



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN Y
SERVICIOS EN ZOOTECNIA**

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

**SUPLEMENTACIÓN CON CONCENTRADO SOBRE PRODUCCIÓN DE
LECHE INDIVIDUAL Y POR HECTÁREA DE VACAS HOLSTEIN EN
PASTOREO**

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

CITLALI ANAIS CASTRO JAIME

Bajo la supervisión de:

RICARDO DANIEL AMÉNDOLA MASSIOTTI, Ph.D.



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
SECCIÓN DE EXÁMENES PROFESIONALES



Enero 2020

Chapingo, México.

SUPLEMENTACIÓN CON CONCENTRADO SOBRE PRODUCCIÓN DE LECHE INDIVIDUAL Y POR HECTÁREA DE VACAS HOLSTEIN EN PASTOREO


Tesis realizada por CITLALI ANAIS CASTRO JAIME bajo la supervisión del Comité Asesor indicado; aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR: 
Ph.D. RICARDO DANIEL AMÉNDOLA MASSIOTTI

ASESOR: 
Dra. MARÍA MAGDALENA CROSBY GALVÁN

ASESOR: 
Dr. JUAN ANDRÉS BURGUÑO FERREIRA

ASESOR: 
Ph.D. RODOLFO RAMÍREZ VALVERDE

ASESOR: 
Dr. LUIS ALBERTO MIRANDA ROMERO

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
DEDICATORIAS	vii
AGRADECIMIENTOS	viii
DATOS BIOGRÁFICOS.....	ix
1 INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
2 REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Sistemas de producción de leche en pastoreo.....	3
2.2 Composición nutricional de la pradera	4
2.3 Limitantes de la pradera	4
2.4 Consumo de forraje en pastoreo	4
2.5 Factores que afectan el consumo de forraje en pastoreo	5
2.5.1 Propiedades de la pradera.....	5
2.5.2 Estimación del consumo de forraje en pastoreo	5
2.5.3 Manejo de pastoreo	6
2.6 Consideraciones para la suplementación en pastoreo	6
2.7 Factores que afectan la respuesta a la suplementación	8

2.7.1 Disponibilidad y características del forraje.....	8
2.7.2 Efecto sustitutivo e impacto de la suplementación sobre el consumo de forraje.....	8
2.7.3 Características de la vaca.....	9
2.8 Suplementación con concentrado	10
2.9 Respuesta en producción de leche a la suplementación	10
2.10 Respuesta en carga animal a la suplementación	11
2.11 Respuesta en producción de leche por hectárea con suplementación .	12
2.12 Literatura citada.....	13
3 SUPLEMENTACIÓN CON CONCENTRADO SOBRE PRODUCCIÓN DE LECHE INDIVIDUAL Y POR HECTAREA DE VACAS HOLSTEIN EN PASTOREO	19
3.1 Resumen.....	19
3.2 Abstract	20
3.3 Introducción.....	21
3.4 Materiales y métodos	21
3.5 Resultados y discusión.....	27
3.6 Conclusiones.....	31
3.7 Literatura citada.....	32

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Composición (% inclusión base tal cual) y aporte promedio de nutrientes del concentrado.....	22
Cuadro 2 Distribución promedio del tiempo utilizado por las vacas lecheras en pastoreo suplementadas con concentrado.	23
Cuadro 3 Alturas de forraje residual (cm) medidas con disco descendente.	24
Cuadro 4 Composición química de los componentes estimados en el forraje y el concentrado, para los tres periodos estudiados (P1, P2 y P3).	26
Cuadro 5 Masas promedio (kg MS ha ⁻¹) de forraje ofrecido y residual por encima de 8 cm de altura en los tres períodos del experimento.....	28
Cuadro 6 Composición botánica promedio del forraje ofrecido durante los periodos ^z estudiados.....	28
Cuadro 7 Cambio de peso vivo (PV en kg) y condición corporal (CC) en vacas lecheras en pastoreo suplementadas, durante los periodos ^z estudiados.	29
Cuadro 8 Producción y composición de leche en vacas lecheras en pastoreo suplementadas con diferentes niveles de concentrado.	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Carga animal de vacas lecheras suplementadas con diferentes niveles de concentrado.	30
Figura 2 Producción de leche por hectárea de vacas lecheras suplementadas con diferentes niveles de concentrado.....	31

DEDICATORIAS

A dios que siempre me acompaña en mi familia.

Con amor a mis padres Jesús y Margarita, que son ejemplo de fortaleza y superación.

A mis hermanas Malintzin, Itzel y Brenda, por brindarme su apoyo y un hombro para descansar.

A mi abuelita Julia, por su sabiduría, y enseñarme el amor más puro del mundo.

A mi esposo Gabriel, que no me dejó rendir y quien me ama sin condición alguna.

A mi hijo Maximiliano que esto sea un ejemplo para darle alas y sepa que puede volar tan alto como lo desee.

Citlali Anais

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el otorgamiento de la beca para realizar mis estudios de maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo por haberme dado la oportunidad de poder realizar mis estudios de maestría.

Al profesor Ph. D. Ricardo Daniel Améndola Massiotti por ser mi guía y orientador en el desarrollo de esta investigación, por sus enseñanzas, consejos y motivación durante mis estudios.

A los profesores: Dra. María Magdalena Crosby Galván por su valiosa orientación y enseñanzas en el Laboratorio, Dr. Juan Andrés Burgueño Ferreira por su apoyo en el análisis estadístico, Ph. D. Rodolfo Ramírez Valverde por sus valiosas observaciones y consejos, al Dr. Luis Alberto Miranda Romero por sus enseñanzas y a los profesores del Posgrado en Producción Animal, en especial a los que me brindaron parte de sus conocimientos.

Al M. en C. Pedro Topete Pelayo, Keni Jiménez Zarate, Heber Murrieta Dionicio, Jesús Melchor Pacheco y José María Álvarez Soto, por su apoyo durante la fase de campo.

Al Dr. José Luis Zaragoza Ramírez, a la Ing. Elsa Margarita Crosby Galván y la Lic. Lorena Deheza Meráz por su apoyo durante mi estancia en laboratorio.

Al M. en C. Juan Daniel Jiménez Rosales por su tiempo, apoyo, disposición, enseñanzas y por ser una gran persona conmigo.

A Gabriel Maya Ramírez por sus cuidados, apoyo incondicional y estar siempre a mi lado.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre	Citlali Anais Castro Jaime
Fecha de nacimiento	30 de abril de 1988
Lugar de nacimiento	Distrito Federal, México.
CURP	CAJC880430MDFSMT00
Profesión	Médico Veterinario y Zootecnista

Desarrollo académico

Bachillerato	Universidad Autónoma del Estado de México / Escuela Preparatoria Texcoco 2003-2006
Licenciatura	Universidad Autónoma Metropolitana – Unidad Xochimilco / Medicina Veterinaria y Zootecnia 2007-2011
Maestría en Ciencias	Universidad Autónoma Chapingo / Posgrado en Producción Animal 2018-2019

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

La alimentación constituye uno de los conceptos de mayor costo en la producción de leche; una opción para la reducción de dichos costos son los sistemas de producción de leche bajo pastoreo (Amendola, 2002), reconocidos como la mejor alternativa para reducir los costos de alimentación (Dartt, Lloyd, Radke, Black, & Kaneene, 1999).

Klein (1994) reportó que una vaca Holstein (con elevado potencial genético, condición corporal y etapa de lactancia adecuadas) alimentada exclusivamente en pastoreo de praderas de clima templado en condición óptima, es capaz de consumir suficiente energía para producir alrededor de 26 L diarios de leche, con pérdida mínima de condición corporal. Sin embargo, el periodo de esa mejor composición nutricional y mayor disponibilidad en las praderas, solamente se alcanza de 4 a 6 semanas durante la primavera.

La inclusión de alimentos suplementarios, como el concentrado, para satisfacer las necesidades nutricionales de los animales, permite equilibrar las deficiencias que las praderas expresan a través del año, aumentando parcialmente el consumo de materia seca (MS) y nutrientes para la producción de leche. Algunas investigaciones han mostrado que la suplementación de bovinos en pastoreo disminuye el consumo de forraje en la pradera (Balocchi, Pulido, & Fernández, 2002), repercusión conocida con el nombre de efecto sustitutivo; debido a este efecto es posible aumentar la carga animal (CA), lo que repercute positivamente en la rentabilidad de la unidad de producción (Bargo, 2003).

Con base en lo anterior, el objetivo fue evaluar el uso de la suplementación con concentrado en un sistema de pastoreo, como herramienta para incrementar el desempeño productivo individual, la CA y por tanto la productividad por hectárea.

En el Capítulo 2 se encuentra una revisión de literatura sobre sistemas, factores y procesos que deben tomarse en cuenta en la toma de decisiones sobre

suplementación, así como los factores que afectan su respuesta en un sistema de producción de leche en pastoreo. Asimismo, en el Capítulo 3 se incluye un artículo de investigación que tiene el objetivo de presentar los resultados obtenidos en este estudio.

Literatura citada

Amendola, R. D. (2002). *A dairy system based on forages and grazing in temperate Mexico*. PhD thesis, Wageningen Universitiet, The Netherlands. 269 p.

Balocchi L., O., Pulido F., R., & Fernández V., J. (2002). Grazing behaviour of dairy cows with and without concentrate supplementation. *Agricultura Técnica*, 62(1). doi:10.4067/S0365-28072002000100009.

Bargo, F. (2003). Suplementación en pastoreo: conclusiones sobre las últimas experiencias en el mundo [pdf]. Disponible en: <https://www.agro.uba.ar/sites/default/files/catedras/bargo.pdf>. Consultado en enero, 2019.

Dartt, B. A., Lloyd, J. W., Radke, B. R., Black, J. R., & Kaneene, J. B. (1999). A comparison of profitability and economic efficiencies between management intensive grazing and conventionally managed dairies in Michigan. *Journal of Dairy Science*, 82(11), 2412-2420.

Klein, R., F. (1994). *Utilización de ensilaje de maíz en producción de leche*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de investigación Remehue. Osorno, Chile.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Sistemas de producción de leche en pastoreo

Los sistemas de producción de leche en pastoreo son una parte integral en la producción lechera de muchos países; son diversificados, pueden variar desde el manejo extensivo con baja productividad de forraje, poco control en el pastoreo y baja o nula suplementación, hasta sistemas intensivos con alta oferta de forraje, pastoreo controlado y oferta de suplementos como concentrados o forraje conservado, que se usa con el fin de maximizar la producción de leche (Meul, Van Passel, Fremaut, & Haesaert, 2012). Estos sistemas son opciones para reducir los costos de producción (Amendola, 2002; Dartt et al., 1999; Soriano, Polan, & Miller, 2001), y una de las formas más eficientes de alimentación, porque los forrajes de las praderas son la fuente de nutrientes de menor costo. Bargo (2003) menciona que los sistemas lecheros pastoriles más eficientes se caracterizan por una alta producción de leche por unidad de superficie, en tanto que los sistemas en confinamiento lo hacen por su alta producción individual. Por otra parte, los sistemas pastoriles utilizan menor cantidad de energía y fertilizantes minerales que los sistemas en confinamiento; además, el forraje ofrecido regularmente es una fuente de alimento altamente nutritiva (Arsenault, Tyedmers, & Fredeen, 2009).

Las vacas lecheras de alto potencial genético alimentadas exclusivamente en pastoreo de clima templado, con forraje de muy buena calidad y alta disponibilidad, consumen hasta 19 kg d⁻¹ de MS con suficiente energía para producir alrededor de 26 L de leche d⁻¹, con pérdida mínima de su condición corporal (Klein, 1994); esta situación es excepcional y ocurre exclusivamente entre 4 y 6 semanas de la primavera. El sistema de producción de leche en pastoreo también tiene otras características, como la contribución al bienestar animal y la biodiversidad dentro de la unidad de producción; ambos atributos se han convertido en un tema importante para los consumidores (Spörndly & Wredle, 2004).

2.2 Composición nutricional de la pradera

El suministro de nutrientes a animales en pastoreo es determinado por el consumo de forraje y su digestibilidad (Poppi, 2011); asimismo, el valor nutritivo ha sido descrito como la capacidad de una dieta para cumplir con los requisitos de los animales para su mantenimiento y producción (Waghorn, Burke, & Kolver, 2007). En una revisión bibliográfica acerca del tema, Bargo (2003) reseña que el forraje de praderas de clima templado utilizadas para el pastoreo de vacas lecheras es de alta calidad, con 18 a 24% de MS, 18 a 25% de proteína cruda (PC), 40 a 50% de fibra detergente neutro (FDN), y 1.53 a 1.67 Mcal/kg MS de energía neta de lactación (ENL).

2.3 Limitantes de la pradera

En praderas templadas, uno de los factores limitantes de la productividad es la ingesta de energía (Waghorn et al., 2007), por lo que, en clima templado, la baja producción de forraje durante los meses de invierno y gran parte de otoño es restrictiva para la alta producción de leche (Amendola, 2002). Por otra parte, las altas temperaturas en verano son factor para la disminución de la digestibilidad del forraje, con lo que se restringe el consumo de MS; aunado a esto, los bajos contenidos de PC, energía metabolizable, minerales y los altos contenidos de fibra, limitan la producción de leche (Klein, 1994). El uso de la suplementación constituye una alternativa para enfrentar estas limitantes (Amendola, 2002).

2.4 Consumo de forraje en pastoreo

El consumo de forraje y su digestibilidad determinan el suministro de nutrientes al animal, y con ello las posibilidades de expresión de su potencial de producción (Elgersma, 2015). Mertens (1994) señaló que de 60 a 90% de las variaciones en el desempeño productivo son explicadas por el consumo. Al respecto, Kolver y Muller (1998) reportaron que vacas en el primer tercio del periodo de lactancia alimentadas con forraje de alta calidad en primavera, tuvieron un consumo de MS equivalente a 3.4% de su peso vivo.

2.5 Factores que afectan el consumo de forraje en pastoreo

El consumo de forraje es determinado por diferentes factores, que se relacionan con las características de las plantas, la masa de forraje, así como su composición química y estructural; estos factores son controlados por el manejo de pastoreo.

2.5.1 Propiedades de la pradera

El consumo de forraje está asociado con la altura de la pradera, y la masa de forraje y de hoja verde (Da Silva et al., 2013). El peso del bocado y la tasa de ingestión son los componentes más importantes del comportamiento ingestivo, que incrementan a medida que aumenta la altura de la pradera, ambos son también afectados por la densidad del forraje (Jiménez, 2015).

2.5.2 Estimación del consumo de forraje en pastoreo

Existen tres tipos de métodos para estimar consumo de forraje por rumiantes en pastoreo, mediante mediciones en: 1) la pradera (Lantinga, Neuteboom, & Meijs, 2004), 2) el animal (Penning, 2004), y 3) el comportamiento ingestivo (Penning & Rutter, 2004).

Las mediciones en la pradera se basan en la diferencia de masas de forraje inicial y final del periodo de pastoreo, la cual es conocida como consumo por unidad de área (Lantinga et al., 2004). Esta técnica determina variaciones de consumo en el corto plazo (Jiménez, 2015); sin embargo, no permite estimar el consumo individual.

Para las mediciones en el animal se pueden aplicar diferentes métodos, pero el más utilizado implica la estimación de la producción fecal y la digestibilidad de la dieta. La determinación de la producción fecal puede hacerse directamente en el animal (Penning, 2004), utilizando una bolsa de recolección, o bien de forma indirecta con marcadores.

Los marcadores pueden ser internos o externos. Un marcador interno frecuentemente utilizado es cenizas ácido-insolubles, mientras que el marcador

externo más empleado es el óxido de cromo (Cr_2O_3), que resultan en altas tasas de recuperación en heces (Rodríguez, Saliba, & Guimarães-Júnior, 2007). Una combinación de ambos marcadores puede ser utilizada para predecir el consumo de forraje de animales en pastoreo que son suplementados con concentrado o ensilado (Jiménez, 2015).

2.5.3 Manejo de pastoreo

Los sistemas lecheros pastoriles intensivos utilizan pastoreo rotacional o en franja, en esos casos una herramienta de particular utilidad es la asignación diaria de forraje (ADF). La ADF es una guía para determinar los días de ocupación en una pradera o el área de forraje fresco que se pondrá disponible diariamente, y con esa información, realizar la planificación mensual de alimentación.

La respuesta del consumo de forraje por vacas lecheras a la ADF es asintótica. En casos en que ADF es baja, con su aumento se obtiene una respuesta de aumento lineal del consumo, pero frente a aumentos adicionales en ADF, la respuesta es de incrementos decrecientes en consumo (Pérez-Prieto & Delagarde, 2013). No obstante, en una unidad de producción, la ADF promedio depende de la CA que se esté empleando. De esta manera, ambas variables de manejo tienen efecto sobre la ingesta del forraje y su composición, y por tanto sobre el desempeño individual y la productividad por hectárea (Baudracco, López-Villalobos, Holmes, & Macdonald, 2010).

2.6 Consideraciones para la suplementación en pastoreo

El estímulo para la ingesta de forraje a través de la ADF puede mejorar el suministro de nutrientes y la sincronía ruminal entre energía y proteína en la dieta de vacas lecheras (Peyraud & Delagarde, 2013). No obstante, de acuerdo con Soriano et al. (2001), el forraje de praderas, por limitaciones de calidad o cantidad, no siempre cubre los requerimientos de vacas lecheras altas productoras. En esas ocasiones resulta conveniente ofrecer alimento adicional con el objetivo de mantener o incrementar el consumo de energía, proteína o

minerales para mejorar el desempeño animal (Reid et al., 2015), este proceso se ha denominado suplementación. El incremento en producción de leche por efecto de la suplementación se conoce como respuesta a esa medida y se expresa como kg de leche adicional kg^{-1} MS de concentrado consumido.

En sistemas de producción de leche en pastoreo la estrategia de suplementación es utilizada para aumentar la ingesta de MS y la producción de leche (Hills, Wales, Dunshea, Garcia, & Roche, 2015). De manera similar, Bargo, Muller, Kolver, y Delahoy (2003) sostienen que el uso de la suplementación trata de solucionar el desequilibrio entre lo consumido por el animal y sus requerimientos, mismo que limita la manifestación de su potencial genético para producción.

La deficiencia de energía es factor determinante de la respuesta a la suplementación (Clark & Woodward, 2007). Por su parte, Hills et al. (2015), indican características que se deben tomar en cuenta para la implementación de la suplementación a vacas lecheras, 1) la cantidad y calidad de forraje ofertado, 2) la etapa de lactancia y 3) la cantidad y calidad de los suplementos a ofertar ya que pueden llegar a condicionar el consumo de forraje.

En su revisión sobre el uso de la suplementación con vacas lecheras, Bargo et al. (2003) comunican que ésta tiene como objetivo principal optimizar la producción de leche por vaca y por unidad de área, además debe ser dirigida de forma estratégica al aumento en CA, hacer más eficiente el uso del forraje y el mejoramiento en la composición de la leche. Por último, indican que es recomendable definir una estrategia de manejo que garantice que el uso de suplementos generará beneficios (y no pérdidas) para la rentabilidad del sistema.

2.7 Factores que afectan la respuesta a la suplementación

2.7.1 Disponibilidad y características del forraje

Las tasas de acumulación de forraje varían en función de fluctuaciones de la radiación, temperatura y humedad, lo que origina cambios en disponibilidad de éste. Las variaciones en disponibilidad de forraje son una de las principales limitantes para la producción en pastoreo y la suplementación se usa frecuentemente para enfrentar este problema; a su vez, la respuesta a la suplementación depende de la disponibilidad (Baudracco et al., 2010).

Con mayor oferta de forraje y altos niveles de suplementación, la respuesta en producción de leche es muy baja; por el contrario, las mayores respuestas se han reportado con baja disponibilidad de forraje y nivel de concentrado de bajo a medio (Ramírez-Mella et al., 2010). Estos autores advierten que con inclusiones altas de concentrado (8 a 10 kg MS de concentrado energético) disminuye el contenido de grasa en la leche y aumenta el de proteína, debido al suministro de carbohidratos de rápida fermentación.

2.7.2 Efecto sustitutivo e impacto de la suplementación sobre el consumo de forraje

El consumo de MS en la pradera se reduce cuando se ofrece un concentrado como suplemento adicionado a la ADF, a esto se le conoce como efecto sustitutivo (Reid et al., 2015).

Clark y Woodward (2007) describen el efecto sustitutivo de los suplementos sobre el consumo de forraje, a través de modificaciones en el comportamiento de ingestión en pastoreo, especialmente reducción en la tasa de ingestión y en el tiempo de pastoreo. Al respecto, Amendola, Martínez-Valenzuela, Burgueño-Ferreira, y Martínez-Hernández (2002) encontraron una reducción de 12 minutos en tiempo de pastoreo por cada kg de MS de concentrado consumido, en coincidencia con lo expuesto por Bargo (2003) a partir de su revisión del tema. Por otra parte, el efecto sustitutivo se ha atribuido también a los cambios

en la flora ruminal, causados por la disminución del pH (Caton & Dhuyvetter, 1997).

El efecto sustitutivo se calcula como el cociente de la ingesta de MS del forraje con tratamientos no suplementados entre la que ocurre en tratamientos con suplemento y se le expresa como $\text{kg MS de forraje kg}^{-1}$ MS de concentrado (Clark & Woodward, 2007; Merino, Balocchi, & Pulido, 2018). De esta forma cuando la tasa de sustitución asume un valor de 1.0 el consumo de MS del suplemento equivale a la reducción de consumo en la pradera. Con base en las consecuencias de este efecto, es necesario balancear la suplementación en función de las necesidades específicas de los animales y las características del forraje y el suplemento (Bargo et al., 2003).

Baudracco et al. (2010) afirman que el efecto sustitutivo es el factor que explica la escasa respuesta en producción de leche individual a la suplementación. A su vez este efecto contribuye a la variabilidad en la respuesta de producción de leche individual a la suplementación de concentrado (Bargo, Muller, Delahoy, & Cassidy, 2002). Cuanto menor sea la tasa de sustitución, mayor será la respuesta de la leche obtenida por kilogramo de suplemento. Bargo et al. (2002) sintetizó información de distintos estudios en los que se midieron el efecto sustitutivo y respuesta en producción de leche individual ($\text{kg leche adicional kg}^{-1}$ de MS de concentrado), en esa síntesis se observa que si el efecto sustitutivo es menor a 0.3 la respuesta promedio fue 1.1, en tanto que cuando el efecto sustitutivo se encontró entre 0.45 y 0.6 la respuesta promedio fue 0.6.

2.7.3 Características de la vaca

La capacidad de producción de una vaca está determinada por factores como potencial genético, etapa de lactancia y número de partos (Bargo et al., 2003; Ramírez-Mella et al., 2010).

La respuesta a la suplementación por animales de distinto potencial genético está relacionada con la capacidad de consumo y demanda energética, vacas con altas demandas energéticas tienen menor sustitución que vacas con menor

demanda energética (Reid et al., 2015). En la medida que la etapa de lactancia y número de partos tienen efecto sobre el potencial productivo, pueden influir en el grado de sustitución de forraje por concentrado suplementario; en este caso, la razón también está en diferencias por demanda energética, ya que con mayor demanda energética se presentará mayor efecto sustitutivo (Bargo et al., 2003; Ramírez-Mella et al., 2010).

2.8 Suplementación con concentrado

El concentrado es considerado una de las principales formas de suplementación y en ocasiones la más eficiente, debido a la precisión del compuesto que debe aportar a la alimentación (Auldist et al., 2013). El alimento concentrado tiene un contenido de MS más alto y permite tasas de ingestión mayores que el forraje de las praderas, lo que en parte explica el efecto sustitutivo. Los suplementos pueden suministrar nutrientes de manera adicional, de igual o mayor calidad que el forraje, pero a un costo mayor, con impacto económico negativo sobre el sistema de producción (Clark & Woodward, 2007; Riquelme & Pulido, 2008).

2.9 Respuesta en producción de leche a la suplementación

Auldist et al. (2013) revisaron publicaciones sobre la respuesta en producción de leche a la suplementación con concentrado; encontraron que si bien la producción de leche aumenta con el suministro de concentrado, las respuestas son curvilíneas con menor respuesta a medida que se incrementa el nivel de concentrado y que reducciones mayores se han encontrado con niveles de 5 a 9 kg diarios de MS concentrado; por el contrario, Bargo (2003) en experimentos con vacas de alto potencial genético, encontró respuesta lineal a la suplementación hasta el nivel de 10 kg diarios de MS concentrado.

Rugoho, Cheng, Aizimu, Bryant y Edwards (2016) analizaron las respuestas marginales a la suplementación complementada con ADF fija o variable y encontraron un aumento lineal en producción al ofertar ADF creciente complementada con el suplemento alto en energía; sin embargo, en el caso de

la ADF fija hallaron que a medida que aumentó la ingesta de suplementos, la respuesta en producción fue de incrementos decrecientes. Los autores indican que esta disminución en la respuesta puede explicarse por una probable ineficiencia a nivel ruminal o por un aumento en el efecto sustitutivo.

La composición de la leche puede cambiar como respuesta a la suplementación. Bargo et al. (2003) mencionan que la suplementación energética reduce la producción de grasa en la leche, debido al aporte de carbohidratos de rápida degradación y a una disminución de consumo de fibra en forraje de la pradera. Por su parte, Sairanen, Khalili, Nousiainen, Ahvenjärvi, y Huhtanen (2005) demostraron que la suplementación con concentrado energético (12.6 MJ EM/kg MS) incrementó la proteína no degradable en rumen y el flujo microbiano al omaso, y que derivado de esto hubo mayor cantidad de aminoácidos para la producción de leche. Rugoho et al. (2016) encontraron que la concentración de grasa fue mayor (5.5%) en aquellas vacas que solo fueron alimentadas con forraje, en comparación con aquellas a las que les fue ofrecido el suplemento (5.1%), mientras que el contenido de proteína fue mayor en vacas suplementadas (4.0%) que en las que solo estuvieron en pastoreo (3.7%).

2.10 Respuesta en carga animal a la suplementación

La CA es una de las más poderosas herramientas de manejos disponibles en un sistema lechero pastoril (Baudracco et al., 2010); se le define como el número de vacas por unidades de superficie y de tiempo ($CA_{\text{anual}} = \text{vacas}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ y $CA_{\text{diaria}} = \text{vacas}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{d}^{-1}$). Baudracco et al. (2010) sugieren el uso de la variable “carga animal comparativa” como un símil del término presión de pastoreo, que se expresa como la relación entre los kg de peso vivo por hectárea y las toneladas totales de MS ofrecidos por hectárea, por lo que, el forraje utilizado en la pradera se vuelve una función de masa de forraje y de CA (Baudracco et al., 2010).

Ramírez-Mella et al. (2010) mencionan que debido al efecto sustitutivo se puede incrementar la CA y en consecuencia la producción de leche por hectárea. Al respecto, Baudracco et al. (2010) indican que con una CA diaria baja, las vacas son alimentadas sin restricción y la composición de la leche es mayor en grasa y proteína; sin embargo, hay mayor desperdicio de forraje y el rendimiento de sólidos totales en la leche por hectárea es bajo; por el contrario, con CA diaria alta se obtiene una mayor eficiencia en el consumo y rendimiento de MS por hectárea, a pesar de que la ADF es menor.

Algunas investigaciones se han enfocado a estudiar la importancia de diferentes aspectos de la CA, suplementación y efecto sustitutivo en distintos sistemas. Amendola (2002), Elizalde (2003), y Baudracco et al. (2010), sugieren la integración de estos resultados con un enfoque hacia el sistema de producción, para determinar el potencial de las interacciones entre CA y suplementación.

2.11 Respuesta en producción de leche por hectárea con suplementación

Améndola (2002) realizó una revisión bibliográfica acerca de la respuesta a la suplementación en sistemas de producción de leche en pastoreo, encontrando que en los reportes sobre tales efectos se consignaba el desempeño individual pero no la respuesta en CA y producción por hectárea. Este autor sugiere el análisis de la respuesta por hectárea como herramienta para determinar el impacto de la suplementación en el sistema de producción y no solo en desempeño individual. Debido a la reducción posible de la ADF, con la suplementación se mejora la eficiencia de utilización de forraje y aumenta la producción de leche por hectárea (Baudracco et al., 2010).

La respuesta a la suplementación por hectárea podría verse mayormente afectada por los cambios en la CA en comparación a los cambios en la producción individual. Baudracco et al. (2010) concluyen que el consumo de forraje y la producción de leche por hectárea generalmente aumentan a medida que aumenta la CA; sin embargo, la ADF promedio tiende a disminuir conforme aumenta la carga. Al respecto, considerando producción de bovinos de carne

en pastoreo, Elizalde (2003) definió que es necesario analizar la respuesta por hectárea, para estar en condiciones de generar estimaciones de la eficacia en términos económicos.

2.12 Literatura citada

Amendola, R. D. (2002). A dairy system based on forages and grazing in temperate Mexico. PhD thesis, Wageningen Universiteit, The Netherlands. 269 p.

Amendola, R. D., Martínez-Valenzuela, F., Burgueño-Ferreira, J. A., & Martínez-Hernández, P. A. (2002). A dairy system based on forages and grazing in temperate Mexico. *Supplementary feeding with concentrates* (pp. 139-176). Wageningen, The Netherlands.

Arsenault, N., Tyedmers, P., & Fredeen, A. (2009). Comparing the environmental impacts of pasture-based and confinement-based dairy systems in Nova Scotia (Canada) using life cycle assessment. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 7(1), 19-41.

Auldish, M. J., Marett, L. C., Greenwood, J. S., Hannah, M., Jacobs, J. L., & Wales, W. J. (2013). Effects of different strategies for feeding supplements on milk production responses in cows grazing a restricted pasture allowance. *Journal of Dairy Science*, 96(2), 1218-1231. doi:10.3168/jds.2012-6079

Bargo, F. (2003). Suplementación en pastoreo: conclusiones sobre las últimas experiencias en el mundo [pdf]. Disponible en: <https://www.agro.uba.ar/sites/default/files/catedras/bargo.pdf>. Consultado en enero, 2019.

Bargo, F., Muller, L. D., Delahoy, J. E., & Cassidy, T. W. (2002). Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows grazing at two pasture allowances. *Journal of Dairy Science*, 85(7), 1777-1792

- Bargo, F., Muller, L. D., Kolver, E. S., & Delahoy, J. E. (2003). Invited review: Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. *Journal of Dairy Science*, *86*(1), 1-42.
- Baudracco, J., Lopéz-Villalobos, N., Holmes, C. W., & Macdonald, K. A. (2010). Effects of stocking rate, supplementation, genotype and their interactions on grazing dairy systems: A review. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, *53*(2), 109-133. doi:10.1080/00288231003777665.
- Caton, J. S., & Dhuyvetter, D. V. (1997). Influence of energy supplementation on grazing ruminants requirements and responses. *Journal of Animal Science*, *75*: 533-542.
- Clark, D. A., & Woodward, S. L. (2007). Supplementation of dairy cows, beef cattle and sheep grazing pasture. In P. V. Rattray, I. M. Brookes, & A. M. Nicol (Eds.), *Pasture and Supplements for Grazing Animals* (pp 117-132). Christchurch, New Zealand: New Zealand Society of Animal Production.
- Da Silva, S. C., Gimenes, F. M. A., Sarmento, D. O. L., Sbrissia, A. F., Oliveira, D. E., Hernandez-Garay, A., & Pires, A. V. (2013). Grazing behavior, herbage intake and animal performance of beef cattle heifers on marandu palisade grass subjected to intensities of continuous stocking management. *The Journal of Agricultural Science*, *151*(5), 727-739.
- Dartt, B. A., Lloyd, J. W., Radke, B. R., Blacj, J. R., & Kaneene, J. B. (1999). A comparison of profitability and economic efficiencies between management intensive grazing and conventionally managed dairies in Michigan. *Journal of Dairy Science*, *82*(11), 2412-2420.
- Elgersma, A. (2015). Grazing increases the unsaturated fatty acid concentration of milk from grass-fed cows: A review of the contributing factors, challenges and future perspectives. *European Journal of Lipid Science and Technology*, *117*(9), 1345-1369.

- Elizalde, J. C. (2003). Suplementación en condiciones de pastoreo. Jornada de Actualización Ganadera Balcarce. Disponible en: http://www.produccionbovina.com.ar/informacion_tecnica/invernada_o_engorde_pastoril/56-suplementacion_campo.pdf. Consultado en junio 2019.
- Hills, J. L., Wales, W. J., Dunshea, F. R., Garcia, S. C., & Roche, J. R. (2015). Invited review: An evaluation of the likely effects of individualized feeding of concentrate supplements to pasture-based dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98(3), 1363-1401. doi:10.3168/jds.2014-8475.
- Jiménez R., J. D. (2015). Pastoreo Mixto de vacas lecheras con borregas como seguidoras en alfalfa-ovillo. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo, México. 67 p.
- Klein, R., F. (1994). *Utilización de ensilaje de maíz en producción de leche*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de investigación Remehue. Osorno, Chile.
- Kolver, E. S., & Muller, L. D. (1998). Performance and nutrient intake of high producing Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. *Journal of Dairy Science*, 81(5), 1403-1411.
- Lantinga, E. A., Neuteboom, J. H., & Meijs, J. A. C. (2004). Sward methods. In Penning P. (Ed.), *Herbage intake handbook* (pp 23-52). The British Grassland Society. Hurley, England.
- Merino, V., Balocchi, O., & Pulido, R. (2018). Effect of daily herbage allowance restriction on pasture characteristics and milk production by grazing dairy cows in spring. *Ciencia e Investigación Agraria*, 45(1), 21-34. doi:10.7764/rcia.v45i1.1841
- Mertens, D. R. (1994). Regulation of forage intake. In Fahey, Jr. G. C., M. Collins, D. R. Mertens, & L. E. Moser (Eds.) *Forage quality, evaluation, and utilization* (pp 450-493). Madison, USA: American Society of Agronomy.

- Meul, M., Van Passel, S., Fremaut, D., & Haesaert. (2012). Higher sustainability performance of intensive grazing versus zero-grazing dairy systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(3), 629-638.
- Penning, P. D. (2004). Animal-based techniques for estimating herbage intake. In Peening P. (Ed.), *Herbage intake handbook* (pp 53-93). The British Grassland Society. Hurley, England.
- Penning, P. D., & Rutter, S. M. (2004). Ingestive Behavior. In Penning P. (Ed.), *Herbage intake handbook* (pp 191). The British Grassland Society. Hurley, England
- Pérez-Prieto, L. A., & Delagarde, R. (2013). Meta-analysis of the effect of pasture allowance on pasture intake, milk production, and grazing behavior of dairy cows grazing temperate grasslands. *Journal of Dairy Science*, 96(10), 6671-6689. doi:10.3168/jds.2013-6964.
- Peyraud, J. L., & Delagarde, R. (2013). Managing variations in dairy cow nutrient supply under grazing. *Animal*, 7(1), 57-67. doi:10.1017/S1751731111002394.
- Poppi, D. P. (2011). Nutritional constraints for grazing animals and the importance of selective grazing behavior. In G Lemaire, J Hodgson, & A Chabbi (Eds.), *Grassland productivity and ecosystems services* (pp, 19-26). Wallingford: CAB International, Wallingford.
- Ramírez-Mella, M., Hernández-Mendo, O., Améndola-Massiotti, R. D., Ramírez-Bribiesca, E. J., Mendoza-Martínez, G. D., & Burgueño-Ferreira, J. A. (2010). Productive response of grazing dairy cows to fresh chopped maize supplementation under a small farming system in the Mexican Highlands. *Tropical Animal Health and Production*, 42(7), 1377-1383. doi:10.1007/S11250-010-9595-1

- Reid, M., O'Donovan, M., Murphy, J. P., Fleming, C., Kennedy, E., & Lewis, E. (2015). The effect of high and low levels of supplementation on milk production, nitrogen utilization efficiency, and milk protein fractions in late lactation dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98, 5529-5544. doi:10.3168/jds.2014-9016.
- Riquelme, C., & Pulido, R. G. (2008). Efecto del nivel de suplementación con concentrado sobre consumo y comportamiento ingestivo en vacas lecheras a pastoreo. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 40(3), 243-249.
- Rodríguez, N. M., Saliba, E. O. S., & Guimarães-Júnior, R. (2007). Uso de indicadores para estimar consumo y digestibilidad de pasto. LIPE, lignina purificada y enriquecida. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20(4), 12.
- Rugoho, I., Cheng, L., Aizimu, W., Bryant, R. H., & Edwards, G. R. (2016). Effects of post-grazing herbage height and concentrate feeding on milk production and major milk fatty acids of dairy cows in mid-lactation. *Grass and Forage Science*, 72(2), 211-219. doi:10.1111/gfs.12244.
- Sairanen, A., Khalili, H., Nousiainen, J. I., Ahvenjärvi, S., & Huhtanen, P. (2005). The effect of concentrate supplementation on nutrient flow to the omasum in dairy cows receiving freshly cut grass. *Journal of Dairy Science*, 88(4), 1443-1453.
- Soriano, F. D., Polan, C. E., & Miller, C. N. (2001). Supplementing pasture to lactating Holsteins fed a total mixed ration diet. *Journal of Dairy Science*, 84(11), 2460-2468.
- Spörndly, E., & Wredle, E. (2004). Automatic milking and grazing-effects on distance to pasture and level of supplements on milk yield and cow behavior. *Journal of Dairy Science*, 87(6), 1702-1712.

Waghorn, G. C., Burke, J. L., & Kolver, E. S. (2007). Principles of Feeding Value. In P. V. Rattray, I. M. Brookes, & A. M. Nicol (Eds.), *Pasture and supplements for grazing animals* (pp 35-60). Christchurch, New Zealand: New Zealand Society of Animal Production.

3. SUPLEMENTACIÓN CON CONCENTRADO SOBRE PRODUCCIÓN DE LECHE INDIVIDUAL Y POR HECTAREA DE VACAS HOLSTEIN EN PASTOREO

3.1 Resumen

El objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta animal a la suplementación con concentrado sobre producción individual, carga animal y producción de leche por hectárea en pastoreo de praderas de *Medicago sativa L.* con *Dactylis glomerata L.* Los tratamientos fueron tres niveles de suplementación, 2.5, 5.0 y 7.5 kg de MS de concentrado vacas¹ d⁻¹. Las unidades experimentales fueron lotes de cinco vacas Holstein Neozelandés y sus áreas de pastoreo. El diseño fue cruzado 3x3 con cada lote en cada tratamiento consecutiva y aleatoriamente. Con el fin de cancelar el impacto del efecto sustitutivo sobre la utilización de forraje se empleó una misma altura de residual (8 cm) para todos los tratamientos; eso permitió estimar el efecto de la suplementación sobre la carga animal. Para el análisis se realizó con el procedimiento GLM de SAS y la comparación de medias se realizó con prueba de t. La carga animal, y la producción individual y producción por hectárea aumentaron ($P < 0.05$) al incrementar el nivel de suplementación. El incremento en producción por ha (67%) se debió en mayor medida al aumento en carga animal (46%) que al de producción individual (14%). Se concluyó que es necesario considerar el impacto del efecto sustitutivo y el efecto sobre carga animal en la respuesta del sistema a la suplementación. Este estudio demostró la utilidad de considerar la carga animal como variable dependiente.

Palabras clave:, carga animal, producción de leche, manejo de pastoreo diseño cruzado¹

¹ Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera
Autor: Citlali Anais Castro Jaime
Director de Tesis: Ricardo Daniel Améndola Massiotti

SUPPLEMENTARY FEEDING WITH CONCENTRATE ON MILK PRODUCTION PER COW AND PER HECTARE OF GRAZING HOLSTEIN COWS

3.2 Abstract

The objective was to evaluate the effect of supplementary feeding with concentrate on individual production, stocking rate and milk production per hectare of cows grazing on *Medicago sativa* L. with *Dactylis glomerata* L. pastures. The treatments were three levels of supplementation, 2.5, 5.0 and 7.5 kg of DM of concentrate cow⁻¹ d⁻¹. The experimental units were relatively homogenized groups of five Holstein New Zealand cows and their grazed areas. The design was a cross-over 3x3 with each group of cows placed in each treatment consecutively and randomly. In order to cancel the impact of the substitution effect on the utilization efficiency of pasture forage, the same residual height (8 cm) was used for all treatments. This allowed estimating the effect of supplementation on stocking rate. For the analysis a linear model and the GLM procedure (SAS®) were used and the comparison of means was performed with t-test. Stocking rate, milk production per cow and per hectare increased (P <0.05) with the level of supplementation. When comparing the minimum and maximum levels of supplementation used, the increase in production per hectare (67%) was due to a greater extent to the increase in stocking rate (46%) than the milk production per cow (14%). It was concluded that it is necessary to consider the impact of the substitution effect and the effect on stocking rate on the system's response to supplementation. This study demonstrated the usefulness of considering stocking rate as a dependent variable.

Keywords: stocking rate, milk production, grazing management, cross-over experimental design²

² Master of Science Thesis in Livestock Innovation
Author: Citlali Anais Castro Jaime
Advisor: Ricardo Daniel Améndola Massiotti

3.3 Introducción

Las estrategias de manejo del pastoreo están orientadas al incremento de consumo de forraje por las vacas, necesario para la expresión de su desempeño productivo (Decruyenaere, Buldgen, & Stilmant, 2009). Una de esas estrategias es la suplementación con concentrado, la cual Bargo (2003) describe como un método que permite la utilización del forraje con máxima eficiencia; además, es una práctica comúnmente utilizada en sistemas pastoriles para mejorar el estado nutricional de los animales y su producción de leche (Albarrán, Balocchi, Noro, Wittwer, & Pulido, 2016).

La respuesta a la suplementación depende de la disponibilidad de forraje y su valor nutritivo; aunado a esto, el uso de esta estrategia genera un impacto negativo sobre el total de costos en sistemas pecuarios. Al respecto, Elizalde (2003) indica que para determinar el efecto de la suplementación sobre la rentabilidad de la unidad de producción, debe evaluarse: a) la respuesta individual, b) el efecto sustitutivo y su consecuencia sobre la carga animal (CA), y c) el impacto económico por unidad de área. Fariña, García, Fulkerson, y Barchia (2011) consideran que aquellos sistemas que aumentan su producción por hectárea demuestran ser más efectivos que aquellos que solo aumentan la producción individual, tanto en la respuesta animal como en la eficiencia del uso de suplementos.

Con base en lo anterior, el objetivo fue evaluar, en un sistema pastoril, el efecto de la suplementación con concentrado sobre el desempeño productivo individual, la carga animal y la productividad por hectárea.

3.4 Materiales y métodos

El experimento se realizó entre septiembre y diciembre de 2018, en el Módulo de Producción de Leche en Pastoreo de la Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, México; ubicado a 19° 29' N, 98° 54' O, y altitud de 2240 m, en clima templado subhúmedo con lluvias de verano y promedios anuales de 636 mm, y temperatura media anual de 15.2 °C (García, 2004).

Se utilizaron nueve potreros de alfalfa (*Medicago sativa L.*) asociada con pasto ovillo (*Dactylis glomerata L.*) de uno a tres años de edad, con área total de 4.6 ha. El pastoreo fue rotacional intensivo con promedio de 4 d de ocupación y 34 d de descanso. Los potreros fueron divididos en 3 secciones, las áreas asignadas diariamente a cada lote de vacas fueron ajustadas con movimientos de cerco eléctrico móvil, esta medida permitió obtener una misma altura de forraje residual de 8 cm, las mediciones se realizaron con disco descendente, independientemente del nivel de suplementación. El objetivo de esta medida fue evitar que en los tratamientos con mayor nivel de suplementación se desperdiciara forraje; adicionalmente, el uso de esta medida de manejo permitió obtener una estimación de la carga animal como variable de respuesta a la suplementación.

Los tratamientos fueron tres niveles de suplementación con concentrado (Cuadro 1), 2.5, 5.0 y 7.5 kg de MS de concentrado vaca⁻¹ d⁻¹.

Cuadro 1. Composición (% inclusión base tal cual) y aporte promedio de nutrientes del concentrado.

Componente	
Maíz rolado	53.3
Sorgo molido	24.0
Grasa de sobrepaso	2.3
Melaza	4.0
Gluten	14.9
Pre mezcla mineral	1.5
Aporte de nutrientes	
EM (MCal kg ⁻¹)*	3.30
PC (%)	11.14
PCNDR (%)*	9.64

*Estimación con base en la composición de los ingredientes reportada por NRC (2001).

Las unidades experimentales fueron lotes de cinco vacas Holstein Neozelandés en lactancia y sus respectivas áreas de pastoreo. Los lotes de vacas se

homogenizaron, balanceándolos en función del peso vivo inicial (525 ± 23 , 512 ± 15 , y 522 ± 24 kg), número de partos (3.4 ± 0.51 , 2.6 ± 0.51 , y 3.0 ± 0.63), días en lactancia (19.6 ± 3.61 , 22.4 ± 8.70 , y 33.4 ± 13.96), y producción de leche durante dos semanas previas a la lotificación (11.96 ± 1.12 , 10.54 ± 1.83 y 11.90 ± 0.55 kg).

Se realizó un período de adaptación de 30 días a la composición de los lotes y del concentrado. Para la etapa de medición se consideraron tres periodos de 25 días cada uno, P1 del 07 al 31 de octubre, P2 del 01 al 25 de noviembre, y P3 del 26 de noviembre al 20 de diciembre, los cuales fueron divididos en dos fases, la adaptación al nivel de concentrado correspondiente a cada tratamiento (10 días) y el registro de datos de las variables de respuesta (15 días). Se utilizó un diseño cruzado (*cross-over*) 3x3, en el cual cada lote recibió los tratamientos de manera consecutiva y aleatorizada. La información generada fue analizada mediante el paquete estadístico de SAS (SAS, 2004).

Después de cada ordeña, se proporcionó a las vacas el concentrado en los niveles correspondientes a cada tratamiento, en comederos individuales; el resto del tiempo permanecieron en los potreros con acceso a agua *ad libitum* (Cuadro 2).

Cuadro 2 Distribución promedio del tiempo utilizado por las vacas lecheras en pastoreo suplementadas con concentrado.

Actividad	Hora
Ordeña matutina	06:00 – 07:00
Permanencia matutina en el corral de suplementación	06:30 – 07:30
Pastoreo entre ordeñas matutina y vespertina	08:00 – 15:00
Ordeña vespertina	15:00 – 16:00
Permanencia vespertina en el corral de suplementación	15:30 – 16:30
Pastoreo entre ordeñas vespertina y matutina	17:00 – 06:00

La carga animal, variable esencial en la determinación de productividad de los sistemas pastoriles regularmente se considera variable independiente, en este estudio se le consideró como variable dependiente. Con ese fin, el criterio utilizado para el manejo del pastoreo fue un componente esencial para cumplir el objetivo de estimar el efecto de la suplementación sobre la CA. Según Améndola et al. (2002), al aumentar el nivel de suplementación, debido al efecto sustitutivo se reducirá el consumo en la pradera con lo que disminuirá la eficiencia de utilización, v. g. se desperdiciará forraje. Si se plantea como meta conservar la misma eficiencia de utilización, al manejar una misma altura de forraje residual independientemente del nivel de suplementación, se deberá abrir menor área diaria a los tratamientos con mayor suplementación y por consecuencia en esos tratamientos se utilizará mayor CA.

Este criterio de manejo se implementó al mover en varias oportunidades en el día el cerco eléctrico móvil, de modo de lograr 8 cm de altura de forraje residual (Cuadro 3) ya que, en la fase previa de adaptación, esa resultó ser la altura a la cual las vacas suspendían su actividad de pastoreo. A efectos de facilitar la implementación, los potreros se dividieron en tercios, de modo de organizar el avance en el pastoreo de los lotes de forma paralela; a su vez, los tercios no fueron de igual ancho, sino que éste fue reduciéndose con el nivel de suplementación. Al final del pastoreo se registraron los días de pastoreo y se midió el área utilizada en cada unidad experimental con el fin de calcular la CA empleada.

Cuadro 3 Alturas de forraje residual (cm) medidas con disco descendente.

Tratamiento	Periodo 1	EE [£]	Periodo 2	EE	Periodo 3	EE
2.5*	8.71	0.17	8.36	0.08	8.03	0.06
5.0	8.47	0.11	8.18	0.07	8.18	0.06
7.5	8.38	0.14	8.03	0.05	8.08	0.04

*kg concentrado vaca⁻¹ d⁻¹.

£ Error estándar.

Las variables medidas en pradera fueron forraje ofrecido (FO) y forraje residual (FR), los cuales fueron registrados mediante el corte de tres franjas de 0.50 x 5.10 m promedio, utilizando una podadora Trupper® México, a una altura de 8 cm. El forraje por debajo de 8 cm se estimó cortando a ras de suelo, dentro de cada faja una muestra con cuadro de 0.5 x 0.5 m. Las muestras de FR se tomaron de forma apareada con las muestras de FO. Las muestras de FO y FR se secaron en estufa con circulación de aire a 55 °C hasta peso constante, se molieron en un molino Wiley® 4 USA con criba de 1 mm, y posteriormente se incineraron 1 g de cada muestra a 600 °C durante 24 horas, para determinar el contenido de cenizas en laboratorio y realizar la corrección de los datos de masa de forraje por contaminación con suelo. El procedimiento de muestreo usado fue descrito por Jiménez (2015).

La composición del forraje consumido (Cuadro 4) se estimó con base en muestras tomadas mediante el uso de la técnica de pastoreo simulado (Bonnet, Hagenah, Hebbelmann, Meuret, & Shrader, 2011). Se tomó una muestra por unidad experimental (compuesta de 15 porciones), misma que se dividió en dos submuestras, para estimar en una de ellas la composición botánica y en la otra la composición nutricional. Para calcular la composición botánica se separaron manualmente los componentes alfalfa, ovido, maleza y material muerto, y se secaron en estufa con circulación forzada de aire a 100 °C hasta llegar a peso constante. La muestra utilizada para estimar composición nutricional fue secada a 55 °C a peso constante y se molió en un molino Wiley® 4 USA con criba de 1 mm. Para determinar PC se utilizó el método del Micro-Kjeldahl (A.O.A.C., 2005); para la determinación de FDN y fibra detergente ácido (FDA) se utilizó la técnica de la bolsa de filtro en el equipo ANKOM200 (A.O.A.C., 2005). Las muestras de concentrado se secaron en una estufa de circulación forzada de aire a 55 °C, hasta llegar a peso constante, se molieron y guardaron para su análisis. Se determinaron cenizas insolubles en ácido (CIA) (A.O.A.C., 2005), a cada uno de los componentes de la dieta total (forraje y concentrado). Asimismo, se determinaron PC, FDN, FDA y CIA en el concentrado (Cuadro 4).

Cuadro 4 Composición química de los componentes estimados en el forraje y el concentrado, para los tres periodos estudiados (P1, P2 y P3).

Componente	Forraje			Concentrado		
	P1*	P2*	P3*	P1*	P2*	P3*
Materia seca (MS), %	94.83	93.94	94.03	93.58	93.10	93.01
Fibra detergente neutro, % MS	41.37	39.44	33.41	13.58	13.14	13.98
Fibra detergente ácido, % MS	21.42	20.76	16.81	2.05	2.03	2.06
Cenizas, % de MS	1.45	1.37	0.65	0.46	0.12	0.05
Proteína Cruda, % de MS	18.04	19.96	22.05	11.68	10.53	10.59

* P1, P2, P3 = periodos experimentales.

El registro de la producción de leche (durante la fase de medición), se realizó con medidores automáticos Alfa Laval®, de manera individual en las ordeñas matutina y vespertina, durante nueve días no consecutivos, los cuales se dividieron en 3 d de medición seguidos de 3 d descanso y así de forma repetida durante la fase de mediciones. El análisis de composición de la leche se realizó tomando una muestra individual con ayuda del muestreador automático Alfa Laval®, posteriormente fueron transportadas en viales plásticos y se analizaron con el equipo MilkoScan®. A cada muestra se le determinó la concentración de grasa, proteína y sólidos totales.

Para estimar la producción de leche por hectárea se consideró la producción de leche individual y la carga animal del ciclo de pastoreo correspondiente a cada potrero. La carga animal se estimó mediante la ecuación 1.

$$CA = CI * PO / (PO + PD) \quad (1)$$

Donde:

CA = carga animal [vacas⁻¹ ha⁻¹ (ciclo de pastoreo)]

CI = carga instantánea (vacas⁻¹ ha⁻¹)

PO = Periodo de ocupación (d)

PD = Periodo de descanso (d)

El peso vivo (PV) de las vacas se registró inmediatamente después de terminada la ordeña matutina, tres días al inicio y tres días al final de cada periodo, con una báscula electrónica TruTest® Nueva Zelanda, con exactitud de 1 kg y capacidad para 1000 kg. El cambio de peso vivo se calculó como la diferencia entre los pesajes de inicio y fin de cada periodo. Al finalizar cada pesaje se pasaron las vacas al corral de alimentación, para registrar, por tres observadores entrenados, la condición corporal (CC) con escala de 1 a 5 (García & Hippen, 2008). El cambio de condición corporal se calculó como la diferencia entre las estimaciones de inicio y fin de cada periodo.

El modelo estadístico utilizado incluyó efectos del periodo, lote y tratamiento. (Ecuación 2)

$$Y_{ijk} = \mu + \text{Periodo}_i + \text{Lote}_j + \text{Tratamiento}_k + E_{ijk} \quad (2)$$

Donde

Y_{ijk} representó el valor promedio a través de vacas y días de medición de PV, CC, CA, producción individual, contenido de grasa, proteína y sólidos totales. Para el análisis de las variables de respuesta se utilizó el procedimiento GLM de SAS (SAS, 2004). Las medias para PV y CC fueron contrastadas por periodos, para el resto de las variables el contraste fue por tratamientos, mediante la instrucción LSMEANS.

3.5 Resultados y discusión

En el Cuadro 5 se muestran los resultados para las masas de FO y FR del pastoreo con vacas suplementadas con diferente nivel de concentrado. Se detectó un descenso en la masa de FO conforme avanzó el periodo de ocupación, que está relacionado con la disminución de la tasa de acumulación desde fines de verano hasta fines de otoño (Amendola et al., 2002). En la masa de FR ese efecto no se presentó, debido al criterio de manejo empleado (8 cm de altura de residual).

Cuadro 5 Masas promedio (kg MS ha⁻¹) de forraje ofrecido y residual por encima de 8 cm de altura en los tres períodos del experimento.

Parámetro	Periodo ^Z	Media	DE ^Y	EE ^X
Forraje Ofrecido	P1	1821	198	114
	P2	1460	86	50
	P3	1146	66	38
Forraje Residual	P1	576	100	58
	P2	351	22	13
	P3	402	74	43

^Z P1, P2, P3 = periodos del experimento.

^Y DE = desviación estándar.

^X EE= error estándar.

La proporción de alfalfa en el FO de las praderas de alfalfa-ovillo (Cuadro 6), fue menor en P1 que en los otros dos periodos; de forma lógica, en una mezcla binaria con la de ovillo ocurrió, lo contrario. Estos cambios están asociados a las diferencias estacionales en tasas de crecimiento de ambas especies, que resultan en mayor proporción de ovillo durante primavera y verano, tal como reportó Jiménez (2015). Por otra parte, el manejo de pastoreo utilizado, más controlado que en la gestión cotidiana del Módulo de Producción de Leche en Pastoreo, debió implicar un aumento en la intensidad de defoliación, lo que conduce a predominio de alfalfa (Améndola et al., 2018), este efecto pudo estar relacionado con el cambio en composición botánica reportado en el Cuadro 6.

Cuadro 6 Composición botánica promedio del forraje ofrecido durante los periodos^Z estudiados.

Periodo	Componente (%)					
	Alfalfa			Ovillo	Maleza	Material Muerto
	Hoja	Flor	Tallo			
P1	28.5	1.2	18.8	45.5	1.5	4.5
P2	43.1	0	30.4	25.6	0.2	0.7
P3	42.4	0	29.5	26.8	1.2	0.1

^Z P1, P2, P3 = periodos del experimento.

En el Cuadro 7 se muestran los resultados en cambios de PV y CC. Entre los tratamientos estudiados no se detectaron diferencias ($P > 0.05$); sin embargo, a medida que avanzó el periodo experimental, consistentemente se redujo el PV y la CC de las vacas. Estos cambios están relacionados con la reducción en FO y falta de cambio en FR (Cuadro 4), lo que, conforme a lo indicado por Lantinga et al., (2004), necesariamente implicó una reducción en el consumo aparente de forraje, con consecuencias negativas sobre PV y CC.

Cuadro 7 Cambio de peso vivo (PV en kg) y condición corporal (CC) en vacas lecheras en pastoreo suplementadas, durante los periodos^z estudiados.

Parámetro	Periodo			Media	EE ^y
	P1	P2	P3		
Cambio de PV	2.36	1.70	1.09	1.71	0.19
Cambio de CC	0.13	0.11	0.01	0.08	0.02

^z P1, P2, P3 = periodos del experimento.

^y EE= error estándar.

En el Cuadro 8 se muestra la producción de leche de vacas en forma individual, la cual aumentó ($P < 0.0001$) en $0.796 \text{ kg leche kg}^{-1} \text{ MS de concentrado}$ al pasar de 2.5 a $5 \text{ kg MS de concentrado vaca}^{-1} \text{ d}^{-1}$; sin embargo, el cambio en $0.398 \text{ kg leche kg}^{-1} \text{ MS de concentrado}$ obtenido al incrementar de 5 a $7.5 \text{ kg MS de concentrado vaca}^{-1} \text{ d}^{-1}$, no fue significativo, respuesta de incrementos decrecientes coincidente con la reportada por Baudracco et al. (2010). Contrario a lo reportado por otros autores (Auld et al., 2013; Bargo et al., 2002; Pulido et al., 2010) sobre la reducción del contenido de grasa y aumento del de proteína en respuesta al incremento en suplementación con concentrado, en el presente estudio, no se detectaron diferencias ($p > 0.05$) en la composición de la leche (grasa, proteína, sólidos totales) por el incremento en el nivel de suplementos utilizado.

Cuadro 8 Producción y composición de leche en vacas lecheras en pastoreo suplementadas con diferentes niveles de concentrado.

Parámetro	Tratamiento ^Y			Media	EE ^Z
	2.5	5.0	7.5		
Producción de leche, L vaca ⁻¹ d ⁻¹	19.44 ^b	21.43 ^a	22.20 ^a	21.02	0.50
Proteína, %	3.34	3.25	3.22	3.27	0.05
Grasa, %	3.84	3.79	3.79	3.80	0.14
Sólidos Totales, %	12.42	12.37	12.42	12.40	0.19

^Y=kg MS de concentrado vaca⁻¹ d⁻¹

^Z EE= error estándar. Medias con un mismo superíndice dentro de la hilera no son diferentes (P<0.0001).

En la figura 1 se presenta la respuesta de aumento (P<0.05) en CA al incrementar el nivel de suplementación, como consecuencia del criterio de manejo de pastoreo empleado (Amendola et al., 2002).

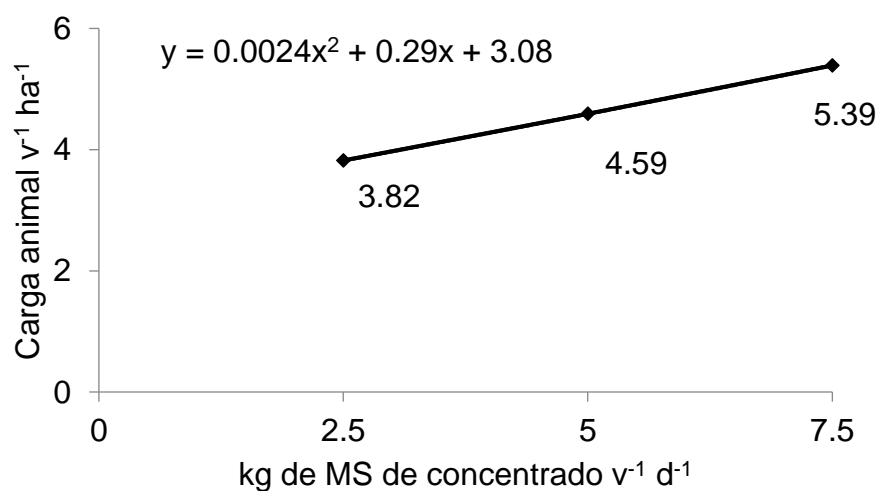


Figura 1 Carga animal de vacas lecheras suplementadas con diferentes niveles de concentrado.

La respuesta en producción de leche por hectárea fue lineal ($P < 0.05$) y está en concordancia con el nivel de suplementación suministrado (Figura 2). Esta respuesta se compuso de los incrementos en producción individual y CA. Al comparar las respuestas a los niveles extremos de 2.5 y 7.5 kg MS de concentrado vaca⁻¹ d⁻¹, el incremento en CA fue 46% en tanto que el de producción individual fue 14%; por su parte el incremento en producción de leche por hectárea fue 67%. Esta relación en la composición del incremento en producción por ha, implica que el aumento en producción individual fue de menor importancia que el aumento en CA. Este resultado es relevante ya que CA es una variable que por lo regular no se ha contemplado en la mayor parte de los estudios sobre suplementación con concentrado en sistemas lecheros pastoriles.

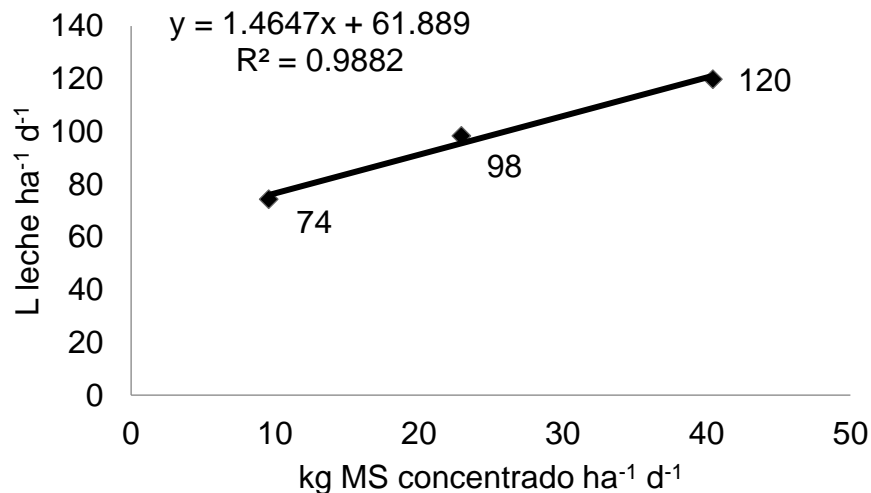


Figura 2 Producción de leche por hectárea de vacas lecheras suplementadas con diferentes niveles de concentrado.

3.6 Conclusiones

El criterio de manejo permitió estimar la respuesta a la suplementación en carga animal y producción de leche por hectárea. Al considerar la respuesta a suplementación en litros por hectárea, ésta fue superior a la respuesta individual, lo que indica la necesidad de considerar el impacto del efecto

sustitutivo y su efecto sobre la carga animal en la evaluación de la respuesta biológica y económica del sistema a la suplementación. La carga animal, variable esencial en la determinación de productividad de los sistemas pastoriles regularmente se considera variable independiente, este estudio demostró la utilidad de considerarla variable dependiente.

3.7 Literatura citada

Albarrán, M., Balocchi, O. A., Noro, M., Wittwer, F., & Pulido, R. G. (2016). Effect of the type of silage on milk yield, intake and rumen metabolism of dairy cows grazing swards with low herbage mass. *Animal Science Journal*, 87(7), 878-884. doi:10.1111/asj.12513.

Amendola, R. D., Martínez-Valenzuela, F., Burgueño-Ferreira, J. A., & Martínez-Hernández, P. A. (2002). A dairy system based on forages and grazing in temperate Mexico. *Supplementary feeding with concentrates* (pp. 139-176). Wageningen, The Netherlands.

Améndola-Massiotti, R. D., Jiménez-Rosales, J. D., Burgueño-Ferreira, A., Ramírez-Valverde, R., Vázquez-Hernández, I., Valerio-Hernández, J. E., & Huerta-Bravo, M. (2018). Composition of herbage consumed in mixed sequential grazing of cows with ewes as followers. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1), 1418-1423. doi:10.10180/09712119.2018.1520112.

AOAC, (2005). *Official Methods of Analysis of Association of Official Agricultural Chemists*. (Eighteen edit). AOAC International, Washington, D. C.

Auldish, M. J., Marett, L. C., Greenwood, J. S., Hannah, M., Jacobs, J. L., & Wales, W. J. (2013). Effects of different strategies for feeding supplements on milk production responses in cows grazing a restricted pasture allowance. *Journal of Dairy Science*, 96(2), 1218-1231. doi:10.3168/jds.2012-6079.

- Bargo, F. (2003). Suplementación en pastoreo: conclusiones sobre las últimas experiencias en el mundo [pdf]. Disponible en: <https://www.agro.uba.ar/sites/default/files/catedras/bargo.pdf>. Consultado en enero, 2019.
- Bargo, F., Muller, L. D., Delahoy, J. E., & Cassidy, T. W. (2002). Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows grazing at two pasture allowances. *Journal of dairy science*, 85(7), 1777-1792.
- Baudracco, J., López-Villalobos, N., Holmes, C. W., & Macdonald, K. A. (2010). Effects of stocking rate, supplementation, genotype and their interactions on grazing dairy systems: A review. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 53(2), 109-133. doi:10.1080/00288231003777665.
- Bonnet, O., Hagenah, N., Hebbelmann, L., Meuret, M., & Shrader, A. M. (2011). Is hand plucking an accurate method of estimating bite mass and instantaneous intake of grazing herbivores?. *Rangeland ecology & management*, 64(4), 366-374. doi:10.2111/RED-D-10-00186.
- Decruyenaere, V., Buldgen, A., & Stilmant, D. 2009. Factors affecting intake by grazing ruminants and related quantification methods: a review. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 13(4), 559-573.
- Elizalde, J. C., 2003. Suplementación en condiciones de pastoreo. Jornada de Actualización Ganadera Balcarce. Disponible en: http://www.produccionbovina.com.ar/informacion_tecnica/invernada_o_engorde_pastoril_o_a_campo/56-suplementacion_campo.pdf. Consultado en junio 2019.
- Fariña, S. R., Garcia, S. C., Fulkerson, W. J., & Barchia, I. M. (2011). Pasture-based dairy farm systems increasing milk production through stocking rate or milk yield per cow: pasture and animal responses. *Grass and Forage Science*, 66(3), 316-332.

- Garcia, A., & Hippen, A. (2008). Feeding dairy cows for body condition score. *Extensión Extra*, 137.
- García, E. 2004. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köpen*. (Quinta edición). Instituto de Geografía-UNAM; D.F. México.
- Jiménez, R., J. D. (2015). Pastoreo Mixto de vacas lecheras con borregas como seguidoras en alfalfa-ovillo. Tesis, Maestría en Ciencias, Universidad Autónoma Chapingo, México. 67.
- Lantinga, E. A., Neuteboom, J. H., & Meijs, J. A. C. (2004). Sward methods. In Penning P. (Ed.), *Herbage intake handbook* (pp 23-52). The British Grassland Society. Hurley, England.
- Pulido, R. G., Muñoz, R., Jara, C., Balocchi, O. A., Smulders, J. P., Wittwer, F., ... & O'Donovan, M. (2010). The effect of pasture allowance and concentrate supplementation type on milk production performance and dry matter intake of autumn-calving dairy cows in early lactation. *Livestock Science*, 132(1-3), 119-125.
- SAS Institute. (2004). *SAS/ETS 9.1 User's Guide*. SAS Institute. Cary, North Carolina, USA.