoció con un rendimiento de leche 1.2 kg / d mayor y un aumento del 2.6% en la eficiencia de producción de leche (Sova et al. 2014).

No se observó efecto ( $P > 0.05$ ) de carro mezclador sobre la variabilidad de la  $peRTM_8$  y  $peRTM_{1.18}$  (cuadro 7).

*Cuadro 7. Efecto del carro mezclador sobre el coeficiente de variación de la distribución del tamaño de partículas y de la eficacia física (porcentaje) de la RTM de vacas en producción.*

Compartimiento del PSPS	Mezclador vertical	Mezclador horizontal	DE	P
	Media	Media		
> 19.0 mm	17.33	20.35	8.42	>0.05
19.0 a 8.0 mm	5.24	3.30	3.85	>0.05
8.0 a 1.18 mm	4.84	6.01	1.74	>0.05
< 1.18 mm	16.59	39.62	8.35	>0.05
$peRTM_8$	55.48	55.05	1.94	>0.05
$peRTM_{1.18}$	90.52	90.22	1.77	>0.05

No se observó efecto del carro mezclador ( $P > 0.05$ ) sobre la distribución del tamaño de partícula de los sobrantes a través de las cribas utilizadas para su evaluación (Cuadro 8). La cantidad de DTP utilizando el PSPS de los sobrantes retenida en la criba > 19.0 mm fue menor en un 50% a lo reportado por Sova et al. (2013), de ambos carros mezcladores, donde ellos analizaron las muestras de alimento sobrante 24 horas después de ofrecerla a los animales.

Los datos obtenidos en la criba 19.0 a 8.0 mm  $38.00 \pm 0.19\%$  en ambos carros mezcladores, es similar a lo observado por Sova et al. (2013), donde ellos reportan  $35.0 \pm 7.2\%$ . Sova et al. (2013), sugieren  $24.8 \pm 5.2\%$  de partícula retenida en la

criba 8.0 mm a 1.18 mm, lo reportado en este trabajo se encuentra dentro de lo propuesto con  $33.6 \pm 0.13\%$  de partículas. En la criba  $<1.18$  mm las cantidades en este trabajo se encuentra por arriba de reportado por Sova et al. (2013),  $11.2 \pm 0.72\%$  vs  $6.6 \pm 1.4\%$  de partículas retenidas en la base.

*Cuadro 8. Efecto del carro mezclador sobre la distribución del tamaño de partícula de los sobrantes de la RTM en vacas en producción.*

Variable	Mezclador vertical	Mezclador horizontal	DS	P
	Media	Media		
> 19.0 mm	16.40	17.79	4.22	>0.05
19.0 a 8.0 mm	37.89	38.19	3.31	>0.05
8.0 a 1.18 mm	33.80	33.53	2.97	>0.05
< 1.18 mm	11.92	10.48	12.31	>0.05

No se observó efecto del carro mezclador ( $P > 0.05$ ) sobre la variabilidad de la distribución del tamaño de partícula de los sobrantes a través de las cribas utilizadas para su evaluación (Cuadro 9).

*Cuadro 9. Efecto del carro mezclador sobre el coeficiente de variación de la distribución de partículas (porcentaje) y la eficacia física de los sobrantes de la RTM de vacas en producción.*

Variable	Mezclador vertical	Mezclador horizontal	DS	P
	Media	Media		
> 19.0 mm	18.75	17.93	9.56	>0.05
19.0 a 8.0 mm	4.34	11.48	1.93	>0.05
8.0 a 1.18 mm	6.21	6.44	2.52	>0.05
< 1.18 mm	8.51	20.76	4.05	>0.05
peRTM <sub>8</sub>	54.29	55.98	4.75	>0.05
peRTM <sub>1.18</sub>	88.08	89.52	2.31	>0.05

En el cuadro 10, se muestran los resultados del efecto del mezclador sobre la selectividad en la DTP de la ración totalmente mezclada, solamente la selectividad de la base tuvo diferencias ( $P < 0.05$ ). Se encontró que en ambos carros mezcladores hubo rechazo selectivo  $117.2 \pm 0.2\%$  de las partícula  $> 19.0$  mm, a diferencia de lo propuesto por Felton y DeVries, (2010) y Sova et al. (2014) donde reportan que tuvieron consumo preferencial de esta porción, 78.1% y 97.6%, respectivamente. Por otra parte, Felton y DeVries, (2010) reportaron un consumo preferencial de la porción 8.0 mm de 99.8%, porcentaje que es similar a lo obtenido

en este trabajo, destacando que con el carro mezclador vertical fue de 92%, mientras que con el carro mezclador horizontal no se observó selectividad (100%) de esta porción.

*Cuadro 10. Efecto del carro mezclador sobre la selectividad de la ración totalmente mezclada.*

Carro	Compartimento			
	> 19.0 mm	8.0 mm	1.18 mm	Base
Mezclador vertical	117.4 <sup>a</sup>	92 <sup>b</sup>	98 <sup>a</sup>	132 <sup>a</sup>
Mezclador horizontal	117.0 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>	97 <sup>a</sup>	109 <sup>b</sup>
EEM	0.065	0.02	0.02	0.04
P	0.963	0.03	0.53	0.00

En cuanto a la porción 1.18 mm, en este trabajo se obtuvo consumo preferencial del carro mezclador vertical y del carro mezclador horizontal, 98% y 97%, respectivamente, en comparación a lo propuesto por Felton y DeVries, (2010) y Sova et al. (2014), que reportan rechazo selectivo de esta porción. Con respecto a la selectividad de la base, en este trabajo se reporta un 132% del carro mezclador vertical y 109% del carro mezclador horizontal, que nos indica un rechazo selectivo de esta porción, siendo similar a lo observado por Sova et al. (2014), a diferencia de lo propuesto por Felton y DeVries, (2010) que reportan consumo preferencial. En este trabajo se tomaron solo tres muestras de la RTM en ambos mezcladores y de sus sobranes, y la distribución del tamaño de partícula se calculó usando muestras tal como lo ofrecido. Por lo que se requiere realizar más estudios, donde se aumente el número de muestras por día y se estime la cantidad de MS. Además, se necesita más investigación, para estudiar la relación entre el carro mezclador, la DTP y su variabilidad sobre la producción y calidad de la leche.

En conclusión, no se observó efecto del carro mezclador sobre la DTP, la peRTM y de la variabilidad de la RTM, pero si hubo efecto del día de muestreo en las variables. No se observó efecto del carro mezclador sobre la DTP, la peRTM y de la variabilidad de los sobranes a través de las cribas utilizadas para su evaluación. El diseño de los carros mezcladores no influye en la variabilidad de la DTP, pero existe la necesidad crítica de acentuar las medidas para un tamaño de partícula adecuada de la RTM en la alimentación de animales en producción basadas en

ensilaje de maíz, alfalfa y semilla de algodón, para disminuir los sobrantes por la selectividad de la RTM.

## Literatura citada

- Allen, D. M. and R. J. Grant. 2000. Interactions between forage and wet corn gluten feed as sources of fiber in diets for lactating dairy cows. *J Dairy Sci.* 83(2):322-331.
- Armentano, L. and M. Pereira. 1997. Measuring the effectiveness of fiber by animal response trials. *J Dairy Sci.* 80(7):1416-1425.
- Bal, M. A., R. D. Shaver, and A. G. Jirovec. 2000. Crop Processing and Chop Length of Corn Silage: Effects on Intake, Digestion, and Milk Production by Dairy Cows. *J Dairy Sci.* 83:1264-1273.
- Beauchemin, K. A. and L. M. Rode. 1997. Minimum versus optimum concentrations of fiber in dairy cows diets based on barley silage and concentrates of barley or corn. *J. Dairy Sci.* 80:1629-1639.
- Bernard, L. and M. C. Calhoun. 1997. Response of Lactating Dairy Cows to Mechanically Processed Whole cottonseed. *J Dairy Sci.* 80:2062-2068.
- Bernard, L., J. P. Chaise, R. Baumont, and C. Poncet. 2000. The effect of physical form of orchardgrass hay on the passage of particulate matter through the rumen of sheep. *J. Anim. Sci.* 78:1338-1354.
- Clark, P. W. and L. Armentano. 1997. Influence of Particle Size on the Effectiveness of Beet Pulp fiber 1. *J Dairy Sci.* 80:898-904.
- Clark, P. W. and L. E. Armentano. 1997b. Replacement of alfalfa neutral detergent fiber with a combination of nonforage fiber sources. *J Dairy Sci.* 80:675-680.
- Clark, P. W. and L. E. Armentano. 1999. Influence of particle size on the effectiveness on the fiber in corn silage. *J Dairy Sci.* 82:521-588.
- DeVries, T. J., F. Dohme, y K. A. Beauchemin. 2008. Repeated ruminal acidosis challenges in lactating dairy cows at high and low risk for developing acidosis: Feed sorting. *Journal of Dairy Science* 91: 3958-3967.
- Esmaili, 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, C. A., DeVries, T. J. 2010. Effect of water addition to a total mixed on feed temperature, feed intake, sorting behavior, and milk production of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93 :2651–2660.
- Firkins, J. L. 1997. Effects of feeding nonforage fiber sources on site of fiber digestion. *J Dairy Sci.* 80(7):1426-1437.
- Grant, R. J. 1997. Interactions among forages and nonforages fiber sources. *J Dairy Sci.* 80:1438-1446.
- Greter, A. M., y T. J. DeVries. 2011. Effect of feeding amount on the feeding and sorting behaviour of lactating dairy cattle. *Canadian Journal of Animal Science* 91: 47-54.
- Heinrichs, A. J., D. R. Buckmaster, and B. P. Lammers. 1999. Processing Mixing, and Particle Size Reduction of Forage for Dairy Cattle. *J Animal Sci.* 77:180-186.
- Heinrichs, A. J., Jones, C. M. 2016. Penn State Particle Separator. Penn State Extension. <https://extension.psu.edu/penn-state-particle-separator>.



- Kononoff, P. J., Heinrichs, A. J. 2003a. The Effect of Reducing Alfalfa Haylage Particle Size on Cows in Early Lactation. *J. Dairy Sci.* 86:1445–1457.
- 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.
- Kononoff, P. J., Heinrichs, A. J., Lehman, H. A. 2003c. The Effect of Corn Silage Particle Size on Eating Behavior, Chewing Activities, and Rumen Fermentation in Lactating Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 86:3343–3353.
- Krause, D. M., D. K. Combs, and K. A. Beauchemin. 2002. Effects of forage particle size and grain fermentability in midlactation cows. I. Milk Production and Diet Digestibility. *J Dairy Sci.* 85(8):1936-1946.
- Leiva, E., M. B. Hall, and H. H. Van Horn. 2000. Performance of dairy cattle fed citrus pulp of corn products as sources of neutral detergent-solubles carbohydrates. *J Dairy Sci.* 83:2866-2875.
- Maulfair, D. D., y A. J. Heinrichs. 2010. Eating behaviour, ruminal fermentation ,and milk production in lactating dairy cows fed rations that varied in dry alfalfa hay and alfalfa silage content. *Livestock Science* 151: 179-187.
- Maulfair, D. D., y A. J. Heinrichs. 2013. Effects of varying forage particle size and fermentable carbohydrates on feed sorting, ruminal fermentation, and milk and component yields of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 96: 3085-3097
- Mertens, D. R. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J Dairy Sci.* 80(7):1463-1481.
- Miller-Cushon, E. K., y T. J. DeVries. 2017. Feed sorting in dairy cattle: Causes, consequences, and management. *Journal of Dairy Science* 100: 4172-4183.
- Mooney, C. S. and M. S. Allen. 1997. Physical effectiveness of the neutral detergent fiber of whole linted cottonseed relative to that of alfalfa silage at two lengths of cut. *J. Dairy Sci.* 80:2052-2061.
- Murphy, M. R. and J. S. Zhu. 1997. A comparasion of methods to analyze particle sizs as applied to alfalfa haylage, corn silage, and concentrate mix. *J.Dairy Sci.* 80:2932-2938.
- Nichols, S. W., M. A. Froetschel, H. E. Amos, and L. O. Ely. 1998. Effects of fiber from tropical corn and forage sorghum silages on intake, digestion, and performance of lactating dairy cows. *J Dairy Sci.* 81(9):2383-2393.
- Oba, M. and M. S. Allen. 2000a. Effects of brown midrib 3 mutation in corn silage on productivity of dairy cows fed two concentrations of dietary neutral detergent fiber: 2. Chewing activities. *J Dairy Sci.* 83(6):1342-1349.
- Oba, M. and M. S. Allen. 2000c. Effects of brown midrib 3 mutation in corn silage on productivity of dairy cows fed two concentrations of dietary neutral detergent fiber: 1. Feeding behavior and nutrient utilization. *J Dairy Sci.* 83(6):1333-1341.
- Pereira, M. N., E. F. Garrett, and G. R. Oetzel. 1999. Partial replacement of forage with nonforage fiber sources in lactating cow diets. I. Performance and health. *J. Dairy Sci.* 82:2716-2730.
- Sanz Sampelayo, M. R., L. Pérez, J. Boza, and L. Amigo. 1998. Forage of Different Physical Forms in the Diets of Lactating Granadina Goats: Nutrient Digestibility and Milk Production and Composition1. *J Dairy Sci.* 81(2):492-498.
- SAS. 1985. User Guide: Statistics. Version 5 Edition. SAS Inst., Inc. Cary, NC.

- Schettini, M. A., E. C. Prigge, and E. L. Nestor. 1999. Influence of mass and volume of ruminal contents on voluntary intake and digesta passage of a forage diet in steers. *J. Anim. Sci.* 77:1896-1904.
- Shain, D. H., R. A. Stock, T. J. Klopfenstein, and D. W. Herold. 1999. The effect of forage source and particle size on finishing yearling steer performance and ruminal metabolism. *J. Anim. Sci.* 77:1082-1092.
- Soita, H. W., D. A. Christensen, and J. J. McKinnon. 2000. Influence of particle size on the effectiveness of the fiber in barley silage. *J Dairy Sci.* 83(10):2295-2300.
- Sova, A. D., LeBlanc, S. J., McBride, B. W., DeVries, T. J. 2013. Associations between herd-level feeding management practices, feed sorting, and milk production in freestall dairy farms. *J. Dairy Sci.* 96 :4759–4770
- Sova, A. D., LeBlanc, S. J., McBride, B. W., DeVries, T. J. 2014. Accuracy and precision of total mixed rations fed on commercial dairy farms. *J. Dairy Sci.* 97 :562–571.
- Stensig, T. and P. H. Robinson. 1997. Digestion and passage kinetics of forage fiber in dairy cows as affected by fiber-free concentrate in the diet. *J Dairy Sci.* 80(7):1339-1352.
- Tayyab, U., Wilkinson, R. G., Reynolds, C. K., Sinclair, L. A. 2018. Particle size distribution of forages and mixed rations, and their relationship with ration variability and performance of UK dairy herds. Pages 108-115.
- Turiello, P., Larriestra, A., Bargo, F., Relling, A. and Weiss, W. 2018. Sources of variation in corn silage and total mixed rations of commercial dairy farms. *The Professional Animal Scientist* 34: 148-155.
- Wang, H. R., Q. Chen, L. M. Chen, R. F. Ge, M. Z. Wang, L. H. Yu, y J. Zhang. 2017. Effects of dietary physically effective neutral detergent fiber content on the feeding behavior, digestibility, and growth of 8- to 10-month-old holstein replacement heifers. *Journal of Dairy Science* 100: 1161-1169.
- Wang, Z., M. L. Eastridge, and X. Qiu. 2001. Effects of forage neutral detergent fiber and yeast culture on performance of cows during early lactation. *J Dairy Sci.* 84(1):204-212.
- West, J. W., P. Mandebvu, G. M. Hill, and R. N. Gates. 1998. Intake, milk yield, and digestion by dairy cows fed diets with increasing fiber content from bermudagrass hay of silage. *J Dairy Sci.* 81(6):1599-1607.
- Yang, W. Z., K. A. Beauchemin, and L. M. Rode. 2001b. Barley Processing, Forage:Concentrate, and Forage Length Effects on Chewing and Digesta Passage in Lactating Cows. *J Dairy Sci.* 84:2709-2720.
- Yang, W. Z., K. A. Beauchemin, and L. M. Rode. 2002. Effects of particle size of alfalfa-based dairy cows diets on site and extent of digestion. *J Dairy Sci.* 85:1958-1968.