



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales
Maestría en Salud y Producción Animal Sustentable

EVALUACIÓN DE DOS FRECUENCIAS DE ALIMENTACIÓN DE UNA RACIÓN
TOTALMENTE MEZCLADA EN EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE VACAS
LECHERAS

TESIS

como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestro en Salud y Producción Animal Sustentable

Presenta:

Gustavo Mendoza Rómulo

Dirigido por:

M. en C. Ma. de Jesús Chávez López

M. en C. Ma. de Jesús Chávez López
Presidente

Firma

Dr. Carlos Francisco Sosa Ferreira
Secretario

Firma

Dra. Araceli Aguilera Barreyro
Vocal

Firma

Dr. José Luis Zaragoza Ramírez
Suplente

Firma

MSPAS. Alberto Quintana Erdozaín
Suplente

Firma

Dra. Juana Elizabeth Elton Puente
Director de la Facultad

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Director de Investigación y Posgrado

Campus Juriquilla
Querétaro, Qro.
Diciembre, 2018
México

RESUMEN

La nutrición animal es importante para definir parámetros de productividad y rentabilidad. La rutina de alimentación es clave para determinar los costos de alimentación ya que esta representa el mayor porcentaje de los costos totales de producción. La frecuencia de alimentación es una estrategia para mejorar el aprovechamiento de los recursos, la productividad y salud del hato. El presente trabajo se realizó en el establo lechero “El Colorado” ubicado en la localidad de General Lázaro Cárdenas, municipio El Marqués, Estado de Querétaro. Se utilizaron en promedio 578 vacas de la raza Holstein en periodo de lactancia bajo un diseño factorial 2 x 8 (2 tratamientos, 8 corrales) con covariables, las vacas fueron distribuidas en ocho corrales de acuerdo a los días en lactancia. Se evaluaron dos frecuencias de alimentación, la RTM fue ofrecida 8 veces al día en el tratamiento 1 y 5 veces al día en el tratamiento 2. Los 2 tratamientos se aplicaron a los 8 corrales en dos etapas, 4 corrales para cada tratamiento en la primera etapa, en la segunda etapa se invirtieron los tratamientos. Los dos tratamientos fueron alimentados con la misma dieta. Las variables estudiadas fueron: consumo de materia seca (kg/v/d), producción de leche (L/v/d), tamaño de partícula de la ración y costos por tratamiento. Para el análisis de datos se empleó el procedimiento PROC GLM del programa estadístico SAS 9.4. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey. La producción de leche fue superior significativamente ($p < 0.05$) en el tratamiento 1 con un promedio de 32.249 ± 0.306 litros con respecto al tratamiento 2 que registró 31.473 ± 0.295 litros promedio. Por el contrario, no se obtuvieron diferencias significativas ($p > 0.05$) en el consumo de materia seca. Sobre los costos de producción, el tratamiento 2 exhibió una disminución de 20.4% de los costos de operación, pero el tratamiento 1 mejoró la utilidad al presentar mayor rendimiento productivo. Finalmente, una mayor frecuencia de alimentación en el presente estudio destacó como la mejor alternativa para obtener mejor rendimiento productivo y mayor margen de utilidad.

Palabras clave: Frecuencia de alimentación, producción de leche, costos, bovinos

SUMMARY

Animal nutrition is important to define parameters of productivity and profitability. The feeding routine is the key to determining feed costs, since it represents the largest percentage of total production costs. The feeding frequency is a strategy to improve the use of resources, productivity and health of the herd. The present work was carried out in the "El Colorado" dairy farm located in the town of General Lázaro Cárdenas, the Marqués municipality, State of Querétaro. An average of 578 Holstein cows in lactation period were used under a 2 x 8 factorial design (2 treatments, 8 pens) with covariates, the cows were distributed in eight pens according to the days of lactation. Two feeding frequencies were evaluated, the RTM was offered 8 times a day in the 1 treatment and 5 times a day in the 2 treatment. The 2 treatments were applied to the 8 pens in the two stages, 4 pens for each treatment in the first stage, in the second stage the treatments were inverted. The two treatments were fed the same diet. The variables studied were: dry matter consumption (kg / v / d), milk production (L / v / d), particle size of the ration and costs per treatment. For the data analysis, the PROC GLM procedure of the statistical program SAS 9.4 was used. The comparison of means was made by the Tukey test. Milk production was significantly higher ($p < 0.05$) in treatment 1 with an average of $32,249 \pm 0.306$ liters compared to treatment 2, which registered an average of $31,473 \pm 0.295$ liters. On the contrary, no significant differences were obtained ($p > 0.05$) in dry matter consumption. On production costs, treatment 2 exhibited a 20.4% decrease in operating costs, but treatment 1 improved utility by presenting higher productive performance. Finally, a higher feeding frequency in the present study was highlighted as the best alternative to obtain better productive performance and greater profit margin.

Keywords: Feeding frequency, milk production, costs, cattle

DEDICATORIAS

Dedico este logro a mi familia, mi esposa Clara y mis princesas Abril Yamilet y Ximena por ser parte de mí y hacerme siempre feliz. A mis papás Rosa y Epifanio por apoyarme en todo momento y demostrarme que no existe en el mundo nada que sea imposible de hacer. A mis hermanos Rosendo, Juan Carlos y Luis Gerardo por ayudarme a cumplir mis metas y ser parte de ellas.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), a la Facultad de Ciencias Naturales (FCN) y especialmente a la Maestría en Salud y Producción Animal Sustentable (MSPAS) por haberme dado la oportunidad de pertenecer a su comunidad y brindarme el apoyo necesario para poder cumplir una meta más.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para realizar mis estudios de posgrado y por el apoyo que nos brinda a todos para cumplir nuestras metas.

A mi directora de tesis M. en C. Ma de Jesús Chávez López por su apoyo brindado durante el posgrado y por su amistad.

Al MVZ. Diego Hernández Cárdenas, Gerente de producción del Rancho el Colorado, por facilitarnos las instalaciones y animales del establo, así como su asesoría y conocimientos.

A los integrantes del comité de evaluación del proyecto de tesis, por sus conocimientos y apoyo favorecidos en mi estancia en el posgrado.

INDICE

RESUMEN.....	i
SUMMARY	ii
DEDICATORIAS	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
INDICE	v
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1. Contexto internacional.....	2
2.2. Contexto nacional	2
2.3. Frecuencia de alimentación	3
2.4. Sustentabilidad en la producción de leche	6
2.5. Tamaño de partícula en la nutrición de bovinos lecheros	8
2.5.1. Tamaño de partícula establecido por el Separador de Partículas de Penn State (SPPS).....	9
2.6. Consumo de fibra recomendado.....	10
2.7. Consumo de materia seca	12
2.8. Costos de producción.....	13
III. OBJETIVOS.....	16
3.1. General.....	16
3.2. Específicos.....	16
IV. HIPÓTESIS	17
V. MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	18
5.1. Localización del sitio experimental.....	18
5.2. Clima.....	19
5.3. Diseño experimental.....	19
5.4. Frecuencia de alimentación	20
5.5. Descripción de Separador de Partículas de Penn State.....	21
5.6. Tamaño de partícula de la ración total mezclada (RTM) ofrecida y sobrante... ..	22

5.7.	Producción de leche.....	24
5.8.	Consumo de materia seca	24
5.9.	Costos de alimentación	25
5.10.	Análisis estadístico.....	25
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
6.1.	Parámetros productivos	27
6.2.	Tamaño de partícula de la ración total mezclada	36
6.3.	Producción de leche.....	40
6.4.	Consumo de materia seca	42
6.5.	Costos de alimentación	44
VII.	CONCLUSIONES.....	48
VIII.	REFERENCIAS	49
IX.	ANEXOS.....	53

Dirección General de Bibliotecas UAQ

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Recomendaciones para el tamaño de partícula de forraje y RTM	10
2	Guías para consumo de FDN y de forraje como porcentaje de la materia seca total de la ración	11
3	Costos de producción por tipo de productor (mayo – junio de 2007)	14
4	Características de las unidades experimentales	19
5	Dieta balanceada única para vacas Holstein en producción sometidas a dos frecuencias de alimentación	20
6	Ejemplo del cálculo del peso total y los porcentajes acumulativos bajo cada criba	24
7	Producción de leche promedio de vacas Holstein con diferente número de lactancia	40
8	Producción de leche para tratamientos con dos diferentes frecuencias de alimentación	41
9	Efecto del número de muestra sobre producción de leche de bovinos Holstein alimentados con diferente frecuencia de alimentación	42
10	Valores de consumo de materia seca de bovinos Holstein con diferente número de lactancia	42
11	Respuesta en consumo de materia seca de bovinos Holstein expuestos a dos diferentes frecuencias de alimentación	43
12	Efecto del número de muestra sobre consumo de materia seca en bovinos Holstein alimentados con diferente frecuencia de alimentación	44
13	Tiempo y costos de operación de la rutina de alimentación al evaluar dos diferentes frecuencias de alimentación	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Localización del municipio de General Lázaro Cárdenas (El Colorado) al noroeste del estado de Querétaro	18
2	Separador de Partículas de Penn State (SPPS)	22
3	Patrón de agitación para la separación de partículas por tamaño.	23
4	Efecto de los días en leche en el comportamiento productivo de vacas lecheras Holstein alimentadas 8 veces por día.	27
5	. Efecto del número de lactancia en el comportamiento productivo de vacas lecheras Holstein alimentadas 8 veces por día	28
6	Efecto del consumo diario de materia seca en el comportamiento productivo de vacas lecheras Holstein alimentadas 8 veces por día	29
7	Efecto de los días en leche en el consumo diario de materia seca de vacas lecheras Holstein alimentadas 8 veces por día	30
8	Efecto del número de lactancia en el consumo diario de materia seca de vacas lecheras Holstein alimentadas 8 veces por día	31
9	Efecto de los días en leche en el comportamiento productivo de vacas lecheras Holstein alimentadas 5 veces por día	32
10	Efecto del número de lactancia en el comportamiento productivo de vacas lecheras Holstein alimentadas 5 veces por día	33
11	Efecto del consumo diario de materia seca en el comportamiento productivo de vacas lecheras Holstein alimentadas 5 veces por día	33
12	Efecto de los días en leche en el consumo diario de materia seca en vacas Holstein alimentadas 5 veces por día.	34
13	Efecto del número de lactancia en el consumo diario de materia seca en vacas Holstein alimentadas 5 veces por día.	35
14	Tamaño de partícula de la RTM muestreada en los corrales del T1	36
15	Tamaño de partícula de la RTM muestreada en los corrales del T2	37

16	Tamaño de partícula de la RTM Sobrante muestreada en los corrales del T1	38
17	Tamaño de partícula de la RTM Sobrante muestreada en los corrales del T2	39
18	Costos de alimentación obtenidos al evaluar dos diferentes frecuencias de alimentación	46

Dirección General de Bibliotecas UAQ

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Tabla de ANOVA para el modelo de predicción de producción de leche con dos frecuencias de alimentación	53
2	Tabla de ANOVA para el modelo de predicción del consumo de materia seca con dos frecuencias de alimentación	53

Dirección General de Bibliotecas UAQ

I. INTRODUCCIÓN

La nutrición animal es importante para definir parámetros de productividad y rentabilidad. Gran parte de los productores de ganado bovino en las cuencas lecheras de México han buscado maximizar los niveles de producción, y al mismo tiempo disminuir los costos de alimentación sin comprometer los parámetros de rentabilidad de sus unidades productivas. Los costos de alimentación representan entre un 65 a 85% de los costos totales de producción (Shimada, 2007); lo que constituye el componente más significativo en toda unidad de producción, por lo que cualquier ajuste que se realice en la nutrición de los animales se verá reflejado en los costos totales. La rutina de alimentación es clave para determinar los costos de alimentación, por ello algunos productores, deciden disminuir la frecuencia de alimentación por día, como una alternativa para la reducción de costos en mano de obra y desgaste y mantenimiento de la maquinaria. Al mismo tiempo la frecuencia de alimentación influye o tiene la capacidad de afectar directamente los parámetros de alimentación, salud y productividad más importantes (Hart *et al.*, 2014) en el ganado lechero.

En la última década el aumento en el consumo mundial de productos lácteos dependió en gran medida del aumento de la población mundial, 70% de los aumentos en la demanda se atribuyen a este factor y el restante 30% se explicó con el aumento en el consumo por habitante (Secretaría de Economía, 2017). La creciente demanda de estos productos traerá considerables consecuencias tecnológicas y estructurales en el sector ganadero. Será necesario aumentar considerablemente la productividad de los animales para poder satisfacer la demanda de los consumidores, hacer un uso más eficiente de los recursos y generar ingresos para la población agrícola en aumento.

Por lo mencionado anteriormente, se realizó el presente estudio con el objetivo general de evaluar dos frecuencias de alimentación de una ración total mezclada para determinar su efecto en el rendimiento productivo de vacas lecheras y la actuación de los costos de producción. Como objetivo específico nos planteamos estimar el efecto de la frecuencia de alimentación sobre la producción de leche, costos de alimentación y consumo de materia seca.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Contexto internacional

La leche es uno de los productos agrícolas más producidos y valiosos del mundo, se produce y consume prácticamente en todos los países del mundo. La leche entera de vaca representa el 82.2% de la producción global de leche, seguida por la leche de búfalo (13.7%), cabra (2.3%), oveja (1.3%) y camello (0.4%) (FAO, 2017; OCLA, 2017). Se prevé que la producción de leche aumentará 177 millones de toneladas para el año 2025; con una tasa promedio de crecimiento del 1.8% por año, en los próximos diez años. Igualmente se prevé un aumento para el mismo periodo en el consumo per cápita de productos lácteos de 0.8% y 1.7% anual para países en desarrollo, y entre 0.5 y 1.1 en países desarrollados (FAO, 2017).

En el panorama global, México en 2017 ocupó la octava posición en la producción mundial de leche, tres de cada cien litros que se producen en el mundo son de origen mexicano. La Unión Europea encabeza la producción de leche con 156,925 (miles de toneladas), seguido de Estados Unidos (98,339), India (72,000), China (35,000) y Rusia (30,195) (SIAP, 2017b).

2.2. Contexto nacional

México en el año 2016 registró una producción de leche de 11,608,400 (miles de litros), 1.87% más que el año anterior y 15.06% que la producción del año 2006. En los últimos diez años se observa un incremento promedio de 1.43% en la producción nacional de leche. La producción de leche en México está encabezada por Jalisco con 2,228,482 (miles de litros), seguido por Coahuila (1,411,959), Durango (1,113,982) y Chihuahua (1,051,731). El inventario nacional de cabezas de ganado bovino lechero para el año 2016 fue de 6,450 (Miles de cabezas), esta cifra fue menor al registrado en el año 2010 (6,480). En términos de productividad México en 2016 presentó un promedio de 1.85 (Toneladas/cabeza), esto es 8.82% mayor a la productividad registrada en el año 2010. El consumo per cápita de leche de bovino en México para el año 2016 fue de 118.1 (litros), que en comparación con los datos de 2011 fue 7.85% mayor, pero a pesar de que el consumo per cápita y la producción van en aumento, no

hay que olvidar que las importaciones también siguen este mismo patrón, una muestra de esto es la estructura porcentual del consumo nacional aparente de leche para el año 2017 en donde se estima que el 23% del consumo nacional corresponde a leche importada, solo el 2% de la producción de leche del país es exportada a otros países (SIAP, 2017a).

En el año 2006, en México se importó 143 mil 529 toneladas; para 2016 la cifra aumento a 292 mil 803 toneladas, lo que significa un aumento de 104% en ese periodo. Las importaciones según los valores preliminares de septiembre de 2017 son de 246 mil 224 toneladas; 13.7% mayor al mismo periodo del año 2016 (SIAP, 2017b). Existe una clara dependencia de la producción global para abastecer las necesidades de consumo de leche en nuestro país.

2.3. Frecuencia de alimentación

La frecuencia de alimentación es uno de los factores que tiene la capacidad de afectar directamente los parámetros de alimentación, salud y productividad más importantes para los productores (Hart *et al.*, 2014). Esta estrategia sumada al momento de administración del alimento, tienen la capacidad de modificar positivamente los patrones de alimentación de las vacas lecheras lactantes, y pueden ser manipuladas para optimizar la salud y productividad de las vacas (Hart, 2013).

Una frecuencia de alimentación de dos veces por día con un aporte elevado de concentrado determina resultados en producción y calidad de la leche, estos pueden mejorarse substancialmente aumentando la frecuencia de alimentación por día (Coello, 2013).

Gibson (1984) realizó una recopilación de trabajos enfocados a determinar el efecto de la frecuencia de alimentación en la producción y calidad de la leche, encontró varios resultados estadísticamente significativos en donde el aumento en la producción de grasa en leche (7.3%) y en menor medida en la producción de leche (2.7%) dependían de aumentar la frecuencia de alimentación de 1-2 a 4 o más veces al día. Pero el aumento en la frecuencia de alimentación no garantiza en todos los casos el

aumento en la producción de leche y mucho menos la concentración de grasa que se requiere a nivel comercial (>3.5%), ya que estos indicadores también dependen de otros factores de la alimentación como lo son la proporción concentrado-forraje, calidad y digestibilidad de los insumos, condición nutricional y médica de las vacas, entre otros. Los trabajos revisados presentaron estrategias de alimentación diferentes a las actuales.

El aumento de la frecuencia de alimentación favorece el consumo por parte de las vacas de una ración total mezclada más homogénea durante todo el día, gracias a esto, los animales presentan un comportamiento alimenticio que favorece la salud ruminal (DeVries *et al.*, 2005).

Carbajal y Pérez (2007) compararon cuatro frecuencias de alimentación (1, 2, 3 y 4), observaron un aumento en el consumo de materia seca en la alimentación dos veces al día, pero en ninguna de las cuatro frecuencias observaron un aumento significativo en la producción de leche. En términos de costos de producción, la frecuencia de una vez al día provocó una disminución de los costos de producción, pero esta reducción no reflejó mayor margen de utilidad bruta.

Stanley y Morita (1967) realizaron un estudio donde encontraron que ofrecer por separado forraje y concentrado a diferentes frecuencias de alimentación (2-4 y 4-7 tiradas) no provocaba cambios significativos en la producción de leche, pero destacaron el aumento en el consumo de alimento en el tratamiento con mayor frecuencia de alimentación, ya que las vacas consumieron mayor forraje y esto favoreció el aumento en proporción de la concentración de sólidos totales (0.25%), grasa (0.17%) y proteína de la leche (0.06%).

En un intento por demostrar el efecto de tres diferentes frecuencias de alimentación sobre el consumo y la producción de leche de bovinos Hart *et al.* (2014), observaron que las vacas alimentadas 3 veces por día consumían más materia seca que las de 1 y 2 veces por día. La frecuencia de alimentación no tuvo ningún efecto sobre la producción de leche, la composición o la eficiencia de la producción de leche. Posiblemente los nutrientes consumidos por las vacas con mayor consumo de materia seca fueron almacenados en el cuerpo y no destinados a la síntesis de leche como

respuesta a la etapa de la lactancia en la que se encontraban (79.1 ± 32.4 DEL y 39.6 ± 5.0 kg L/d).

Mäntysaari *et al.*, (2006) observaron que el consumo de materia seca se aumenta al reducir la frecuencia de alimentación de 5 a 1 vez por día, esto lo atribuyeron a que la frecuencia 5 veces por día podría ser demasiado frecuente debido a que las vacas se encontraban más agitadas y disminuían su tiempo de reposo, en cuanto a la producción de leche no se observaron diferencias.

Una frecuencia de alimentación de 2, 4 y 7 veces al día mostraron una digestibilidad de la materia seca de 51.59, 55.52 y 55.10% respectivamente, las dos frecuencias más altas fueron estadísticamente superiores ($p < 0.10$) a la frecuencia de 2 veces por día, igualmente la producción de leche y el consumo de materia seca fueron estadísticamente superiores ($p < 0.10$) en estas dos frecuencias de alimentación (Campbell y Merilan, 1961).

Existe entre las vacas lecheras un comportamiento de agresividad a la hora de servir la ración, esta característica afecta el consumo de alimento y como consecuencia el rendimiento productivo. DeVries y Von Keyserlingk (2006) observaron que este comportamiento disminuye cuando se aumenta la frecuencia de alimentación de 1 a 4 servidas por día, la alimentación frecuente mejora el acceso a una ración homogénea y fresca durante todo el día.

La alimentación durante la misma hora del día estimula una anticipación por parte de las vacas para ser las primeras en consumir el alimento a servir, esto se interpreta como agresividad y es aumentada con el aumento de la frecuencia de alimentación (Phillips y Rind, 2001)

Dentro de los factores que influyen en el comportamiento alimenticio de los animales, se encuentra el nivel productivo. DeVries *et al.* (2003) observaron cómo las vacas entre 35 ± 16 y 57 ± 16 días en leche (DEL) aumentaron su tiempo de alimentación, frecuencia de las comidas y duración de la comida.

Evaluando el efecto de la elaboración de la dieta (alfalfa picada y en cubo) y la frecuencia de alimentación (2 y 4 tiradas) Klusmeyer *et al.* (1990) no observaron diferencia en cuanto a la producción y composición de la leche.

La dieta ofrecida al rumiante favorece el desarrollo de la flora ruminal y el mantenimiento de condiciones óptimas en el rumen, Shabi *et al.* (1998) observaron que aumentar la frecuencia de alimentación de vacas lecheras de 1 a 3 comidas por día, cambiaba la fermentación ruminal a gluconeogénico, esto se debe a que antes de la alimentación se observó mayor proporción molar de propionato y menor proporción de acetato a propionato, el propionato es trasladado hacia el hígado (por la vena porta) en donde sirve como sustrato primordial para la gluconeogénesis, favoreciendo así la utilización de los carbohidratos de la dieta.

2.4. Sustentabilidad en la producción de leche

La sustentabilidad es un término complejo de definir, comprende el cumplimiento de diversos objetivos de forma paralela que abarca factores productivos, ecológicos o ambientales, sociales, culturales, económicos y, fundamentalmente, temporales (Sarandón, 2002). A pesar de que no existe un parámetro o unidad universal para medir la sustentabilidad agropecuaria, esta se define como: El aprovechamiento de los recursos naturales por las actividades de los sistemas de producción agropecuaria con la finalidad de satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer los recursos y oportunidades de las generaciones futuras (Espinosa-García *et al.*, 2004).

Steinfeld *et al.* (2009) afirman que todas las actividades pecuarias influyen significativamente en las condiciones del medio ambiente, donde se incluyen al cambio climático y el aire, la tierra y el suelo, el agua y la biodiversidad. Estos mismos autores indican que a nivel mundial, las actividades pecuarias son responsables del 18% (aproximado) del total de emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero que provienen principalmente de los sectores a) energía, b) industria, c) residuos, d) uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura, y e) agricultura.

Las emisiones de metano, aparte de ser un peligro para el medio ambiente y sus componentes, también el metano representa una pérdida de carbono del rumen, esto no permite que el animal haga un uso eficiente de la energía proveniente en el alimento (Environmental Protection Agency, 2005). Como consecuencia las emisiones de metano cuando se cuenta con dietas pobres en cuanto a calidad (digestibilidad, contenido de nutrientes, etc.) serán más altas por animal y por unidad de producto final (Steinfeld *et al.*, 2009).

En la oferta de tecnologías para el uso eficiente del alimento se contempla el aumento de la digestibilidad de los alimentos, ya sea por medio de la modificación del tipo de alimento o la manipulando el proceso digestivo. Otra opción es el aumento del nivel de almidón o carbohidratos de rápida fermentación en la dieta, con esto se disminuye el exceso de hidrógeno y la subsiguiente formación de metano (Steinfeld *et al.*, 2009).

En un estudio realizado por Castillo-Rodríguez *et al.* (2012) en establos lecheros observaron que los sistemas de producción que presentaban indicadores de sustentabilidad como Apoyo gubernamental, Calidad de vida y Análisis económico presentaban mejor sustentabilidad económica. También se destaca la Organización para la producción, ya que ofreció un apoyo en el ámbito social y económico al elevar las utilidades mensuales disminuyendo los costos por el pago de servicios profesionales. Por otro lado, uno de los indicadores débiles que se presentaron fue la calidad bacteriológica de la leche, esto como consecuencia de un regular manejo sanitario del hato. Finalmente concluyeron que no siempre se puede ser sustentable al 100%.

La única manera de lograr una producción lechera sustentable radica en crear un equilibrio entre la producción lechera y el grado de impacto que pueda ser aceptable para la sociedad, reduciendo drásticamente la contaminación del agua, aire y suelo, preservando y mejorando el medio natural y haciendo un uso racional de los recursos (Tieri *et al.*, 2014).

2.5. Tamaño de partícula en la nutrición de bovinos lecheros

Las vacas lecheras requieren de fibra para un adecuado funcionamiento del rumen, actualmente las dietas ofrecidas son altas en granos y deficientes en forraje, por esta razón se presentan problemas de acidosis, timpanismos, desplazamiento de abomaso, entre otros. El tamaño de partícula de la ración ofrecida es importante para el adecuado consumo de los ingredientes que la componen, si una vaca consume la cantidad requerida de fibra con un tamaño de partícula muy pequeño, en realidad presentará los mismos problemas que una que haya tenido deficiencia de fibra (Heinrichs y Kononoff, 2002).

No tener un tamaño de partícula adecuado en el forraje puede influir en los niveles de consumo de alimento, descenso en la producción y hasta comprometer el estado inmunológico del animal, cuando el tamaño de partícula es demasiado pequeño, se disminuye el tiempo de masticación y la producción de saliva, como consecuencia de estas alteraciones el pH ruminal disminuye. Por otro lado, cuando el tamaño de partícula es grande, las vacas tendrán la opción de seleccionar el alimento, consumiendo una dieta diferente a la que se formula (Heinrichs y Kononoff, 2002; García y Kalscheur, 2006; Goya, 2015).

Bach y Calsamiglia (2006) coincidieron en que una mejor masticación se consigue con el incremento en la ingestión de materia seca (IMS) a partir de raciones con tamaños de partícula pequeños y que por consecuencia sería posible mejorar los valores del pH ruminal y contenido de grasa en leche. Los mismos autores consideran una buena estrategia estimular la secreción salival, aumentando el tamaño de partícula de la ración y manteniendo niveles mínimos de FDN para maximizar la producción de leche sin ocasionar trastornos ruminales. Por el contrario, Goya (2015) considera que un tamaño de partícula suficientemente largo y una cantidad de fibra suficiente aseguran una rumia y generación de saliva con acción tampón regulando el pH ruminal.

Alimentar a vacas productoras de leche con dietas que presentan bajo contenido de forraje, elevada proporción de concentrado y que además parte de estas estén en forma de pellets repercutirá negativamente en la producción de grasa en la

leche (Gibson, 1984). La baja disponibilidad de material fibroso que estimule el buen funcionamiento del rumen refleja como consecuencia se tendrá un aumento en la producción de ácidos grasos volátiles (AGV's) provocando además de poca producción de grasa en leche, trastornos metabólicos. Además, los AGV's proveen más del 60% de la energía digestible para el mantenimiento y la producción de leche, precursores para la síntesis de ácidos grasos, componentes de los triglicéridos de la grasa de la leche, glucosa precursora de lactosa y cofactores precursores de ácidos grasos (Grupo de Nutrición Animal, INTA, 2014).

2.5.1. Tamaño de partícula establecido por el Separador de Partículas de Penn State (SPPS)

El Separador de Partículas de Penn State es una herramienta que provee la capacidad para determinar cuantitativamente el tamaño de las partículas de forrajes y raciones totalmente mezcladas (RTMs). Esta herramienta consta de cuatro componentes: criba superior, criba media, criba inferior y bandeja baja, los tres primeros cuentan con poros de 19, 8 y 1.8 mm de diámetro respectivamente, el último componente no cuenta con poros y en esta se depositan las partículas más pequeñas (<1.67mm) (Heinrichs y Kononoff, 2002).

La finalidad del Separador de Partículas de Penn State radica en las cribas que lo componen, la criba superior retiene las partículas mayores de 19 mm. Estas partículas son aquellas que forman el filtro ruminal de forraje y las que tienen mayor efecto en estimular la rumia. La criba media separa las partículas que miden 19 mm y 8 mm, y que tienen una tasa moderada de digestión y flujo fuera del rumen. La bandeja inferior separa las partículas que miden entre 8 mm y 1.8 mm, esta criba se agregó para caracterizar mejor las partículas de tamaño más pequeño. La bandeja de fondo recoge las partículas remanentes, de menos de 1.8 mm. Estas partículas son las que se digieren o salen más rápidamente del rumen (García y Kalscheur, 2006).

Para un mejor control del tamaño de partícula Heinrichs y Kononoff (2002), establecieron parámetros para raciones totalmente mezcladas (RTM) y forrajes (Cuadro 1). En el primer caso se recomienda que una proporción menor al 8% del material se deposite en la criba superior, de 30 a 50% en las cribas media e inferior y

no más del 20% en la bandeja baja, esto para las vacas altas productoras. El caso del ensilado de maíz es muy variable y el tamaño de partícula dependerá de la cantidad que se incluya en la dieta. Si el ensilado de maíz es el único forraje, en la criba superior deberá contenerse como mínimo un 8% de las partículas y un mínimo de 3% cuando el ensilado no es el único forraje. Las cribas medias e inferior deberán contener entre 45-65% y 39-40% del ensilado respectivamente. Conforme mayor proporción de la ración sea representada por el ensilado de maíz, más material deberá ser contenido en la criba media y menos en la criba inferior.

Cuadro 1. Recomendaciones para el tamaño de partícula de forraje y RTM

Filtro	Poro (mm)	Partícula (mm)	Ensilaje Maíz	Ensilados	RTM
Criba superior	19.0	>19.0	3 a 8	10 a 20	2 a 8
Criba media	8.0	8.0 a 19.0	45 a 65	45 a 75	30 a 50
Criba inferior	1.18 ^a	1.67 a 8.0	30 a 40	20 a 30	30 a 50
Bandeja baja		<1.67	<5	<5	≤20

^a Los poros son cuadrados, así que la abertura más grande es la diagonal, que es de 1.67 mm. Esta es la razón por la que las partículas más grandes que pueden pasar por la Criba inferior son de 1.67 mm de largo.

Fuente: (Heinrichs y Kononoff, 2002).

2.6. Consumo de fibra recomendado

La fibra se ha definido en términos de Fibra Cruda (FC), Fibra Neutra (FND) y Acido Detergente (FAD), es usado para determinar la calidad de los forrajes, ingesta de materia seca, digestibilidad y aporte energético de los alimentos. Desde un punto de vista de nutrición en rumiantes, la fibra (forrajes secos y esquilmos) cuya composición predominan Hemicelulosas, celulosas, lignina y pectinas se considera como el conjunto de los componentes vegetales que presentan baja digestibilidad y que promueven la rumia y el equilibrio ruminal (Calsamiglia, 1997).

La fibra (forrajes secos y esquilmos con alto contenido de FDA y lignina) que consume la vaca presenta una fermentación lenta, esto ocasiona un aporte de energía muy bajo, además de generar poco ácido en el rumen, por otro lado, es una textura

física que estimula la rumia, la masticación, la secreción de saliva y regula el ritmo de paso dentro del rumen (Vázquez, 2013; Bach y Calsamiglia, 2006; García y Kalscheur, 2006).

El objetivo de la rumia es el de reducir el tamaño de las partículas para aumentar la superficie expuesta de los componentes de la RTM y favorecer el proceso de fermentación ruminal. Las vacas lecheras generan de 140 a 180 litros de saliva/día aproximadamente cuando el consumo de fibra efectiva es el adecuado y rumia de 6 a 8 horas/día; si el contenido de concentrado en la RTM es elevado y la fibra efectiva reducida, la rumia no es estimulada produciéndose acidosis. La saliva contiene cantidades importantes de buffers como bicarbonatos y fosfatos, que neutralizan los ácidos producidos durante la fermentación ruminal, manteniendo un pH de 6.2 a 6.4 que favorece la digestión de fibra y el crecimiento microbiano (Grupo de Nutrición Animal, INTA, 2014).

El funcionamiento adecuado del rumen, la producción y la salud son factores que dependen en gran medida del consumo adecuado de fibra (Cuadro 2). Se recomienda que la mayor proporción de fibra de una ración provenga de forrajes y que el consumo sea de al menos 1.10 a 1.20% del peso corporal, el consumo de FDN de forraje puede variar del 0.75 al 1.10% del peso corporal. Si el tamaño de partícula del forraje es demasiado fino, entonces el valor mínimo deberá aumentar a 0.85% del peso corporal (Heinrichs y Kononoff, 2002). Como consecuencia de un tamaño de partícula demasiado largo se presenta una disminución en el consumo de MS total (Goya, 2015).

Cuadro 2. Guías para consumo de FDN y de forraje como porcentaje de la materia seca total de la ración.

Producción de leche	Consumo de FDN total	Consumo de FDN de forraje
Alta (> 36 kg)	28 – 32%	21 – 27%
Media (27 – 36 kg)	33 – 37%	25 – 32%
Baja (<27 kg)	38 – 42%	29 – 36%

Fuente: Heinrichs & Kononoff (2002)

La pared celular de los vegetales está compuesta por polisacáridos, estas estructuras no se ven afectadas por la actividad enzimática de los mamíferos, ya que se componen de lignina, celulosa, hemicelulosa y pectina que, al fermentarse en el rumen, producen ácidos grasos volátiles (Van Soest, 1994). La producción de leche en vacas está altamente influida por la cantidad de glucosa derivada del propionato (AGV) producido en el rumen por la fermentación de carbohidratos al igual que acetato y β -hidroxibutirato (AGV's) encargados de la formación de ácidos grasos encontrados en la grasa de la leche (Wattiaux y Armentano, 2000).

2.7. Consumo de materia seca

El ritmo de fermentación de las gramíneas es lento por las numerosas uniones que existen entre la hemicelulosa y la lignina. La degradación lenta de las gramíneas en el rumen provoca una disminución en el ritmo de paso, y por lo tanto, la ingestión de materia seca (IMS) se ve afectada (Blach y Calsamiglia, 2006). Por el contrario, una reducción en el tamaño de partícula compromete la formación del filtro de forraje ruminal, y en ensilados con esta característica se aumenta la IMS, afectando su capacidad de formar el filtro de forraje ruminal y afectando el ritmo de paso por el rumen (Kononoff *et al.*, 2003b).

Las partículas de forraje consumidas por los rumiantes generan un filtro ruminal que regula la velocidad de tránsito a través del rumen lo suficiente para que sean degradadas por los microorganismos, al no presentarse este filtro, el tiempo de retención ruminal disminuye, así como la digestibilidad de la dieta, provocando un aumento en el consumo de materia seca, esto compensa la disminución en la digestibilidad (García y Kalscheur, 2006).

Las características nutricionales de la fibra además de depender de su composición, también lo hacen de la interacción entre sus componentes y de la presentación de ésta ante los animales. Considerando lo anterior, un análisis químico no es suficiente para determinar la calidad de un forraje, y será necesario observar el tamaño de partícula y el manejo de la ración. Como consecuencia se dificultan la formulación de raciones y la predicción de la respuesta productiva de los animales a una ración determinada (Calsamiglia, 1997).

En un estudio, García y Kalscheur (2006), demostraron una relación positiva entre el pH ruminal y el contenido de grasa en leche, a medida que aumenta el pH, el contenido de grasa en leche aumenta, con pH ruminal superior a 6.0, el porcentaje de grasa en leche de vacas Holstein era de 3.5 o superior. Los mismos autores afirmaron que una caída brusca en el consumo de materia seca puede ser debido al desarrollo de acidosis ruminal como resultado de un tamaño de partícula inadecuado o disminución de la fibra efectiva de la dieta.

2.8. Costos de producción

La nutrición es la rama del conocimiento que más incide en los costos de producción animal, ya que, dependiendo de la especie, representa entre el 60 y 85% de los mismos. Las mejoras o ahorros que se logren en el área de la alimentación tendrán, por tanto, el mayor impacto en la eficiencia general de la explotación, las ganancias económicas del granjero y los precios de los productos de origen animal para el consumidor final (Shimada, 2007).

La producción de leche es una actividad que depende de muchas condiciones, estas van determinando los costos de producción, entre los principales se encuentra el grado de tecnificación de la unidad de producción, el tipo de alimentación del ganado, la raza del ganado, las condiciones climáticas y la disponibilidad de agua. Considerando el grado de tecnificación, a medida que este sea mayor, se tendrá un nivel de costos de producción más alto (Cuadro 3), lo cual está relacionado por el peso de los costos de alimentación, gastos generales, depreciaciones, pago de impuestos y gastos financieros, principalmente. Por otro lado, las unidades de producción con menor tecnificación el mayor peso en costos de producción corresponde a la mano de obra (Secretaría de Economía, 2017).

Cuadro 3. Costos de producción por tipo de productor (mayo – junio de 2007)

Gastos	Altamente tecnificado	Tecnificado familiar	Trópico especializado	Trópico doble propósito	Promedio en porcentaje
Alimentación	\$2.35	\$2.05	\$1.51	\$0.97	56.80%
Mano de obra	\$0.31	\$0.36	\$0.37	\$0.48	12.50%
Gatos generales	\$0.48	\$0.18	\$0.32	\$0.25	10.10%
Depreciaciones	\$0.55	\$0.58	\$0.61	\$0.47	18.20%
Impuestos y cuotas	\$0.08	\$0.01	\$0.02	\$0.02	1.10%
Gatos financieros	\$0.15	\$0.00	\$0.00	\$0.00	1.20%
TOTAL	\$3.92	\$3.18	\$2.83	\$2.19	100%
Precio de venta	\$4.52	\$3.89	\$3.81	\$3.50	
Utilidad	\$0.60	\$0.71	\$0.98	\$1.31	
% sobre los gastos	15.30%	22.30%	34.60%	59.80%	
Prom. Lts/Día	>10,000	1,000	600	150	Fuente:

Adaptado de Secretaría de Economía, 2017

Al comparar los costos de producción entre las principales actividades de los diferentes sistemas de producción, se observa que los costos por concepto de alimentación corresponden al 57% de los costos totales aproximadamente. En importancia le siguen las depreciaciones (18.20%), mano de obra (12.50%) y gastos generales (10.10%). A pesar de que los costos de producción sean mayores en unidades muy tecnificadas y que tengan el mejor precio de venta, la utilidad se ve mejor remunerada en los sistemas poco tecnificados, la desventaja que se tiene es la limitada producción que no supera los mil litros por día comparado con los más de diez mil litros que producen las unidades altamente tecnificadas.

Los elementos que generan costos de producción se clasifican en: a) Materiales y Materias Primas, estos son los principales recursos que se utilizan en la producción. b) Recurso Humano, intervienen en la transformación de los materiales y la materia prima en el producto terminado. c) Activos Fijos Productivos: son activos o bienes duraderos que generan costos por concepto de depreciación y mantenimiento.

d) Servicios Adquiridos a Terceros: servicios que no son generados por la empresa sino por personas o empresas externas (Rios y Gómez, 2008).

La rutina de alimentación es clave para la generación de costos por concepto de alimentación, por esto algunos productores deciden disminuir la frecuencia de alimentación a una vez por día como una alternativa para la reducción de costos en mano de obra y uso de maquinaria (Hart *et al.*, 2014).

Dirección General de Bibliotecas UAQ

III. OBJETIVOS

3.1. General

- ✚ Estimar el efecto de dos diferentes frecuencias de alimentación de una ración totalmente mezclada sobre la producción de leche, consumo de materia seca y costos de producción en ganado bovino lechero estabulado

3.2. Específicos

Estimar el efecto de la frecuencia de alimentación sobre:

- ✚ La producción de leche.
- ✚ Consumo de materia seca.
- ✚ Costos de alimentación.

Estimar el efecto del número de lactancia sobre:

- ✚ La producción de leche.
- ✚ Consumo de materia seca.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

IV. HIPÓTESIS

La reducción de la frecuencia de alimentación de 8 a 5 tiradas afecta significativamente la producción de leche y consumo de materia seca. Existe una reducción de los costos de alimentación.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

V. MATERIALES Y METODOLOGÍA

5.1. Localización del sitio experimental

El presente trabajo se realizó en el establo lechero “El Colorado” ubicado en la localidad de General Lázaro Cárdenas (El Colorado), municipio El Marqués, Estado de Querétaro (Figura 1). El municipio se ubica entre los 20° 31´ y 20° 58´ de latitud Norte. Su longitud se halla entre 100° 09´ y 100° 24´ Oeste. Se encuentra a una altitud de 1850 metros sobre el nivel del mar. Limita al Oeste con el municipio de Querétaro, al Norte con el Estado de Guanajuato, al Este con el municipio de Colón y al Sur con los municipios de Huimilpan y Pedro Escobedo. Su extensión territorial es de 787.4 km², que representa el 6.7% de la superficie total del estado (INAFED, 2016).



Figura 1. Localización del municipio de General Lázaro Cárdenas (El Colorado) al noroeste del estado de Querétaro (INAFED, 2016).

5.2. Clima

El clima predominante es el subtropical de altura, templado-semiseco en el 80% del municipio, y el 20% restante presenta un clima templado-húmedo. La temperatura media anual está comprendida entre los 18 y los 24°C, mientras que para el clima templado-subhúmedo oscila de los 14 a los 16°C. La precipitación pluvial registra de 400 a 500 milímetros cúbicos, siendo los vientos dominantes de Noreste a Sureste (INAFED, 2016).

5.3. Diseño experimental

Se utilizaron en promedio 578 vacas de la raza Holstein en periodo de lactancia bajo un diseño factorial 2 x 8 (2 tratamientos, 8 corrales) con covariables (número de animales, días en leche y número de lactancia), las vacas fueron distribuidas en ocho corrales de acuerdo a los días en lactancia (DEL). Las características de los animales de cada corral se muestran en el Cuadro 4. Se evaluaron dos frecuencias de alimentación (T1 y T2), la RTM fue ofrecida 8 veces al día en el tratamiento T1 y 5 veces al día en el tratamiento T2. El experimento consistió en dos etapas, la primera etapa se realizó del 16 de agosto al 08 de septiembre de 2017 (24 días). La segunda etapa del experimento se evaluó del 11 de septiembre al 06 de octubre de 2017, el arreglo de los tratamientos fue el opuesto a la primera etapa, la observación fue de 26 días. En las dos etapas se registraron por corral: RTM ofrecido (AO_f), consumo de materia seca (CMS), RTM sobrante (SOB) y producción de leche (PL).

Cuadro 4. Características de las unidades experimentales

Corral	Días en leche (DEL)	Promedio de animales	Promedio de partos
1	53	37	1
2	162	68	1
3	67	94	4
4	134	81	4
5	285	93	4
6	404	89	1
7	242	87	1
8	273	97	4

El estudio se considera semi-experimental por realizarse bajo condiciones comerciales, es decir, se adaptó a las condiciones en las que el rancho mantiene a sus animales para poder aplicar los tratamientos. El manejo nutricional en que se tuvieron a las vacas consistió en una dieta balanceada (Cuadro 5) para todas las etapas de producción, durante las etapas experimentales este manejo no se vio afectado ni ajustado, se respetó la cantidad de la RTM ofrecida normalmente para todos los corrales y etapas de producción, las cantidades fueron distribuidas en las frecuencias de alimentación establecidas (5 y 8 servidas).

Cuadro 5. Dieta balanceada única para vacas Holstein en producción sometidas a dos frecuencias de alimentación

INGREDIENTE	% EN DIETA	Costo (\$)
Alfalfa Heno	8.33	14.32
Ensilado Maíz	41.22	20.13
Ensilado Avena	4.50	2.52
Núcleo NTX*	13.29	44.79
Maíz Rolado	16.89	33.38
Agua	15.77	0.00
TOTAL	100	\$ 115.13
Composición química de la RTM		
Materia seca	48.3	
Humedad	51.7	
Proteína Cruda	17.7	
Fibra Detergente Ácido (FDA)	20.5	
Fibra Detergente Neutro (FDN)	30.1	
Extracto Etéreo (E.E.)	5.2	
Cenizas	7.1	

* Semilla de algodón (3.4%), Soya (6.1%), Grano seco de destilería (2.9%), Premix Nutri** (0.6%), Lactomilhp95*** (0.3).

** Suplemento mineral

*** Grasa de sobrepaso

5.4. Frecuencia de alimentación

Se evaluaron dos frecuencias de alimentación (T1 y T2), la RTM fue ofrecida 8 veces al día en el tratamiento T1, 4 servidas en la mañana (5:00 – 11:00) y 4 servidas en la tarde (14:00 – 19:00). En el tratamiento 2 se ofreció 5 veces al día, 3 servidas por la mañana (5:00 – 11:00) y dos por la tarde (14:00 – 18:00). El experimento consistió en dos etapas, en la primera etapa (24 días) el T1 (8 servidas) fue aplicado a los corrales 1, 2, 5 y 6, y el T2 (5 servidas) a los corrales 3, 4, 7 y 8. En la segunda

etapa (26 días) del experimento el T1 se les aplicó a los corrales 3, 4, 7 y 8, y el T2 se les aplicó a los corrales 1, 2, 5 y 6.

5.5. Descripción de Separador de Partículas de Penn State

Uno de los factores más importantes a considerar en la formulación de raciones es la distribución del tamaño de partícula de los alimentos. El Separador de Partículas de Forraje de Penn State provee una herramienta útil para cuantificar el tamaño de las partículas de forraje y de raciones totalmente mezcladas (RTM). El uso del tamaño de partícula del forraje comienza desde el momento de cosechar, cortar el cultivo a un tamaño apropiado produce forrajes que podemos combinar para lograr la longitud de partícula deseada en una RTM (Heinrichs & Kononoff, 2002).

El Separador de Partículas Penn State (SPPS) es un método rápido y rentable para estimar el forraje y tamaño de partícula de la RTM, se construyó como una alternativa para la determinación del tamaño de partícula. El dispositivo compacto y de operación manual está construido de tres tamices con poros de 19.0, 8.0 y 1.18 mm y una caja inferior sólida (Kononoff *et al.*, 2003a) (Figura 2). El tamiz superior consta de orificios circulares de 19 mm de diámetro, en esta caja es retenida la porción más fibrosa y de mayor tamaño de la ración total mezclada. El segundo tamiz consta de orificios circulares de 8 mm de diámetro, en esta es retenida mayormente los granos enteros y porciones de fibra de menor tamaño, además de ensilado. El tercer tamiz consta de orificios de 1.18 mm de diámetro, las partículas mayores a este diámetro tienen un efecto positivo en la estimulación de la rumia y secreción salival que las de menor diámetro (Mertens, 1997). Al fondo de las cajas se encuentra la cuarta criba, esta no tiene orificios, en esta es retenida la porción de la ración que pasa directamente al rumen y tiene menor tiempo de pasaje en esta (Poppi *et al.*, 1985).



Figura 2. Separador de Partículas de Penn State (SPPS).

5.6. Tamaño de partícula de la ración total mezclada (RTM) ofrecida y sobrante

Las muestras de la ración totalmente mezclada (ofrecida y sobrante) fueron tomadas al azar en puntos diferentes de comederos continuos, es decir, una muestra al azar para los corrales 1-2, 3-4, 5-6 y 7-8. Las muestras fueron colectadas a las 04:00 horas tres veces por semana durante los periodos de tiempo que comprendió cada etapa experimental. La RTM sobrante se colectaba antes de que esta fuera recogida del comedero y la RTM ofrecida fue colectada inmediatamente después de servida en el comedero. Para que las muestras fueran homogéneas y representativas se siguió la metodología de muestreo por cuarteo (Tejeda, 1992) seleccionando aproximadamente 2 kg de la ración para obtener una muestra final de aproximadamente 600 g. Las muestras se colocaron en bolsas de plástico bien selladas tratando de eliminar el contenido de aire y se etiquetaron con la fecha, tratamiento, muestra y número de corral. El tamaño de partículas de la RTM se calculó

con el Separador de Partículas de Penn State (PSPS) siguiendo el procedimiento descrito por Heinrichs y Kononoff (2002).

Se colocaron las cuatro cajas separadoras de plástico una encima de la otra en el siguiente orden: La criba superior (poros de 19 mm) arriba, la criba media (poros de 8 mm), luego la criba inferior (poros de 1.18 mm), y la bandeja baja hasta el final. Se pesó 500 g de la muestra obtenida usando una báscula digital "CAMRY" (usada en todos los análisis), la porción pesada fue depositada en la criba superior y sobre una superficie plana y lisa se agitaron las cribas en una dirección cinco veces, después se giraron las cribas un cuarto de vuelta cuidando de no hacer movimientos verticales al agitar. Se repitió el proceso un total de 8 veces o 40 agitaciones, rotando el separador después de cada vuelta de 5 agitaciones (Heinrichs y Kononoff, 2002). Para una descripción más gráfica observar la Figura 3.

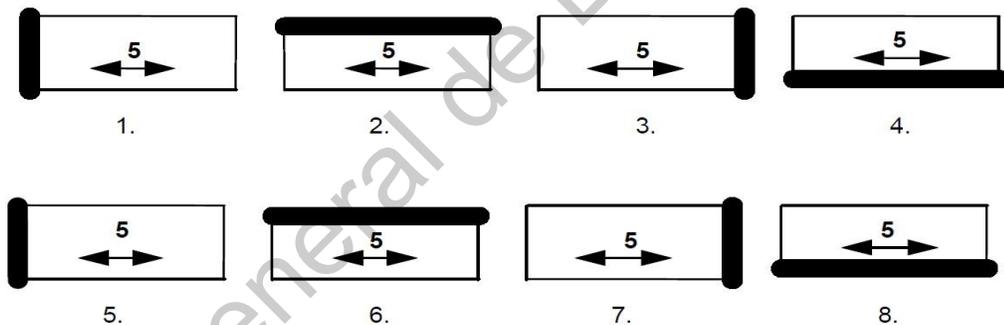


Figura 3. Patrón de agitación para la separación de partículas por tamaño (Heinrichs y Kononoff, 2002).

Después de agitar, se pesó el material retenido en cada criba y en la bandeja de fondo. A continuación, se prosiguió a realizar los cálculos pertinentes para la obtención del porcentaje bajo cada criba usando la metodología observada en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Ejemplo del cálculo del peso total y los porcentajes acumulativos bajo cada criba.

Muestra	Peso Retenido (gr)	Proporción Restante en Cada Criba
Criba superior (19 mm)	10 [a]	$a/e * 100$ 10/200*100= 5%
Criba media (8 mm)	80 [b]	$b/e * 100$ 80/200*100= 40%
Criba inferior (1.67 mm)	80 [c]	$c/e * 100$ 80/200*100= 40%
Bandeja de fondo	30 [d]	$d/e * 100$ 30/200*100= 15%
Suma de Pesos	200 [e]	
Porcentaje Acumulativo de Menor Tamaño ¹		
% Bajo criba superior	$f= 100-(a/e*100)$	100-5=95% menor tamaño
% Bajo criba media	$g= f-(b/e*100)$	95-40=55% menor tamaño
% Bajo criba inferior	$h= g-(c/e*100)$	55-40=15% menor tamaño

¹Porcentaje acumulativo de menor tamaño se refiere a la proporción de partículas menores a un tamaño especificado. Por ejemplo, en promedio, 95% del alimento es menor a 19 mm, 55% del alimento es menor a 8mm y 15% del alimento es menor a 1.67 mm.

Fuente: (Heinrichs & Kononoff, 2002)

5.7. Producción de leche

La producción de leche es monitoreada diariamente con la ayuda de un equipo computarizado especializado en el registro de la producción en establos lecheros. El muestreo de la producción de leche para los tratamientos T1 y T2 se realizó tres veces por semana durante el periodo comprendido en cada etapa, se tomaron los promedios de producción por corral.

5.8. Consumo de materia seca

100 gramos de las muestras de la ración totalmente mezclada (ofrecida y sobrante) colectadas para el cálculo del tamaño de partículas de la RTM fueron utilizadas para calcular el contenido de materia seca de las respectivas muestras. De las muestras se pesaron 100 g usando una báscula digital "CAMRY", los 100 g de la muestra se colocaron en una estufa "HOT Surface" durante 35 minutos. Transcurrido el tiempo de secado se pesó la materia seca y se registró en una hoja de Excel para su análisis. Se usó la siguiente fórmula para obtener el consumo de materia seca (CMS) promedio por animal para cada unidad experimental:

$$CMS = \left(\frac{RTMO}{NoAnim} \right) - \left(\frac{RTMS}{NoAnim} \right)$$

Donde

CMS = Consumo de materia seca promedio

RTMO = Ración total mezclada ofrecida (en MS)

RTMS = Ración total mezclada sobrante (en MS)

NoAnim = Número de animales por corral

5.9. Costos de alimentación

Los costos de producción fueron calculados mediante el uso de cifras facilitadas por el gerente de producción, en el caso de los costos de diésel, se tomó un promedio del costo de los días que comprendieron las dos etapas experimentales. Se computó el tiempo de uso de la maquinaria (retroexcavadora, tractor-trioliet y tractor arrimador) en las actividades como carga de insumos para la mezcla de la RTM, mezcla de insumos, recorrido para el servicio de la RTM y arrimadas de la RTM. Los tiempos obtenidos para cada maquinaria y cada actividad se utilizaron para calcular el gasto de combustible, tiempo destinado y costo para cada tratamiento.

5.10. Análisis estadístico

Los datos de producción de leche y consumo de materia seca fueron analizados con un diseño Factorial 2 x 8 con covariables empleando el procedimiento PROC GLM del programa estadístico SAS 9.4. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey. El diseño experimental incluye covariables (número de animales, días en leche y número de lactancia) debido a que se trata de un diseño semi-experimental, en este caso se presentaron factores que no se pudieron controlar por tratarse de una explotación comercial y se adaptó a las condiciones en las que se tenían a los animales para poder aplicar los tratamientos. El modelo estadístico utilizado para producción de leche fue:

$$Y_{ijklmn} = \mu + T_i + A_j + D_k + L_l + M_m + L_l \times T_i + \varepsilon_{ijklmn}$$

Donde Y_{ijklmn} es la variable respuesta que para este modelo corresponde a la producción de leche, μ es la media, T es el efecto del tratamiento, A es el efecto del número de animales, D es el efecto de días en leche, L es el efecto del número de lactancias, M es el efecto del número de muestra, LxT es el efecto de la interacción de número de lactancias por tratamiento y ε es el efecto del error.

El modelo estadístico utilizado para consumo de materia seca fue:

$$Y_{ijklmn} = \mu + T_i + A_j + D_k + L_l + M_m + \varepsilon_{ijklmn}$$

Donde Y_{ijklmn} es la variable respuesta que para este modelo corresponde a la producción de leche, μ es la media, T es el efecto del tratamiento, A es el efecto del número de animales, D es el efecto de días en leche, L es el efecto del número de lactancias, M es el efecto del número de muestra y ε es el efecto del error.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Parámetros productivos

Los parámetros productivos evaluados fueron producción de leche (PL) y consumo diario de materia seca (CMS). La producción de leche registrada no es homogénea entre los corrales, ya que presentan diferentes días en leche, número de lactancia, número de animales y por ende diferente consumo diario de alimento.

A medida que avanzan los días en leche (DEL) la producción de leche adopta un patrón denominado curva de lactancia y lo observamos en la Figura 4. Las vacas con un promedio de 45 días en leche presentan una producción promedio de 32.5 litros de leche, este valor crece a medida que aumentan los días en leche como se aprecia en la producción de vacas con 66 días en leche que promedian 39.9 litros de leche.

El aumento de los días en leche (>60 d) afectó la producción de leche, como se puede apreciar, las vacas con 133 y 346 DEL presentaron una reducción porcentual de la producción en 10.4 y 32.4% respectivamente. Los días en leche (DEL) no es la única determinante de la producción de leche, en este complejo proceso de producción se involucran factores ambientales, propias del animal, manejo, nutricionales, instalaciones y técnicos.

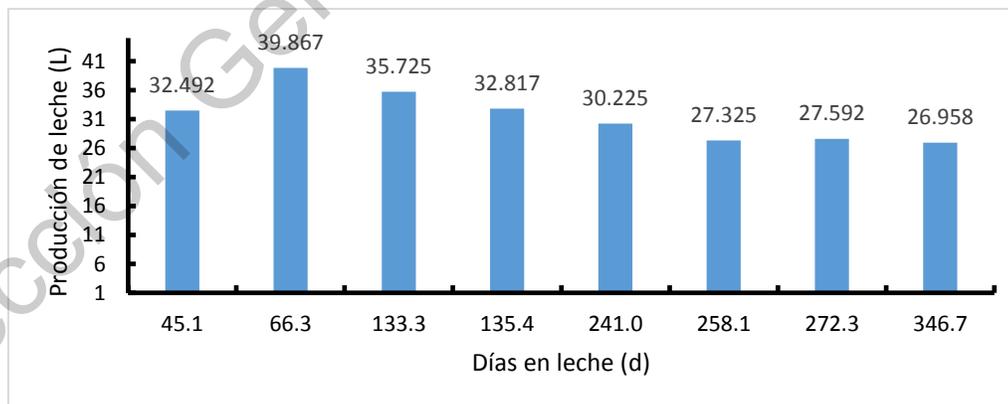


Figura 4. Efecto de los días en leche en el comportamiento productivo de vacas lecheras Holstein alimentadas 8 veces por día.

El pico de lactancia se presenta generalmente entre la quinta a séptima semana postparto (Galvis, Múnera, y Marín, 2005). Posterior al pico de producción de leche se observa un descenso en el rendimiento productivo de las vacas (Meléndez y Bartolomé, 2017). Durante el postparto temprano se presenta en las vacas un estado natural de balance energético negativo que está estrechamente relacionado con el nivel productivo de las vacas y el consumo diario de materia seca y su valor nutricional (Galvis, Múnera, y Marín, 2005).

En la Figura 5 observamos como las vacas con más de 2 lactancias presentan mayor producción de leche (>32.8 L) que las de 1 lactancia (32.492 L). Si bien el número de lactancia es un factor clave para determinar la producción de leche, los días en leche también influyen por la tendencia que sigue la curva de producción.

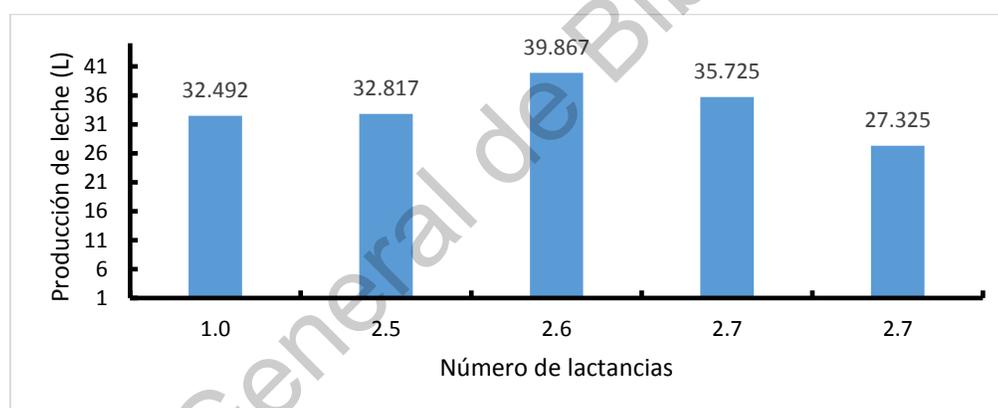


Figura 5. Efecto del número de lactancia en el comportamiento productivo de vacas lecheras Holstein alimentadas 8 veces por día

El número de lactancia es un factor altamente relacionado con los días al pico de lactancia, así lo demostraron García *et al.* (2007) en su estudio, donde las vacas de primer parto alcanzaron el pico de producción en mayor tiempo (78.1 días) que las de tercero (58.3) y cuarto o más lactancias (55.1). Sus resultados se debieron a que las vacas de primer lactancia tienen curvas de lactancia más persistentes y con menor producción de leche que las multíparas, lo que provoca que la máxima producción de leche se presente en un mayor tiempo después del parto. Por esta razón se observa

que las vacas multíparas presentan mayor variación en su producción a pesar de presentar número de lactancias similares.

García *et al.* (2007) observaron que el número de lactancias afectó significativamente a la producción de leche. Las vacas de primer parto presentaron menor producción de leche (5773.5 kg) que las de segundo (6455.9 kg), tercero (6927.7 kg), y cuarto o más partos (6755.4 kg) debido a que no habían alcanzado totalmente su madurez fisiológica. Por su parte Cerón *et al.* (2003) observaron que el mayor rendimiento en producción de leche se alcanza en animales con 3 o más partos.

En la Figura 6 se aprecia como la producción de leche tiene un comportamiento variable en respuesta al consumo diario de materia seca, se observan dos picos de producción cuando las vacas tienen un CMS de 20.5 y 23.1 kg de MS con producciones de 39.87 y 35.73 litros por día.

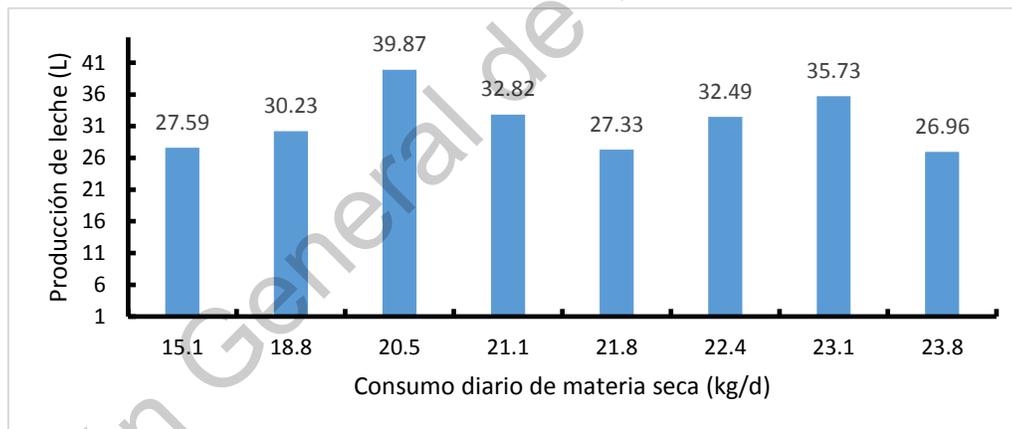


Figura 6. Efecto del consumo diario de materia seca en el comportamiento productivo de vacas lecheras Holstein alimentadas 8 veces por día

El balance energético negativo se presenta cuando los requerimientos nutricionales exceden los nutrientes aportados por la dieta y el animal hace uso de sus reservas corporales para darle prioridad a la producción. Es más marcado en animales de alto rendimiento productivo, ya que estos animales tienden a reducir su consumo de materia seca por disminución del apetito al inicio de la lactancia, esto ocurre

principalmente en las primeras dos semanas postparto (Galvis, Múnera, y Marín, 2005).

Los días en leche marcan el paso de la producción láctea, y también explica en cierta parte el consumo de materia seca, en la Figura 7 tenemos que, a medida que aumentan los días en leche el consumo de materia seca presenta un comportamiento poco homogéneo, el mayor (23.8 kgMS) y el menor (15.12kgMS) consumo se presentaron a los 346.8 y 272.3 DEL.

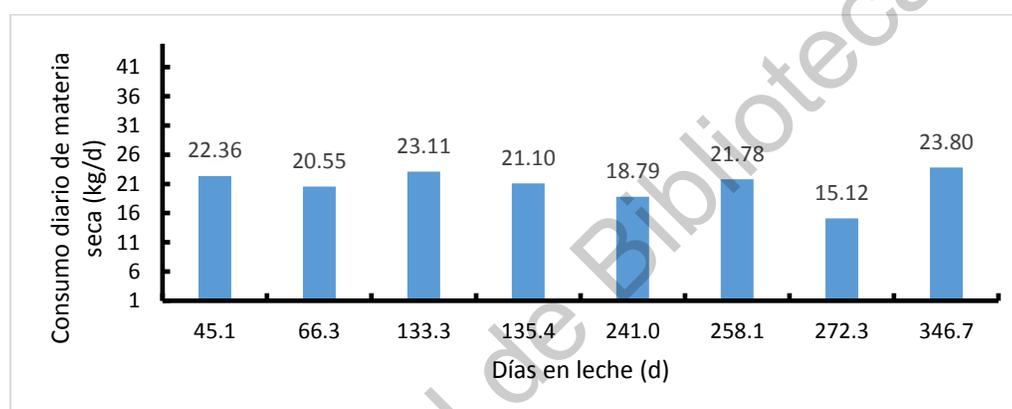


Figura 7. Efecto de los días en leche en el consumo diario de materia seca de vacas lecheras Holstein alimentadas 8 veces por día

Después del pico de lactancia, la producción de leche comienza a disminuir paulatinamente, y las vacas son capaces de aumentar su consumo diario de materia seca. Así, la vaca comienza un periodo de recuperación de la condición corporal que perdió durante el postparto (Meléndez y Bartolomé, 2017). El máximo consumo de materia seca es alcanzado entre la semana 8 y 22 después del parto. Por otro lado, la disminución del consumo coincide con los cambios en el estado reproductivo, la grasa acumulada en el cuerpo, y cambios metabólicos para el soporte de la lactancia (Galvis, Múnera, y Marín, 2005).

Con respecto al CMS, como se puede observar en la Figura 8, el consumo tiende a aumentar a medida que aumenta el número de lactancia, en las vacas con 2.7

lactancias se observa un comportamiento irregular, esto puede deberse a factores como el número de animales por corral, etapa de gestación, tamaño de partícula de la ración, entre otros.

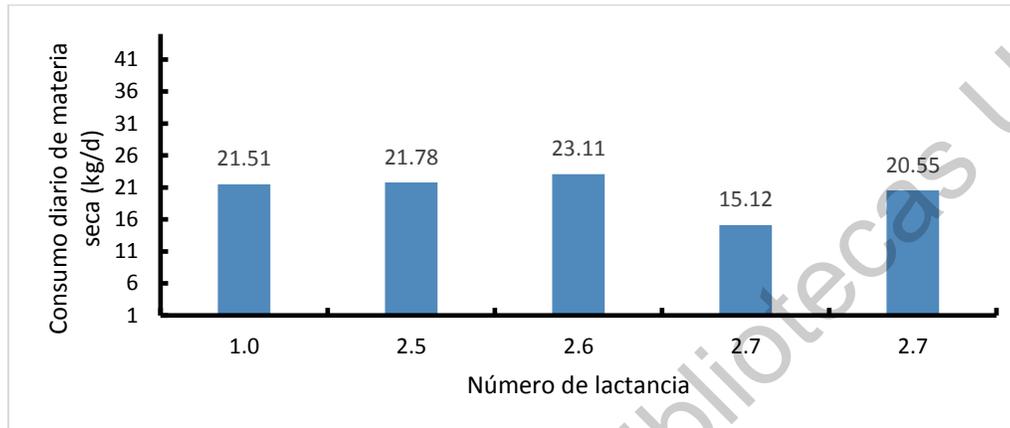


Figura 8. Efecto del número de lactancia en el consumo diario de materia seca de vacas lecheras Holstein alimentadas 8 veces por día

Las vacas muestran una actitud agresiva durante el proceso de alimentación cuando el espacio en el pesebre es reducido y el número de animales excede la capacidad del corral (DeVries, 2005; DeVries y Von Keyserlingk, 2006). Como menciona DeVries, (2005) una mala distribución del número de animales por corral afecta directamente a los parámetros productivos más importantes como la producción y el CMS.

El efecto de los días en leche sobre el rendimiento productivo de vacas Holstein alimentadas 5 veces por día se muestra en la Figura 9, en esta podemos apreciar la curva de lactancia con vacas produciendo 39.375 litros de leche por día a los 49.4 DEL hasta las vacas con 26 litros de leche de 402.4 DEL. En este caso se observa que el pico de producción se presenta a los 49.4 días y a partir de ese punto la producción comienza a decaer paulatinamente como lo menciona Meléndez y Bartolomé, (2017).

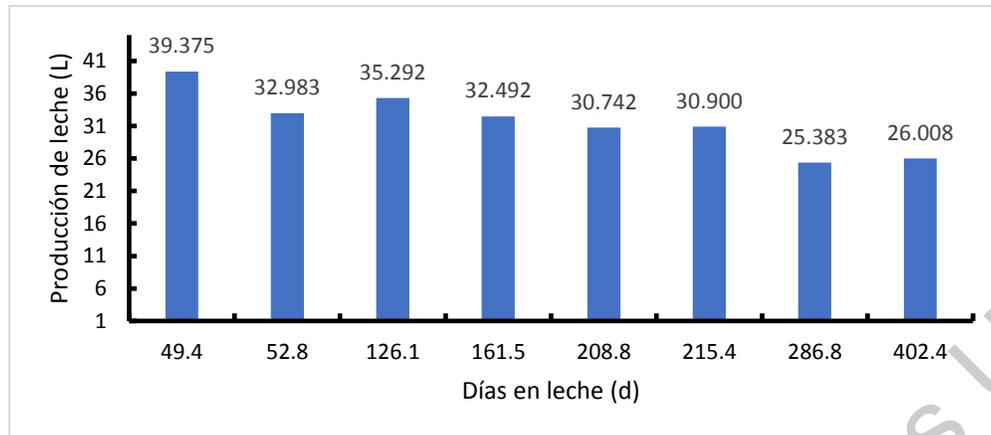


Figura 9. Efecto de los días en leche en el comportamiento productivo de vacas lecheras Holstein alimentadas 5 veces por día

El pico de lactancia observado coincide con lo que mencionan Galvis, Múnera, y Marín, (2005), ellos observaron que las vacas alcanzan el pico de producción en la séptima semana, la producción se puede mantener unos días, pero la tendencia es a disminuir paulatinamente.

Respecto al efecto del número de lactancia sobre la producción de leche, se muestra en la Figura 10 una tendencia al incremento de la producción (35.058 L) en vacas con 2.8 lactancias, por el contrario las vacas primerizas debido a que se encuentran aún en crecimiento sólo acumulan una producción de 30.59 L, a medida que van creciendo también van desarrollando sus glándulas mamarias y la capacidad digestiva que les permitirá procesar cantidades mayores de nutrientes, de forma que al alcanzar su máximo desarrollo también alcanzarán su potencial productivo.

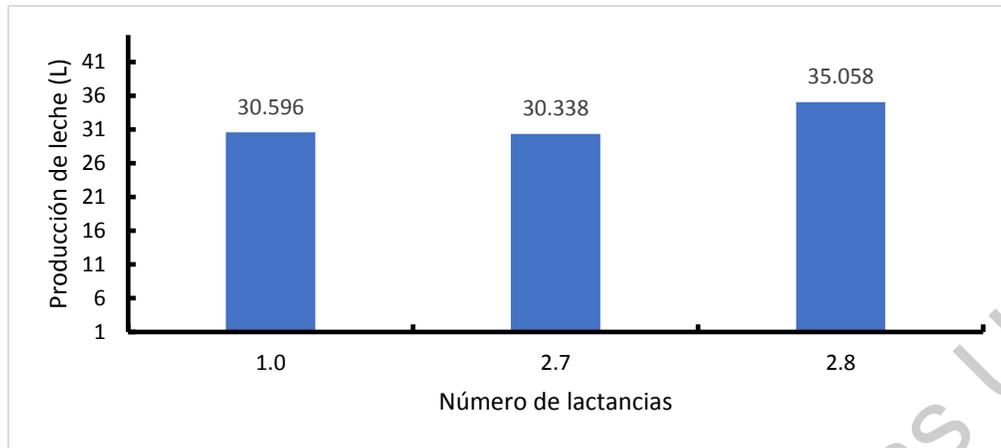


Figura 10. Efecto del número de lactancia en el comportamiento productivo de vacas lecheras Holstein alimentadas 5 veces por día

El efecto del consumo diario de materia seca en la producción de leche se plasma en la Figura 11, aquí podemos destacar la producción de 39.375 litros por día de vacas que consumieron 22.3 kg de materia seca. Las vacas con menos CMS (16.3) presentaron 30.742 L sólo por encima de las vacas con consumos de 21.7 y 20.1 kg de MS quienes reflejaron una producción de 25.383 y 26.008 L por día respectivamente.

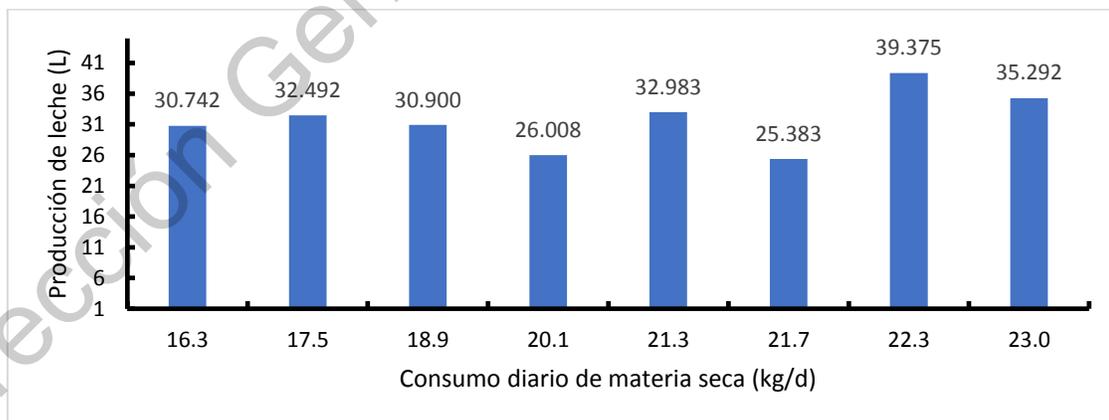


Figura 11. Efecto del consumo diario de materia seca en el comportamiento productivo de vacas lecheras Holstein alimentadas 5 veces por día

La relación entre los días en leche y el consumo diario de materia seca se muestra en la Figura 12, en esta podemos visualizar la variación existente, en el pico de producción las vacas registraron un consumo de 22.29 kg de MS, por el contrario, las vacas con más DEL presentaron una producción de 20.09 litros por día.

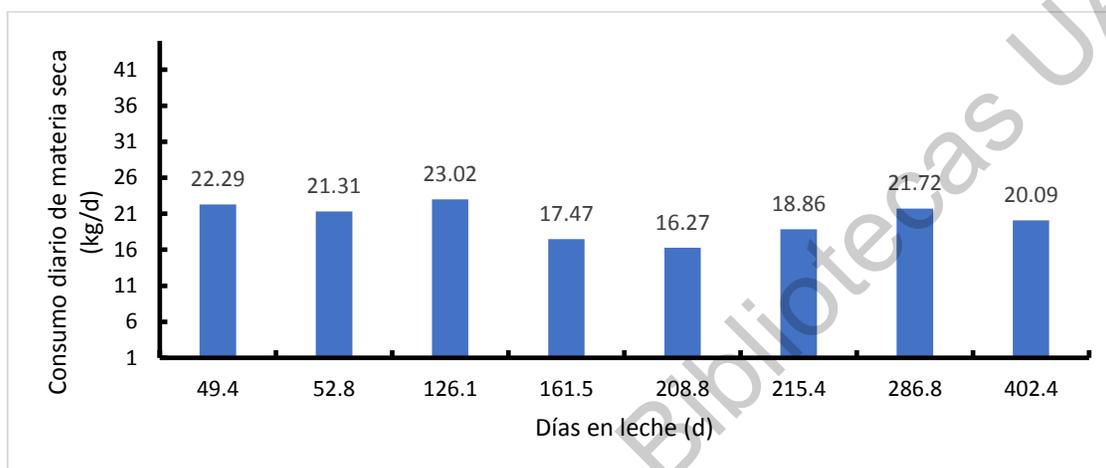


Figura 12. Efecto de los días en leche en el consumo diario de materia seca en vacas Holstein alimentadas 5 veces por día.

Por último, en la Figura 13 se presenta el efecto del número de lactancias en el consumo diario de materia seca, se observa que las vacas de primerizas junto con las de 2.8 partos presentaron los consumos más bajos con 19.28 y 19.43 kg de MS. Las vacas con 2.7 lactancias registraron un CMS de 22.37 kg.

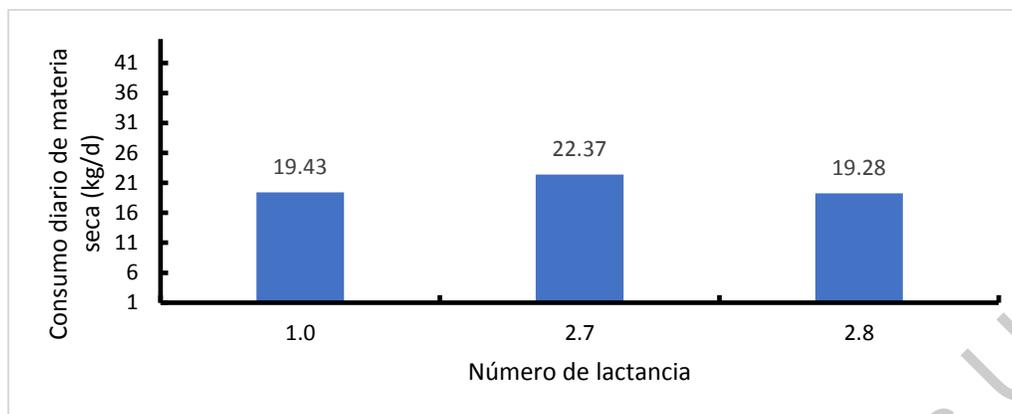


Figura 13. Efecto del número de lactancia en el consumo diario de materia seca en vacas Holstein alimentadas 5 veces por día.

La producción de leche es un parámetro productivo que depende de varios factores, entre los que destacamos los días en leche, el número de lactancia, el consumo de materia seca, así como el aporte de nutrientes de esta última y su disponibilidad para el animal. Los días en leche de una vaca marcan la curva de lactancia, esta curva alcanza su punto más alto a la séptima semana (Galvis, Múnera, y Marín, 2005), durante este pico la vaca presenta un estado denominado balance energético negativo, es decir, la producción de leche que realiza demanda una gran cantidad de energía y al no poder cubrir esta demanda con la dieta ofrecida, su organismo comienza a usar reservas corporales para dar prioridad a la producción, de esta manera su consumo se ve comprometido y disminuye. El consumo de materia seca está relacionado con la producción principalmente por la cantidad de nutrientes que aporta y que tan accesibles son para la vaca. Por último el número de lactancia, como lo mencionan Cerón *et al.* (2003) y García *et al.* (2007) el mayor rendimiento en producción de leche se alcanza en animales con 3 o más partos. Las vacas primerizas tardan más tiempo en alcanzar el pico de producción que las multíparas, esto se debe a que aún no tienen completamente desarrollado la glándula mamaria y su sistema digestivo no es tan rápido para descomponer la dieta en nutrientes que empleará para la producción de leche.

6.2. Tamaño de partícula de la ración total mezclada

Los valores calculados para tamaño de partícula de la ración total mezclada del T1 se muestran en la Figura 14. Los rangos recomendados por Heinrichs y Kononoff (2002) para RTMs para las cribas media, inferior y bandeja baja son 30 – 50, 30 – 50 y ≤ 20 %. Podemos observar como las partículas depositadas en las cribas en el mismo orden se mantuvieron dentro de los rangos con 40.5, 39.4 y 9.7% respectivamente. Las cifras estimadas para la partícula contenida en la criba superior mostraron poca uniformidad, los rangos óptimos se encuentran entre 2 a 8% del total de la ración, por lo contrario, en nuestros resultados los valores oscilaron entre 6 y 13 % del total, dando un promedio del 9.2%.

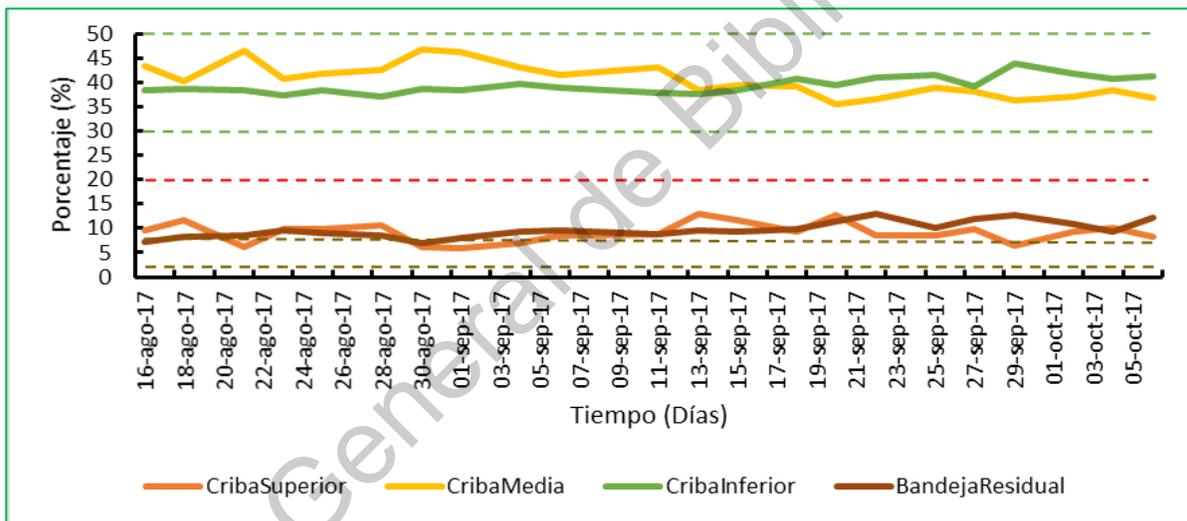


Figura 14. Tamaño de partícula de la RTM muestreada en los corrales del T1

En la Figura 15 se presenta la tendencia en porcentaje (%) del tamaño de partícula de la RTM muestreada en los corrales del T2. Observamos al igual que en el T1 la uniformidad de las cribas media, inferior y bandeja residual con 40.4, 38.9 y 9.7% respectivamente.

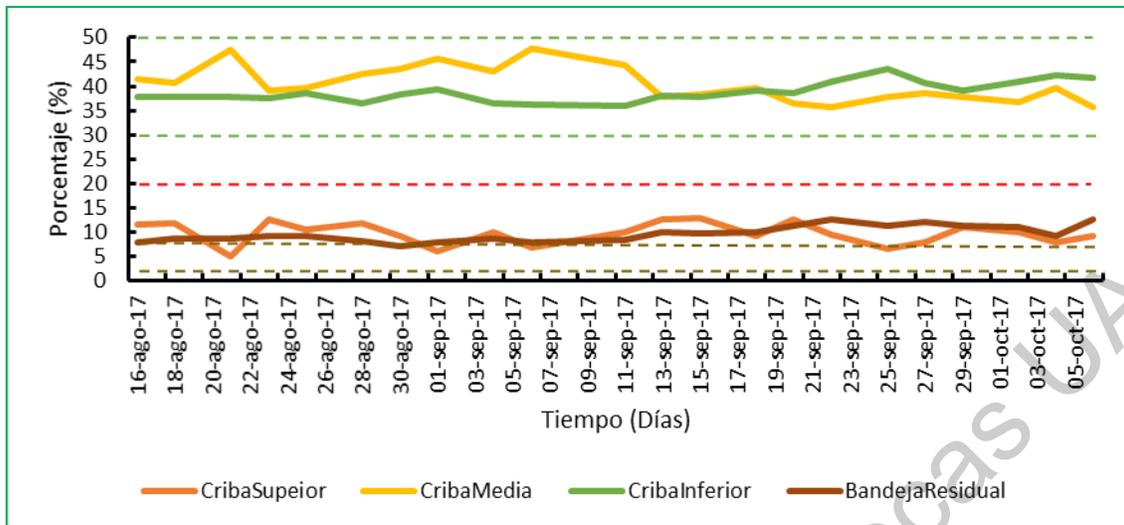


Figura 15. Tamaño de partícula de la RTM muestreada en los corrales del T2

La misma variación de la criba superior, la cual contiene las partículas de forraje de mayor tamaño (>19 mm), se observa en el T2, en este caso el rango en el que osciló el tamaño de partícula fue de 5 a 12% del total, dando un promedio de 9.8%.

Las variaciones observadas en las figuras 14 y 15 reflejan claramente los problemas y deficiencias en el control y manejo de los insumos de la RTM. Los problemas presentados fueron principalmente de la maquinaria empleada para el procesamiento de los forrajes y el mezclado. Un mal manejo del tamaño de partícula de la RTM se verá reflejada directamente en el rendimiento productivo y en la salud de las vacas.

Pliego (2009) determinó el tamaño de partícula de la RTM de 10 establos lecheros, hallando resultados similares a los del presente estudio, 3 de los establos presentaron mayor porcentaje de partículas a la recomendada en la criba superior (11.2, 19.6 y 9.5%), en la que se recomienda del 2 al 8% del total. En 3 ranchos el tamaño de partícula de la criba media fue inferior a la recomendada (24.1, 25.7 y 26.1) y sólo en 2 establos se pasó el límite recomendado para la criba inferior (55.8 y 53.8).

El rango en que oscilaron los porcentajes de la criba superior fue similar en ambos tratamientos por lo que el consumo de materia seca fue similar. Como lo mencionan Heinrichs y Kononoff (2002) mantener una RTM homogénea favorecerá el CMS de

todos los componentes de la dieta. También una alteración del tamaño de partículas puede comprometer el estado fisiológico de la vaca, así como favorecer la selección de ciertos componentes de la RTM ampliando radicalmente la diferencia entre la dieta formulada y la consumida por la vaca como lo mencionan García y Kalscheur, 2006 y Goya, 2015.

Con el afán de explicar la variación del tamaño de partícula de la RTM y su posible efecto en la producción de leche, se presenta en la Figura 16 el comportamiento del tamaño de partícula del sobrante de la RTM en los corrales del tratamiento 1 y en la Figura 17 lo correspondiente al tratamiento 2. Podemos observar que las partículas depositadas en la criba media (8mm) son las que más rechazan las vacas, aquí se encuentra principalmente ensilado de maíz, forrajes secos y un poco de maíz rolado. En segundo lugar, tenemos a la criba superior (>19mm), aquí podemos encontrar principalmente forrajes secos y muy poco ensilado de maíz.

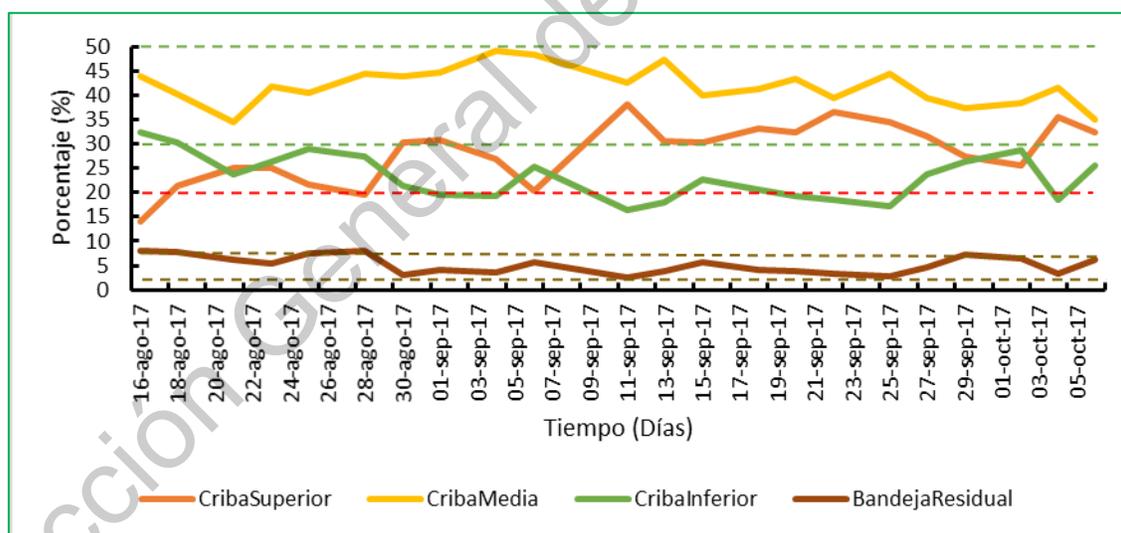


Figura 16. Tamaño de partícula de la RTM Sobrante muestreada en los corrales del T1

Los resultados mostrados en estas dos ultimas figuras le dan la razón a García y Kalscheur (2006) quienes mencionan que hay ocasiones en que el manejo de la alimentación impide que aún vacas a las que se les ofrece una dieta formulada

apropiadamente produzcan leche de acuerdo a su potencial. Las raciones pueden parecer muy bien formuladas en el papel, pero existen tres raciones: una formulada en el papel, otra que se le da a las vacas, y una tercera que es la que en realidad comen las vacas. La formulación de una ración será tan adecuada como preciso sea el análisis de los nutrientes contenidos en los alimentos que la componen.

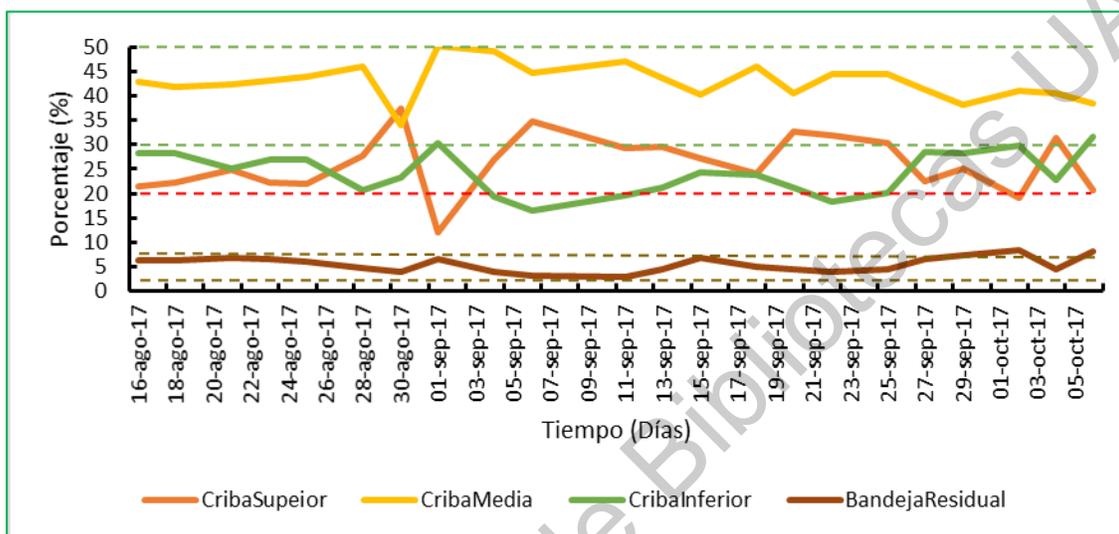


Figura 17. Tamaño de partícula de la RTM Sobrante muestreada en los corrales del T2

Como pudimos apreciar, el rechazo de alimento se agudiza principalmente en los forrajes debido al mal procesamiento previo a la entrega en los comederos. Las consecuencias del bajo consumo de forraje ocasionan problemas tales como los problemas metabólicos, debido a la escasa producción de saliva, y también se ve afectada la concentración de grasa en la leche. Todo esto genera un incremento en los costos totales de producción.

El problema de la selección de ciertas partículas de la RTM (principalmente forrajes) es similar en ambos tratamientos, esto se debió a que el procesamiento y la ración fue la misma.

El resultado de un mal manejo del tamaño de partículas de la RTM o disminución de la fibra efectiva inicia con cambios en el consumo de materia seca. Una caída brusca de esta puede ser indicador de que algunas vacas no están comiendo debido al

desarrollo de acidosis subclínica (García y Kalscheur, 2006). Suministrar adecuada fibra efectiva es crítico para mantener una función ruminal normal y la salud general del animal. Como resultado la producción de leche puede ser maximizada y el porcentaje de grasa de la leche no se va a deprimir. Si se reduce el tamaño de la partícula de la ración, la FDN del forraje de la ración debería aumentarse.

6.3. Producción de leche

En el Cuadro 7 se presentan las medias de la producción de leche de cada tratamiento evaluado con diferente número de lactancia. Podemos apreciar como las vacas de 1.2 lactancias presentaron mayor producción promedio, pero sin existir diferencia estadísticamente significativa ($p > 0.05$) con el resto de los corrales. Las vacas con 1.2 y 2.5 lactancias resultaron ser estadísticamente diferentes ($p < 0.05$) al producir 31.178 ± 0.283 y 30.368 ± 0.814 litros respectivamente.

Cuadro 7. Producción de leche promedio de vacas Holstein con diferente número de lactancia

Lactancias	Producción de leche (Litros)	
1	31.178 ± 0.283	AB
1.1	33.000 ± 0.856	AB
1.2	33.871 ± 0.804	A
2.5	30.368 ± 0.814	B
2.6	31.155 ± 0.618	AB
2.7	31.628 ± 0.356	AB
2.8	32.690 ± 0.492	AB
2.9	30.999 ± 0.995	AB

Medias con la diferente literal mayúscula entre hileras son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

Resultados diferentes fueron obtenidos por García *et al.* (2007) y Cerón *et al.* (2003) en sus estudios observaron que el número de lactancias afectó significativamente a la producción de leche y afirman que el mayor rendimiento en producción de leche se alcanza en animales con 3 o más partos.

La producción de leche obtenida en cada tratamiento con diferente frecuencia de alimentación se presenta en la Cuadro 8, donde se puede apreciar que ambos tratamientos resultaron ser estadísticamente diferentes ($p < 0.05$). El mejor rendimiento productivo se presentó en el tratamiento 1 con una frecuencia de alimentación 8 veces por día, la diferencia en litros de leche es de 0.776, lo que representa un aumento del 2.4% en producción al aumentar la frecuencia de alimentación.

Cuadro 8. Producción de leche para tratamientos con dos diferentes frecuencias de alimentación

Tratamiento	Producción de leche (Litros)
1	32.249 ^a ± 0.306
2	31.473 ^b ± 0.295

Medias con la diferente literal mayúscula entre hileras son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

Los resultados del análisis estadístico para producción de leche concuerdan con lo descrito por Gibson (1984) y Hart *et al.* (2014) que resaltan la importancia de la frecuencia de alimentación como estrategia para mejorar los parámetros productivos más importantes para los productores. Este último observó resultados similares en su recopilación de estudios, en donde el aumento de la producción se mejoraba en 20.7%, refiriendo a la frecuencia de alimentación como estrategia para mejorar la producción.

Por otro lado, autores como Stanley y Morita (1967); Klusmeyer *et al.*, 1990; Mäntysaari *et al.*, (2006); Carbajal y Pérez (2007) y Hart *et al.* (2014) en investigaciones similares no observaron aumento significativo incrementar la frecuencia de alimentación de ganado lechero. Estos últimos concluyen la posibilidad que las vacas almacenaran los nutrientes y no fueran destinados como tal a la producción de leche. En este caso no se evaluó la condición corporal por lo que no podría descartarse este escenario.

El número de muestra no fue un factor determinante de la producción de leche al no haber diferencia significativa ($p > 0.05$) como se muestra en la Cuadro 9. Numéricamente en la muestra 2 se obtuvo un valor ligeramente superior a las dos

muestras restantes, pero tomando en cuenta la desviación estándar no se perciben diferencias.

Cuadro 9. Efecto del número de muestra sobre producción de leche de bovinos Holstein alimentados con diferente frecuencia de alimentación

Muestra	Producción de leche (Litros)
1	32.051 ± 0.330
2	32.082 ± 0.333
3	31.450 ± 0.329

El número de muestras que se refiere a la cantidad de días que se muestreo la producción de leche, esta no significó una alteración para el resultado final, es decir, el numero de días que se muestreo no fue un factor que determinó diferencias en la producción de leche.

6.4. Consumo de materia seca

Los consumos promedio de materia seca de bovinos Holstein con diferente número de lactancia evaluados en este estudio se muestran en la Cuadro 10, observamos que los animales con 1.2 lactancias presentaron mayor consumo de materia seca que el resto (22.263 ± 1.509 Kg de MS), por el contrario, las de 2.9 lactancias registraron el menor CMS con 18.141 ± 1.869 Kg de MS. El número de lactancia no fue un factor que determinó el CMS en los animales evaluados por lo que no son estadísticamente diferentes ($p > 0.05$).

Cuadro 10. Valores de consumo de materia seca de bovinos Holstein con diferente número de lactancia

Lactancias	CMS Promedio (Kg MS)
1	19.304 ± 0.531
1.1	21.335 ± 1.607
1.2	22.263 ± 1.509
2.5	20.701 ± 1.528
2.6	21.927 ± 1.160
2.7	21.408 ± 0.668
2.8	21.172 ± 0.925
2.9	18.141 ± 1.869

García *et al.* (2007) menciona que las vacas de primera lactancia tienden a consumir menos materia seca que las vacas multíparas, esto se debe a que estas primeras aún se encuentran en crecimiento y la capacidad digestiva es aún menos desarrollada que la de las vacas multíparas. Aunque estos datos no coinciden con lo que obtuvimos, en este caso el número de lactancia no fue un factor determinante para el consumo de materia seca, las razones se pueden atribuir a las características de las unidades experimentales, estas contaban con diferente número de lactancia y días en leche.

En la Cuadro 11 se presentan las respuestas de consumo de materia seca de los bovinos expuestos a dos diferentes frecuencias de alimentación, el tratamiento 1 se refiere a las vacas alimentadas con una frecuencia de 8 veces por día, estos registraron un consumo de 20.886 ± 0.574 Kg de MS, para el tratamiento 2, las vacas fueron alimentadas con una frecuencia de 5 veces por día y su consumo fue de 20.677 ± 0.555 Kg de MS, estadísticamente no son diferentes ($p < 0.05$), por lo que podemos afirmar que la frecuencia de alimentación en este estudio no generó variaciones en el CMS en vacas con diferente tratamiento.

Cuadro 11. Respuesta en consumo de materia seca de bovinos Holstein expuestos a dos diferentes frecuencias de alimentación

Tratamiento	CMS Promedio (Kg MS)
1	20.886 ± 0.574
2	20.677 ± 0.555

En el presente estudio se observaron resultados diferentes a los mencionados por Campbell y Merilan (1961); Stanley y Morita (1967); DeVries (2005); (DeVries *et al.*, 2005) y Hart *et al.*, (2014) quienes afirman que el aumento de la frecuencia de alimentación favorece el CMS de una RTM homogénea, en este caso el CMS no se vio afectado con frecuencias de alimentación de 5 y 8 veces por día. Posiblemente la diferencia radique en la variación del tamaño de partícula de la RTM mostrada durante

el estudio, como lo mencionan Heinrichs y Kononoff (2002) el tamaño de partícula de la RTM es importante para un consumo homogéneo de los componentes de la dieta. Por el contrario, Mäntysaari *et al.*, (2006) menciona que aumentar de 1 a 5 la frecuencia de alimentación se afecta negativamente el CMS y esto lo atribuyeron al aumento en actividad de las vacas provocando mayor agitación y esfuerzo físico. En este estudio no se percibieron estos problemas al no encontrar diferencias en el CMS, además de que no se midió la condición corporal de las vacas. Por otro lado, Galvis, Múnera, y Marín (2005) mencionan que la cantidad de leche producida por una vaca es afectada por el nivel de reservas corporales, y que también es influenciada por la forma como se distribuye la energía del alimento para producción de leche o ganancia de peso.

El consumo de materia seca promedio que se obtuvo en cada muestreo se presenta en la Cuadro 12 donde podemos precisar que el número de muestra no alteró los promedios de CMS en los animales evaluados y que son similares al no existir diferencia estadísticamente significativa ($p>0.05$).

Cuadro 12. Efecto del número de muestra sobre consumo de materia seca en bovinos Holstein alimentados con diferente frecuencia de alimentación

Muestra	CMS Promedio (Kg MS)
1	21.492 ± 0.619
2	20.366 ± 0.626
3	20.486 ± 0.618

Las muestras colectadas para la obtención del CMS no fueron diferentes entre sí, por lo que estas no fueron un factor que pudiera afectar el resultado final. Los muestreos del CMS se realizaron tres veces por semana, cada una de las muestras no presentaron diferencias significativas ($p>0.05$).

6.5. Costos de alimentación

Como resultado de un análisis de costos de operación para los dos tratamientos, observamos que el T1, por tratarse de una rutina de alimentación extendida a ocho servicios por día, acumuló mayor tiempo de uso de maquinaria con respecto al T2

(8.67 vs 5.92 horas) como se observa en la Cuadro 13. En términos económicos, con el T2 la rutina de alimentación genera un ahorro de \$337.27 MXN por día. A medida que los sistemas de producción están mayormente tecnificados, los costos de operación son mayores a comparación de los sistemas con poca incorporación de tecnología (Secretaría de Economía, 2017).

Cuadro 13. Tiempo y costos de operación de la rutina de alimentación al evaluar dos diferentes frecuencias de alimentación

	Tratamiento 1			Tratamiento 2		
	(h/día)	(\$/h)	(\$/día)	(h/día)	(\$/h)	(\$/día)
Tractor	4.67	129.78	605.63	2.92	129.78	378.52
Arrimador	1.33	16.87	22.49	1.33	16.87	22.49
Retro-1	2.67	78.73	209.95	1.67	78.73	131.22
MTTO	8.67	11.43	99.05	5.92	11.43	67.62
Operador1	8	44.63	357	8	44.63	357
Operador2	8	44.63	357	8	44.63	357
TOTAL			1651.12			1313.85

Una de las inquietudes que nos llevó a realizar el estudio de operación de la alimentación fue determinar a grandes rasgos el aporte de cada uno de los tratamientos a la sustentabilidad del sistema de producción en general. Lo que podemos destacar del tratamiento 2 es la eficiencia con que se utiliza la maquinaria y los combustibles, esto además de generar beneficios económicos, también contribuye en menor escala a la conservación de los recursos naturales al reducir su uso y contaminación.

Los costos de alimentación representan entre un 60 a 75% de los costos totales de producción (Shimada, 2007). La correlación observada entre frecuencia de alimentación y costos de operación de la alimentación nos muestra una reducción de costos (Figura 18) al reducir la frecuencia de alimentación de 8 a 5 servicios por día, el T2 presentó un ahorro por \$1.90 vaca/día con respecto al T1.

Los ingresos por venta de leche fueron superiores para el tratamiento 1 (\$209.62) en comparación al tratamiento 2 que obtuvo \$204.57 por vaca por día. A simple vista la diferencia puede no llamar la atención, pero debemos considerar el tamaño de las unidades de producción para lograr visualizar el impacto económico real de cada uno de los ajustes realizados. Al multiplicar el número de vacas ocupadas en el estudio (578) por la diferencia económica de los dos tratamientos en producción de leche, obtenemos un valor de \$1,064,132.7 anuales. Por otro lado, la relación beneficio-costo (Rb/c) nos indica que en el T1 por cada peso que se invierta en estos conceptos se obtendrá una remuneración de \$0.84, esto es superior a lo que se obtendría con le T2 que asciende a \$0.83 por cada peso invertido. El costo de una vaca por día está formado por el costo total de operación más el costo total de alimentación, el costo total de operación para el T1 es de \$3.00 y para el T2 de \$2.17 por vaca por día, en el mismo orden los costos de alimentación para cada tratamiento fueron de \$110.72 y \$109.66 por vaca por día.

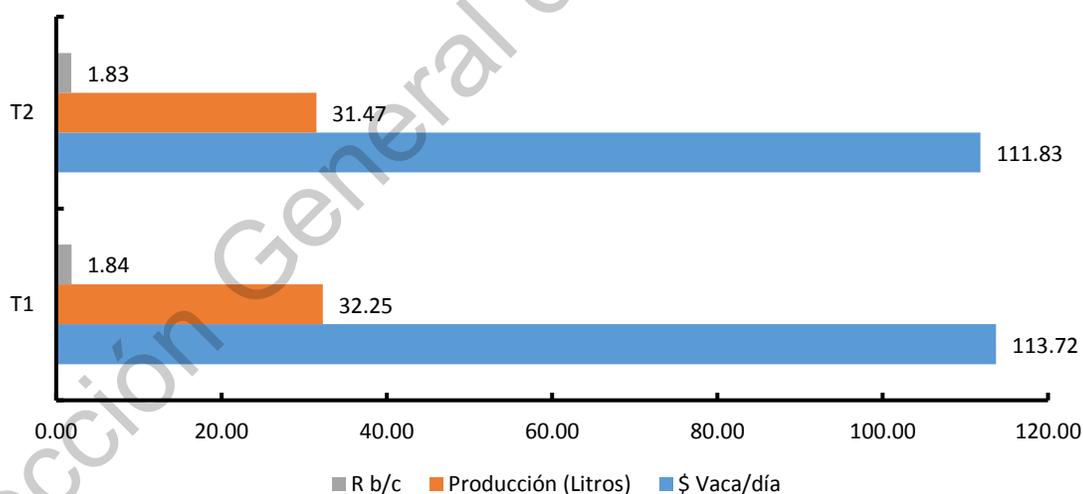


Figura 18. Costos de alimentación obtenidos al evaluar dos diferentes frecuencias de alimentación

La reducción de la frecuencia de alimentación provocó una disminución de los costos de producción, estos resultados coinciden con lo reportado por Carbajal y Pérez (2007)

dónde evaluaron 4 diferentes frecuencias de alimentación y observaron esta diferencia con la frecuencia más baja que fue 1 vez por día. Como lo menciona Shimada (2007) todo ahorro que se genere en la alimentación se verá reflejada en los costos totales, en este caso se observó el ahorro económico de reducir la frecuencia de alimentación. De igual forma coincidimos con Hart *et al.*, (2014) quienes mencionan que reducir la frecuencia de alimentación es una estrategia para reducir los costos de operación y mano de obra, en este caso se redujo el tiempo de uso de la maquinaria, pero a pesar de reducir el tiempo de la rutina de alimentación, la mano de obra sigue cumpliendo su jornada completa en otras actividades relacionadas al proceso de producción.

Si bien, reducir la frecuencia de alimentación generó un ahorro económico, no debemos olvidar que para tomar una decisión que afecte la operación se debe considerar todos los factores que intervienen en el sistema de producción. Es entonces que se da prioridad al nivel productivo que expresan los animales con cierto manejo establecido. No es posible sacrificar la producción de leche por una pequeña reducción de los costos de operación, finalmente es el margen de utilidad que se obtenga lo que en realidad importa al tomar todas las decisiones.

VII. CONCLUSIONES

El efecto de la frecuencia de alimentación en ganado lechero queda demostrado al registrarse en el presente estudio una reducción de 2.4% en la producción de leche al reducir la alimentación de 8 a sólo 5 veces por día.

La frecuencia de alimentación no afectó el consumo de materia seca.

Los costos de operación se redujeron en 20.4% con el T2, pero el margen de utilidad es menor al compararla con la que se obtiene con el T1 con mayor producción de leche.

Finalmente, una mayor frecuencia de alimentación destacó como la mejor alternativa para obtener mejor rendimiento productivo y mayor margen de utilidad.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

VIII. REFERENCIAS

- Bach, A., & Calsamiglia, S. (2006). La fibra en los rumiantes: ¿Química o Física?. XIII Curso de especialización FEDNA. Barcelona, España.
- Calsamiglia, S. (1997). Nuevas bases para la utilización de la fibra en dietas de rumiantes. XIII Curso de especialización FEDNA. Madrid, España.
- Campbell, J. R., & Merilan, C. P. (1961). Effects of frequency of feeding on production characteristics and feed utilization in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 44(4), 664-671.
- Carbajal, D. L., & Pérez, O. A. (2007). Evaluación de cuatro frecuencias de alimentación en ganado Holstein, en la comarca Lagunera, Las Lomas, Durango, México. *Tesis de licenciatura. Escuela Agrícola Panamericana*.
- Castillo Rodríguez, D., Tapia Rodríguez, M., Brunett Pérez, L., Márquez Molina, O., Teran, O., & Espinosa Ayala, E. (2012). Evaluación de la sustentabilidad social, económica y productiva de dos agroecosistemas de producción de leche en pequeña escala en el municipio de Amecameca, México. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(3), 690-704.
- Cerón, M., Tonhati, H., Costa, C., Solarte, C., & Benavides, O. (2003). Factores de ajuste para producción de leche en bovinos Holstein colombiano. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 16(1), 26-32.
- Coello, O. (2013). Factores nutricionales que afectan la calidad de la leche en bovinos. *Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila, México*.
- DeVries, T. J., & Von Keyserlingk, M. A. (2006). Feed stalls affect the social and feeding behavior of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 89(9), 3522-3531.
- DeVries, T. J., von Keyserlingk, M. A., & Beauchemin, K. A. (2005). Frequency of feed delivery affects the behavior of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 88(10), 3553-3562.
- Environmental Protection Agency. (Domingo de Noviembre de 2005). *United States Environmental Protection Agency*. Obtenido de United States Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/environmental-topics>
- Espinosa García, J. A., Wiggins, S., González Orozco, A. T., & Aguilar Barradas, U. (2004). Sustentabilidad económica a nivel de empresa: aplicación a unidades familiares de producción de leche en México. *Técnica pecuaria en México*, 42(1), 55-70.
- FAO. (2017). *El sector lechero mundial: Datos*. Obtenido de DAIRY DECLARATION: <http://www.dairydeclaration.org/>
- Galvis, R., Múnera, E., & Marín, A. (2005). Relación entre el mérito genético para la producción de leche y el desempeño metabólico y reproductivo en la vaca de alta producción. *Revista colombiana de ciencias pecuarias*, 18(3), 228-239.
- García Muñiz, J. G., Mariscal Aguayo, V., Caldera Navarrete, N., Ramírez Valverde, R., Estrella Quintero, H., & Núñez Domínguez, R. (2007). Variables associated with milk yield of Holstein cattle in family dairy farms with different technology level. *INCI*, 32(12), 841-846. Recuperado

el Miércoles de Noviembre de 2018, de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0378-18442007001200009&script=sci_arttext&tlng=en

- García, A., & Kalscheur, K. F. (2006). Tamaño de partícula y fibra efectiva en la dieta de las vacas lecheras. *Journal of Dairy Science*, 87: 59-66.
- Gibson, J. P. (1984). The effects of frequency of feeding on milk production of dairy cattle: an analysis of published results. *Animal Production*, 38(02), 181-189.
- Goya, E. L. (2015). Tamaño de partícula y homogeneidad de mezclas unifeed en granjas de vacuno de leche de Navarra. *Tesis de licenciatura. Universidad Pública de Navarra. España.*
- Grupo de Nutrición Animal; INTA;. (2014). Nutrición Animal Aplicada. "Curso Nutrición Animal Aplicada" dictado los días 14, 15 y 16 de mayo de 2014. Argentina. Obtenido de http://produccionbovina.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/137-Curso_Nutricion_aplicada.pdf
- Hart, K. D. (2013). Effect of frequency of milking and feed delivery on the behavioural patterns and productivity of lactating dairy cows. *Tesis doctoral. University of Guelph. Ontario, Canada.* Obtenido de <https://atrium2.lib.uoguelph.ca/xmlui/handle/10214/6765>
- Hart, K. D., McBride, B. W., Duffield, T. F., & DeVries, T. J. (2014). Effect of frequency of feed delivery on the behavior and productivity of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 97(3), 1713-1724.
- Heinrichs, J., & Kononoff, P. (2002). *Evaluating particle size of forages and TMRs using the New Penn State Forage Particle Separator.* Pennsylvania: DAIRY & ANIMAL SCIENCE.
- Heinrichs, J., & Kononoff, P. (2002). Evaluating particle size of forages and TMRs using the New Penn State Forage Particle Separator. *Pennsylvania State University, College of Agricultural Sciences, Cooperative Extension DAS*, 02-42. Obtenido de <ftp://173.183.201.52/inetpub/wwwroot/DairyWeb/Resources/USWebDocs/PSPS.pdf>
- INAFED. (2016). *Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Estado de Querétaro de Arteaga.* Obtenido de INAFED: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM22queretaro/municipios/22011a.html>
- Klasmeyer, T. H., Cameron, M. R., McCoy, G. C., & Clark, J. H. (1990). Effects of feed processing and frequency of feeding on ruminal fermentation, milk production, and milk composition. *Journal of Dairy Science*, 73(12), 3538-3543.
- Kononoff, P., Heinrichs, A., & Buckmaster, D. (2003). Modification of the Penn State forage and total mixed ration particle separator and the effects of moisture content on its measurements. *Journal of Dairy Science*, 86(5), 1858-1863.
- Mäntysaari, P., Kalili, H., & Sariola, J. (2006). Effect of feeding frequency of a total mixed ration on the performance of high-yielding dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 89(11), 4312-4320.
- Meléndez, P., & Bartolomé, J. (2017). Avances sobre nutrición y fertilidad en ganado lechero: Revisión. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 8(4), 407-417.

- Mertens, D. R. (1997). Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 80(7), 1463-1481.
- OCLA. (03 de diciembre de 2017). *Lechería Mundial - Principales Aspectos*. Obtenido de Observatorio de la Cadena Lactea Argentina:
<http://www.ocla.org.ar/contents/newschart/portfolio/?categoryid=8>
- Phillips, C. J., & Rind, M. I. (2001). The effects of frequency of feeding a total mixed ration on the production and behavior of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 84(9), 1979-1987.
- Pliego Hernández, E. (2009). Determinación del factor físico efectivo (pef) y peFDN de la dieta de vacas en lactación. . *Tesis de licenciatura. Torreón, Coahuila, México*, 1-71.
- Poppi, D., Hendricksen, R., & Minson, D. (1985). The relative resistance to escape of leaf and stem particles from the rumen of cattle and sheep. *The Journal of Agricultural Science*, 105(01), 9-14.
- Ríos A., G., & Gómez O., L. (2008). Analysis of cost for a specialized dairy production system an approach to the dairy cow economic analysis: a case study. *Dyna*, 75(155), 37-46.
- Sarandón, S. J. (2002). El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agronegocios. En S. J. Sarandón, *La agricultura como actividad transformadora del ambiente. El impacto de la agricultura intensiva de la Revolución Verde*. En "AGROECOLOGÍA: El camino hacia una agricultura sustentable", (págs. 393-414). La Plata, Argentina: Ediciones Científicas Americanas.
- Secretaría de Economía. (2017). *Análisis del Sector Lácteo en México*. Obtenido de Dirección General de Industrias Básicas:
www.economia.gob.mx/files/.../informacionSectorial/analisis_sector_lacteo.pdf
- Shabi, Z., Bruckental, I., Tagari, H., Zamwel, S., Adin, G., & Arieli, A. (1998). The effect of number of daily meals for dairy cows on milk yield and composition. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 7(3), 249-259.
- Shimada M., A. (2007). *Nutrición animal 1ra ed*. México: Trillas.
- SIAP. (2017a). *Boletín de Leche julio-septiembre de 2017*. Obtenido de SAGARPA:
<https://www.gob.mx/siap/prensa/boletin-de-leche-155932?idiom=es>
- SIAP. (2017b). *Panorama de la leche en México*. Obtenido de SAGARPA:
<https://www.gob.mx/siap/prensa/boletin-de-leche-155932?idiom=es>
- Stanley, R. W., & Morita, K. (1967). Effect of frequency and method of feeding on performance of lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 50(4), 585-586.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & de Haan, C. (2009). *La larga sombra del ganado. Problemas ambientales y opciones*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Tejeda, I. (1992). *Control de calidad y análisis de alimentos para animales*. Mexico: Patronato de Apoyo a la Investigación y Experimentación Pecuaria en México.

Tieri, M., Camerón, E., Pece, M., Herrero, M., Engler, P., Charlón, V., & García, K. (2014). Indicadores utilizados para evaluar la sustentabilidad integral de los sistemas de producción de leche con énfasis en el impacto ambiental. *Public. Miscelánea*, 2314-3126.

Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant*, 2nd ed. Ithaca, NY: Press.

Vázquez, E. (2013). Determinación de la eficacia física de la ración completamente mezclada de 14 establos de la región lagunera. Tesis de licenciatura. UAAAN. Coahuila, México.

Wattiaux, M. A., & Armentano, L. E. (2000). Metabolismo de carbohidratos en vacas lecheras. El Instituto Babcock para la Investigación y Desarrollo Internacional de la Industria Lechera. Wisconsin, Estados Unidos.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

IX. ANEXOS

Anexo 1. Tabla de ANOVA para el modelo de predicción de producción de leche con dos frecuencias de alimentación.

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Pr>F
Modelo	12	2998.481	249.873	52.85	<.0001
Error	179	846.301	4.728		
Total corregido	191	3844.782			
R-cuadrado		Coef Var	Raíz MSE	Prod Media	
	0.780	6.873	2.174	31.636	
Fuente	GL	Tipo III SS	Cuadrado Medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	1	23.213	23.213	4.91	0.0280
Animales	1	120.377	120.377	25.46	<.0001
DEL	1	2039.613	2039.613	431.40	<.0001
Lactancias	7	93.160	13.309	2.81	0.0083
Muestra	2	16.062	8.031	1.70	0.1859

Anexo 2. Tabla de ANOVA para el modelo de predicción del consumo de materia seca con dos frecuencias de alimentación

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Pr>F
Modelo	12	517.881	43.157	2.59	0.0034
Error	179	2983.825	16.669		
Total corregido	191	3501.706			
R-cuadrado		Coef Var	Raíz MSE	CMS Media	
	0.148	19.939	4.083	20.477	
Fuente	GL	Tipo III SS	Cuadrado Medio	Valor F	Pr>F
Tratamiento	1	1.678	1.678	0.10	0.7514
Animales	1	284.862	284.862	17.09	<.0001
DEL	1	9.675	9.675	0.58	0.4471
Lactancias	7	181.869	25.981	1.56	0.1505
Muestra	2	48.900	24.450	1.47	0.2334