



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**

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

**POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

**MOMENTO DE SUPLEMENTACIÓN CON CONCENTRADO  
SOBRE PRODUCCIÓN DE LECHE POR HECTÁREA,  
COMPORTAMIENTO INGESTIVO Y CONSUMO**

**TESIS**

Que como requisito parcial  
para obtener el grado de:

**DOCTORA EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA**

Presenta:

**CITLALI ANAIS CASTRO JAIME**

Bajo la supervisión de: **Ricardo Daniel Améndola M**



Chapingo, Estado de México, junio de 2024.



**APROBADA**



**MOMENTO DE SUPLEMENTACIÓN CON CONCENTRADO SOBRE  
PRODUCCIÓN DE LECHE POR HECTÁREA, COMPORTAMIENTO  
INGESTIVO Y CONSUMO**

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:

**DOCTOR EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA**

DIRECTOR:   
Ph.D. RICARDO DANIEL AMÉNDOLA MASSIOTTI

ASESOR:   
Dr. JUAN ANDRÉS BURGUEÑO FERREIRA

ASESOR:   
Ph.D. RODOLFO RAMÍREZ VALVERDE

ASESOR:   
Dr. LUIS ALBERTO MIRANDA ROMERO

ASESOR:   
Dr. JACINTO EFREN RAMÍREZ BRIBIESCA

## CONTENIDO

|                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| LISTA DE CUADROS .....                                         | 6         |
| LISTA DE FIGURAS .....                                         | 8         |
| DEDICATORIAS .....                                             | 9         |
| AGRADECIMIENTOS .....                                          | 10        |
| DATOS BIOGRÁFICOS .....                                        | 11        |
| RESUMEN GENERAL .....                                          | 12        |
| GENERAL ABSTRACT .....                                         | 13        |
| <b>1 INTRODUCCIÓN GENERAL.....</b>                             | <b>14</b> |
| <b>2 REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>                          | <b>18</b> |
| 2.1 Suplementación en pastoreo .....                           | 18        |
| 2.2 Suplementación con concentrado en pastoreo .....           | 19        |
| 2.3 Momento de la suplementación con concentrado.....          | 21        |
| 2.4 Comportamiento ingestivo en pastoreo a través del día..... | 22        |
| 2.5 Composición del forraje a través del día.....              | 24        |
| 2.6 Respuesta en leche al momento de la suplementación.....    | 26        |
| 2.7 Literatura citada .....                                    | 27        |
| <b>3 EFECTO SUSTITUTIVO EN LA SUPLEMENTAIÓN DE BOVINOS</b>     |           |
| <b>LECHEROS EN PASTOREO .....</b>                              | <b>32</b> |
| 3.1 Resumen .....                                              | 32        |

|          |                                                                                                  |           |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2      | Resumo .....                                                                                     | 33        |
| 3.3      | Abstract.....                                                                                    | 33        |
| 3.4      | Introducción .....                                                                               | 34        |
| 3.5      | Efecto sustitutivo.....                                                                          | 35        |
| 3.6      | Producción individual.....                                                                       | 37        |
| 3.7      | Carga animal y producción por hectárea .....                                                     | 38        |
| 3.8      | Viabilidad económica de la suplementación .....                                                  | 39        |
| 3.9      | Disponibilidad de forraje .....                                                                  | 41        |
| 3.10     | Composición nutricional del forraje.....                                                         | 43        |
| 3.11     | Asignación diaria de forraje y tiempos de acceso a la pradera.....                               | 44        |
| 3.12     | Suplementación con concentrado.....                                                              | 45        |
| 3.13     | Características del animal.....                                                                  | 47        |
| 3.14     | Cambios en el comportamiento de ingestión .....                                                  | 48        |
| 3.15     | Conclusiones .....                                                                               | 51        |
| 3.16     | Agradecimientos y conflicto de interés.....                                                      | 52        |
| 3.17     | Contribuciones de los autores .....                                                              | 52        |
| 3.18     | Literatura citada .....                                                                          | 52        |
| <b>4</b> | <b>TIMING OF SUPPLEMENTATION ON INTAKE AND INGESTION<br/>BEHAVIOR OF GRAZING DAIRY COWS.....</b> | <b>62</b> |
| 4.1      | Summary .....                                                                                    | 63        |

|                                                                                                                                     |                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 4.2 Introduction .....                                                                                                              | 63             |
| 4.3 Materials and Methods.....                                                                                                      | 64             |
| 4.4 Results.....                                                                                                                    | 68             |
| 4.5 Discussion .....                                                                                                                | 72             |
| 4.6 Conclusion .....                                                                                                                | 75             |
| 4.7 References .....                                                                                                                | 75             |
| <br><b>5 MOMENTO DE LA SUPLEMENTACIÓN SOBRE CARGA ANIMAL Y PRODUCCIÓN DE LECHE POR HECTÁREA DE VACAS HOLSTEIN EN PASTOREO .....</b> | <br><b>79</b>  |
| 5.1 Resumen .....                                                                                                                   | 79             |
| 5.2 Abstract.....                                                                                                                   | 80             |
| 5.3 Introducción .....                                                                                                              | 81             |
| 5.4 Material y métodos .....                                                                                                        | 82             |
| 5. 5 Resultados y discusión .....                                                                                                   | 87             |
| 5.6 Conclusión .....                                                                                                                | 97             |
| 5. 7 Literatura citada .....                                                                                                        | 97             |
| <br><b>6 CONCLUSIONES .....</b>                                                                                                     | <br><b>103</b> |

## LISTA DE CUADROS

| <b>Cuadro</b> | <b>Capítulo</b> | <b>Título</b>                                                                                                                                       | <b>Pág.</b> |
|---------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 1             | 3               | Tasa de sustitución como respuesta a la suplementación de bovinos lecheros en pastoreo.                                                             | 38          |
| 2             | 3               | Comportamiento ingestivo como respuesta a la suplementación.                                                                                        | 51          |
| 1             | 4               | Average botanical and morphological composition of herbage on offer.                                                                                | 70          |
| 2             | 4               | Chemical composition (% DM) of herbage and concentrate in winter.                                                                                   | 71          |
| 3             | 4               | Chemical composition (% DM) of herbage and concentrate in spring-summer.                                                                            | 71          |
| 4             | 4               | Total and herbage intake (kg DM d <sup>-1</sup> ) of grazing dairy cows supplemented with concentrate at contrasting times of the day.              | 72          |
| 5             | 4               | Percentage grazing of dairy cows supplemented at contrasting times of the day.                                                                      | 74          |
| 1             | 5               | Horario promedio de las actividades de gestión de las vacas lecheras en pastoreo suplementadas con concentrado.                                     | 86          |
| 2             | 5               | Alturas de forraje residual (cm) medidas con disco descendente.                                                                                     | 89          |
| 3             | 5               | Masa promedio de forraje ofrecido y residual (kg MS ha <sup>-1</sup> ) por encima de 8 cm de altura del experimento en invierno y primavera-verano. | 90          |
| 4             | 5               | Composición nutricional (% MS) del forraje y el concentrado consumidos por vacas lecheras en pastoreo.                                              | 92          |
| 5             | 5               | Cambio de peso vivo (PV en kg) y condición corporal (CC) en vacas lecheras en pastoreo suplementadas, en los tratamientos <sup>£</sup> estudiados.  | 93          |
| 6             | 5               | Producción y composición de leche en vacas lecheras en pastoreo suplementadas con concentrado en diferentes momentos del día.                       | 95          |

|   |   |                                                                                                                             |    |
|---|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7 | 5 | Carga animal de vacas lecheras (vacas ha <sup>-1</sup> por ciclo de pastoreo) suplementadas en diferentes momentos del día. | 97 |
|---|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## LISTA DE FIGURAS

| <b>Figura</b> | <b>Capítulo</b> | <b>Título</b>                                                                                                                                         | <b>Pág.</b> |
|---------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 1             | 4               | Daily grazed areas ( $\text{m}^2$ group <sup>-1</sup> ) of dairy cows supplemented with concentrate at contrasting times of the day.                  | 72          |
| 2             | 4               | Ingestive behavior of dairy cows supplemented at different moments after milkings (AM, PM, divided AM-PM,) during winter (W) and spring-summer (S-S). | 73          |
| 1             | 5               | Producción de leche por hectárea de vacas lecheras suplementadas en diferentes momentos.                                                              | 98          |

## DEDICATORIAS

A dios que siempre me acompaña en mi familia.

A mi amado esposo Gabriel, en reconocimiento por su trabajo diario en nuestra familia y que con amor cuidó de mí en este trayecto; sé que su objetivo siempre es hacerme feliz.

A mi hijo Maximiliano, quien gracias a sus grandes manifestaciones de amor me dio la energía que en momentos me hizo falta. Maxi, esto es prueba de que todo esfuerzo tiene su recompensa, vuela tan alto como lo desees amor.

A mi mamita, papi y hermanas, que son cómplices de este atrevimiento, pues siempre han creído en mi capacidad y me han hecho ser una mujer fuerte.

A María Gloria Ramírez García †, por su apoyo, cuidados, amor y respeto. Me faltó tiempo a su lado, gracias por ser parte de esto, besos hasta el cielo.

A mí misma, porque demostré que puedo volar más alto de lo que creí y logré un sueño tomada de la mano de mi familia, soy afortunada por tenerlos a mi lado.

*Con amor, Citlali Anais.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A los mexicanos, que al pagar impuestos han hecho posible que el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología haya financiado mi formación académica.

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

A la Universidad Autónoma Chapingo por haberme dado la oportunidad de poder realizar mis estudios de doctorado en el Posgrado en Producción Animal, del Departamento de Zootecnia

Al Ph.D. Ricardo Daniel Améndola Massiotti por ser mi guía, orientador y consejero, por cuidar mis pasos y decisiones en esta investigación. Por ser un modelo para honrar y porque siempre encontré su mano para salir adelante en momentos críticos y afecto en sus detalles. Lo quiero mucho.

A mis asesores Dr. Juan Andrés Burgueño Ferreira por su apoyo en el análisis estadístico, Ph.D. Rodolfo Ramírez Valverde por sus valiosas observaciones y consejos, Dr. Luis Alberto Miranda Romero por su apoyo y enseñanzas, Dr. Jacinto Efrén Ramírez Bribiesca por su compromiso y participación en este trabajo.

Al Ph.D. Rafael Núñez Domínguez por el acompañamiento y apoyo en mi estancia en el doctorado, mi respeto y admiración hacia su persona y trabajo.

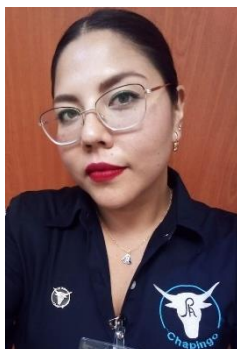
A la Dra. María Magdalena Crosby Galván y a la Ing. Elsa Margarita Crosby Galván por la confianza y por su valiosa orientación en laboratorio.

Al Dr. Juan Daniel Jiménez Rosales y Dr. Jonathan Avilés Nieto por el tiempo, apoyo, disposición y por compartir sus conocimientos. Sus participaciones fueron clave en esta investigación.

A mis tesistas Santiago, Karla, Kimberly, Saraí, Javier, Kristal, Adriana y Gerardo, por su compromiso, responsabilidad y apoyo en las fases de campo.

A Gabriel Maya Ramírez por compartir sus conocimientos, por el amor y cuidados hacía mi persona.

## 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 Zootecnista |
| Cédula Profesional  | 7560693                        |

### Desarrollo académico

|                                      |                                                                                             |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Doctorado en Ciencias<br>(2020-2023) | DEIS en Zootecnia<br>Posgrado en Producción Animal<br>Universidad Autónoma Chapingo         |
| Maestría en Ciencias<br>(2018-2019)  | DEIS en Zootecnia<br>Posgrado en Producción Animal<br>Universidad Autónoma Chapingo         |
| Licenciatura<br>(2007-2011)          | Medicina Veterinaria y Zootecnia<br>Universidad Autónoma Metropolitana<br>Unidad Xochimilco |

## RESUMEN GENERAL

### MOMENTO DE LA SUPLEMENTACIÓN CON CONCENTRADO EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE EN PASTOREO<sup>1</sup>

La respuesta a suplementación es afectada por el consumo de forraje y la eficiencia en la utilización de nutrientes; también por el manejo del pastoreo y las modificaciones diurnas en comportamiento ingestivo. Se revisó literatura reciente sobre el Efecto Sustitutivo i.e. el forraje que no consume el animal por haber consumido suplemento, éste es factor de la respuesta productiva a la suplementación. Se realizaron dos experimentos, en invierno y primavera-verano, se evaluó la respuesta de vacas Holstein Neozelandés a la oferta del concentrado (5.0 kg de MS vaca<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) en tres momentos diversos del día, luego de la ordeña matinal (AM), vespertina (PM), y dividido entre ambas ordeñas (AM-PM). Las variables respuesta fueron consumo de forraje, comportamiento ingestivo, producción individual, carga animal y producción de leche por hectárea. El criterio de manejo del pastoreo rotacional fue 8 cm de altura de forraje residual. En invierno no hubo efecto ( $p>0.05$ ) sobre consumo, pero durante primavera-verano éste fue 8.1 % menor ( $p<0.005$ ) con AM. En tiempo total de pastoreo, rumia y otras actividades no hubo efecto ( $p>0.5$ ). Las vacas AM pastaron 63 % de su área de pastoreo de tarde, mientras que, en promedio, los otros tratamientos presentaron 49 % de pastoreo matinal. Los contenidos de FND y FDA en forraje fueron menores en la tarde; el mayor pastoreo vespertino implicó forraje con 31.1 % FDA *versus* 34.4 % del forraje matinal. No hubo efecto ( $p>0.05$ ) sobre carga animal. La producción de leche individual de AM fue 10.2 % mayor a los otros tratamientos en invierno ( $p=0.0002$ ), y en primavera-verano ( $p<0.0001$ ). Con el manejo de pastoreo utilizado se logró similar eficiencia de utilización de la pradera, y estimar carga animal y producción de leche por hectárea. La variante tecnológica AM incrementó 9 % la producción de leche por hectárea, debido a la respuesta individual y no a diferencias en carga animal.

**Palabras clave:** efecto sustitutivo, carga animal, consumo, producción por hectárea, comportamiento ingestivo

---

<sup>1</sup> Tesis de Doctorado en Ciencias en Innovación Ganadera, Posgrado en Producción Animal  
Universidad Autónoma Chapingo  
Autor: Citlali Anais Castro Jaime  
Director: Ricardo Daniel Améndola Massiotti

## GENERAL ABSTRACT

### TIMING OF SUPPLEMENTATION WITH CONCENTRATE IN GRAZING DAIRY SYSTEMS<sup>2</sup>

The response to supplementation is affected by forage intake and nutrient utilization efficiency; also, by grazing management and diurnal modifications in ingestive behavior. Recent literature was reviewed on the Substitution Effect, i.e. the forage not consumed by the animal because of supplementation, this is a factor in the productive response to supplementation. Two experiments were conducted, in winter and spring-summer, to evaluate the response of New Zealand Holstein cows to concentrate ( $5.0 \text{ kg DM cow}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ) at three different times of the day, after the morning milking (AM), evening milking (PM), and divided between both milkings (AM-PM). The response variables were forage consumption, intake behavior, individual production, stocking rate and milk production per hectare. The management criterion for rotational grazing was 8 cm of residual forage height. In winter there was no effect ( $p>0.05$ ) on intake, but during spring-summer it was 8.1 % lower ( $p<0.005$ ) with AM. There was no effect on total grazing time, rumination and other activities ( $p>0.5$ ). AM cows grazed 63 % of their grazing area in the afternoon, while, on average, the other treatments had 49% morning grazing. NDF and FDA contents in forage were lower in the afternoon; the higher afternoon grazing involved forage with 31.1 % FDA versus 34.4 % of the morning forage. There was no effect ( $p>0.05$ ) on stocking rate. Individual milk production of AM was 10.2 % higher than the other treatments in winter ( $p=0.0002$ ), and in spring-summer ( $p<0.0001$ ). The grazing management used achieved similar pasture utilization efficiency, and estimated stocking rate and milk production per hectare. The AM technology variant increased milk production per hectare by 9 %, due to individual response and not to differences in stocking rate.

**Keywords:** substitution rate, stocking rate, forage intake, production per hectare, ingestive behavior

---

<sup>2</sup> Doctoral Thesis in Livestock Innovation, Graduate Program in Animal Production, Universidad Autonoma Chapingo

Author: Citlali Anaís Castro Jaime

Advisor: Ricardo Daniel Améndola Massiotti

# 1 INTRODUCCIÓN GENERAL

Un sistema de producción de leche en pastoreo requiere optimizar la producción de materia seca (MS) de las praderas, al utilizar el forraje disponible de forma eficiente, y sin descuidar la productividad de las vacas, permitiendo una producción rentable en climas templados (Bargo, 2003), con el objetivo de ser una opción para reducir costos (Amendola, 2002). No obstante, los cambios en genotipo animal, y las restricciones a la composición del suplemento y forraje en la pradera, en términos de producción de leche por hectárea y comportamiento ingestivo, hacen necesaria una actualización sobre este tema.

En un sistema de pastoreo el acceso limitado de los animales al forraje los obliga a consumir mayor cantidad de pasto en menor tiempo, modificando la dinámica ruminal (Gregorini, Gunter, Beck, Soder, & Tamminga, 2008) y la producción de leche (McLeod et al., 2009). Al mismo tiempo, la ingesta de energía es un factor limitante de la productividad (Waghorn, Burke, & Kolver, 2007); sobre todo durante los meses de invierno en donde la producción de forraje es restrictiva para los sistemas de alta producción de leche (Amendola, 2002).

La suplementación con concentrado es una estrategia empleada para mantener el equilibrio en el sistema de alimentación en pastoreo, debido a que el concentrado como suplemento puede suministrar nutrientes al animal de manera adicional en igual o mayor concentración que el forraje (Clark & Woodward, 2007; Riquelme & Pulido, 2008). Además, se considera una estrategia de alimentación complementaria a las restricciones de tiempo en pastoreo y puede usarse para aumentar el consumo total de MS y energía metabolizable (EM) (Sheahan, Gibbs, & Roche, 2013), manteniendo la producción de leche (Soca et al., 2014).

Sin embargo, la respuesta en la producción de leche a la suplementación varía de forma considerable debido a una reducción en el consumo de materia seca (CMS) de forraje (Bargo, Muller, Kolver, & Delahoy, 2003; Stockdale, 2000). Lo anterior, se debe a que al aumentar el CMS de suplementos alimenticios de vacas lecheras en pastoreo, disminuyen el CMS de forraje en la pradera, a tal efecto se le denomina

sustitución (Bargo et al., 2003). Una alternativa de manejo en los sistemas de pastoreo es ofertar la suplementación con concentrado en un momento determinado del día, este método puede afectar el nivel de sustitución (Gekara, Prigge, Bryan, Nestor, & Seidel, 2005; Sheahan, et al., 2013) y con esto la productividad.

Tal estrategia deriva del comportamiento en pastoreo y de la composición de forraje a través del día. Sheahan et al. (2013) indican que las vacas pastorean con mayor intensidad antes de la puesta del sol, independientemente de la cantidad de suplemento suministrada, por lo que plantean que la tasa de sustitución sería menor y la respuesta al suplemento mayor según sea el momento de oferta debido a factores; fisiológicos, de comportamiento, consumo y de la composición del forraje. Por ello, se presenta un mayor aprovechamiento de forraje por la tarde, pues hay mayor valor nutritivo en la pradera (Soca et al., 2014). Al respecto, Gregorini (2012) indica que el pastoreo vespertino es más amplio y significativo para el consumo de forraje, atribuido a diferentes procesos como la fotosíntesis, acumulación de MS, carbohidratos y ácidos grasos que facilitan la descomposición de las partículas de forraje durante las fases iniciales de la digestión.

Con base en lo anterior, el objetivo fue evaluar el impacto del momento de la suplementación con concentrado sobre la respuesta biológica, productiva y económica del sistema de producción de leche en pastoreo. Al respecto se incluyen, en el Capítulo 2, una revisión de literatura sobre sistemas, elementos y procesos a considerar en la toma de decisiones sobre el uso de la suplementación en un momento determinado del día. El Capítulo 3, presenta una reseña de las interacciones, consecuencia de la tasa de sustitución debida al suplemento por sistema de producción. Los capítulos 4 y 5 incluyen los resultados obtenidos en este estudio, y finalmente, en el Capítulo 6 se exponen las conclusiones obtenidas de los trabajos de investigación.

## 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. <https://edepot.wur.nl/198963>
- Bargo, F. (2003). Suplementación en pastoreo: conclusiones sobre las últimas experiencias en el mundo [pdf]. Consultado en enero, 2019, en <https://www.agro.uba.ar/sites/default/files/catedras/bargo.pdf>.
- 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.
- 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.
- Gekara, O. J., Prigge, E. C., Bryan, W. B., Nestor, E. L., & Seidel, G. (2005). Influence of sward height, daily timing of concentrate supplementation, and restricted time for grazing on forage utilization by lactating beef cows. *Journal of Animal Science*, 83(6), 1435-1444.
- Gregorini, P. (2012). Diurnal grazing pattern: its physiological basis and strategic management. *Animal Production Science*, 52(7), 416-430.
- Gregorini, P., Gunter, S. A., Beck, P. A., Soder, K. J., & Tamminga, S. (2008). The interaction of diurnal grazing pattern, ruminal metabolism, nutrient supply, and management in cattle. *The Professional Animal Scientist*, 24(4), 308-318.
- McLeod, K. L. M., Clark, C. E. F., Glassey, C. B., Gregorini, P., Costall, D. A., Betteridge, K., & Jago, J. G. (2009). Strategically reducing time on pasture: dairy cow intake, production, welfare, and excretory behaviour. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 69, 15-19.
- 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.
- Sheahan, A. J., Gibbs, S. J., & Roche, J. R. (2013). Timing of supplementation alters grazing behavior and milk production response in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 96(1), 477-483.
- Soca, P., González, H., Manterola, H., Bruni, M., Mattiauda, D., Chilibroste, P., & Gregorini, P. (2014). Effect of restricting time at pasture and concentrate supplementation on herbage intake, grazing behaviour and performance of lactating dairy cows. *Livestock Science*, 170, 35-42.
- Stockdale, C. R. (2000). Levels of pasture substitution when concentrates are fed to grazing dairy cows in northern Victoria. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 40:913-921.

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.

## **2 REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Suplementación en pastoreo**

Los sistemas de pastoreo intensivo deben proveer a través del año el forraje producido en las praderas para la alimentación del ganado. Dichos sistemas son opciones para reducir los costos de producción (Soriano, Polan, & Miller, 2001), y una de las formas más eficientes de alimentación debido a que los forrajes de las praderas son la fuente de nutrientes de menor costo. Elizalde (2003) menciona que aun cuando la utilización del forraje sea óptima existirán variaciones condicionadas por la producción de forraje. Por ejemplo, un factor limitante de la productividad de los animales en praderas templadas es la ingesta de energía (Waghorn et al., 2007); debido a que 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).

En los sistemas de pastoreo, existen dos métodos de manejo alternativo para mejorar el suministro de nutrientes en la dieta de las vacas lecheras a través del año. El primero es el estímulo para el consumo de forraje a través del aumento en la asignación diaria de forraje (ADF) (Peyraud & Delagarde, 2013), y el segundo es mediante la suplementación con concentrado (Reid et al., 2015). Pulido, Felmer e Hinostroza (2006) mencionan que los animales de alto potencial genético para producción de leche en condiciones donde la pradera no es suficiente para cubrir las necesidades nutrimentales, se emplea la suplementación como opción para aumentar los niveles productivos por encima de los obtenidos con el forraje de las praderas.

Horn y Paisley (1998) indican que el objetivo de usar suplementos en la alimentación es adicionar algún elemento en cantidad o calidad que permitan que la producción animal obtenida en pastoreo se mantenga. Por su parte, Stockdale (2000) manifiesta que el objetivo principal de la suplementación a vacas lecheras en pastoreo es aumentar el consumo total de MS y el consumo de energía en comparación con aquellos obtenidos con solo forraje. A su vez, la alimentación con concentrados a vacas lecheras en sistemas basados en pastoreo de pastos

templados se emplea con el principal objetivo de incrementar la rentabilidad (Améndola, 2002). No obstante, algunas investigaciones han mostrado que la suplementación de bovinos en pastoreo disminuye el consumo de forraje en la pradera (Balocchi, Pulido, & Fernández, 2002; Bargo, 2003; Riquelme & Pulido, 2008), sobre todo cuando se ofrece un concentrado como suplemento adicionado a la ADF, a esto se le conoce como efecto sustitutivo (ES) (Reid et al., 2015).

Lo anterior se debe a que la inclusión de suplementos en pastoreo depende de varios factores y muchas veces de la interacción entre ellos. Ruitter et al. (2007) reseñan los siguientes factores: 1) composición y tipo de suplemento, debido a que influye en el consumo, digestión y llenado de rumen; 2) la influencia del suministro de energía por parte del forraje; y 3) la eficiencia en la conversión de nutrientes y utilización del alimento. Estos efectos ocasionados por la inclusión del suplemento pueden resultar aditivos o sustitutivos.

Por ejemplo, un estudio en donde se utilizó ensilado de maíz como suplemento modificó la producción de leche individual, permitiendo un aumento de la carga animal y la producción de leche, utilizando una asignación de forraje baja (18 kg de MS  $v^{-1} d^{-1}$ ) logrando una mayor eficiencia en el uso de forraje (55 %) y una mayor producción de leche por hectárea en comparación con altas asignaciones (30 kg de MS  $v^{-1} d^{-1}$ ) que no permiten incrementar la eficiencia en el uso de forraje (Pérez-Prieto, Peyraud, & Delagarde, 2011). Por lo tanto, el tipo de suplemento empleado también dependerá de las características de la pradera, así como de las condiciones que influyan en la disponibilidad de forraje.

## **2.2 Suplementación con concentrado en pastoreo**

El empleo de suplementos concentrados es común cuando la composición de las especies forrajeras presenta una limitación nutrimental, estos son elaborados con ingredientes proteicos y energéticos en distintos niveles de inclusión que cubran los requerimientos de mantenimiento y producción promedio de los animales (Hills, Wales, Dunshea, Garcia, & Roche, 2014). Por lo anterior, el concentrado es uno de los principales suplementos y en ocasiones el más eficiente al aportar con precisión

el compuesto necesario en la alimentación (Auldist et al., 2013), además de satisfacer las necesidades nutricionales de los animales al suministrar nutrimentos de manera adicional en igual o mayor concentración que el forraje (Clark & Woodward, 2007; Riquelme & Pulido, 2008).

De acuerdo con Delaby, Peyraud y Delagarde (2001), la suplementación con concentrado apoya la expresión del potencial lechero y el aumento de peso corporal en vacas en el momento de la producción. También permite corregir deficiencias que las praderas llegan a expresar durante el invierno aumentando el consumo de MS y nutrientes para la producción de leche, esto se debe a que los concentrados son más fáciles de digerir que el forraje (Bargo, 2003). El efecto de los suplementos sobre el consumo de forraje es descrito por Clark y Woodward (2007), como la mediación a través de modificaciones en el comportamiento alimenticio y especialmente a través de la tasa de consumo y en el tiempo de pastoreo.

El ES derivado de niveles altos de concentrado en vacas en pastoreo genera una reducción en consumo de forraje de entre 0.4 a 0.7 kg MS forraje kg<sup>-1</sup> MS suplemento consumido (Bargo et al., 2003) y que en algunos casos la tasa de sustitución ha sido de 0.92 a 1.25 kg MS forraje para 3 y 9 kg de concentrado respectivamente (Riquelme & Pulido, 2008). Faverdin et al. (1991) indicaron que la respuesta en la tasa de sustitución es debida a factores como el nivel de inclusión del suplemento en la dieta, el tipo y disponibilidad del forraje y las características del concentrado. Además, tal efecto genera un impacto en la rentabilidad del sistema de producción (Bargo, 2003), sobre todo en niveles de suplementación mayores a 10 kg de MS v<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> que afectan al sistema económicamente al depender de insumos externos, comprometiendo la rentabilidad a mediano y largo plazo (Baudracco et al., 2017).

El concentrado es un suplemento que aumenta o mantiene el consumo de MS y contrarresta las restricciones de tiempo de acceso a la pradera, ayudando a mantener el consumo de energía sin efectos negativos sobre la producción de leche (Soca et al., 2014). Un estudio realizado en pastoreo primaveral en vacas lecheras con 20 y 46 kg de leche al momento de la producción, la eficiencia del uso de

concentrado fue de 1.04 kg leche  $\text{kg}^{-1}$  MS de concentrado, manteniéndose estable hasta 4 kg de concentrado, reportando una respuesta constante en comparación con las no suplementadas (Delaby, Peyraud, & Delagarde, 2001). Castro (2020) reportó un aumento ( $p < 0.0001$ ) de 0.796 kg leche  $\text{kg}^{-1}$  MS de concentrado en la respuesta individual en producción de leche de vacas, al pasar de 2.5 a 5 kg MS de concentrado  $\text{v}^{-1} \text{d}^{-1}$ ; sin embargo, al incrementar de 5 a 7.5 kg MS de concentrado  $\text{v}^{-1} \text{d}^{-1}$  incrementó en 0.398 kg leche  $\text{kg}^{-1}$  MS de concentrado obtenido, dicha respuesta en incrementos decrecientes coincidente con la reportada por Baudracco, Lopéz-Villalobos, Holmes y Macdonald (2010).

### **2.3 Momento de la suplementación con concentrado**

El momento de oferta del suplemento asociada con la asignación de pradera influye sobre la sustitución del forraje por el suplemento (Hess, Ludden, Scholljegerdes, & Nayigihugu, 2002; Gekara et al., 2005; Al-Marashdeh, Greenwood, Hodge, & Edwards, 2015) y la producción de leche (Sheahan et al., 2013).

Gekara et al. (2005) refieren que la respuesta de los suplementos de concentrado puede ser afectada por el forraje y el momento de la alimentación del concentrado a través de efectos sobre la digestión de la fibra y otras variables asociadas con la fermentación ruminal, lo anterior derivado de los cambios diurnos en el ambiente ruminal provocados por el patrón de pastoreo del ganado. Al respecto, Sheahan, Kolver y Roche (2011) indican que la disminución de la actividad de pastoreo posterior a la suplementación matutina se debe mayormente a factores neuroendocrinos resultantes de la digestión del alimento que, a factores físicos, y que la puesta de sol señala el final del pastoreo independientemente de la suplementación vespertina.

Por ejemplo, Gregorini, Tamminga y Gunter (2006) precisan la hipótesis donde el deseo de carbohidratos y los síntomas de ansiedad notados con el agotamiento de la serotonina, puede estar relacionado con el estímulo e intensidad de la luz que provoca el largo e intenso pastoreo al atardecer. A su vez, la melatonina también se relaciona con la ingesta y magnitud de las comidas, teniendo respuestas

anticipatorias previas a las mismas (Nikkhah, 2011), por lo que la liberación circadiana de ambas hormonas interdependientes puede ser responsable del patrón de pastoreo diurno en rumiantes (Gregorini, 2012). Lo anterior, indica que las vacas pastorean con mayor intensidad antes de la puesta del sol, independientemente de la cantidad de suplemento suministrada (Sheahan et al., 2013), presentando mayor aprovechamiento de forraje por la tarde pues hay mayor valor nutritivo en la pradera (Soca et al., 2014).

Por otra parte, Gregorini, Soder, y Waghorn (2010) mostraron evidencia que al suplementar 9 horas antes del pastoreo mejora la utilización del N al reducir la concentración ruminal de  $\text{NH}_3$  y al mismo tiempo aumenta el suministro de propionato, lo que ayudaría a mitigar pérdidas contaminantes de N con la misma ADF, por lo tanto, emplear el momento de la suplementación como estrategia de alimentación puede mejorar la utilización de nutrientes suministrados por la pradera.

Sheahan et al. (2013) reportaron que independiente del momento de la suplementación hubo una reducción de la actividad de pastoreo durante el día; sin embargo, detectaron una tendencia de mayor consumo de forraje cuando la suplementación se suministró por la mañana en comparación con la tarde. Los autores concluyeron que es necesario promover el estudio sobre el comportamiento en pastoreo, factores fisiológicos del animal y la producción de leche para comprender el alcance que tiene el momento en que se ofrece el suplemento.

## **2.4 Comportamiento ingestivo en pastoreo a través del día**

La intensidad de la luz estimula la liberación circadiana neural u hormonal, alertando fisiológicamente al animal a comenzar y regular su comportamiento de ingestión y digestión, lo que interactúa con el valor de alimentación del forraje (Beltrán et al., 2019; Gekara et al., 2005; Gregorini, 2012). Adicionalmente, se encuentran conductas en donde hay mayor actividad de pastoreo matutino y vespertino después de la ordeña, que de acuerdo con Rook, Huckle y Penning (1994), se debe probablemente al efecto de ayuno a corto plazo, resultado de la restricción de forraje al retirarse de la pradera entre 30 y 60 minutos en cada ordeño. A pesar de la

restricción las vacas lecheras no están dispuestas a pastar durante los períodos sustanciales de oscuridad, probablemente derivado de una adaptación anti depredadora (Rook et al., 1994).

El patrón de actividades de pastoreo también puede variar debido al desarrollo de actividades como la rumia y el descanso. Dicha variación se desarrolla a lo largo del día y es definida o modificada por elementos como manejo de pastoreo, características del forraje, combinación del pastoreo con otros alimentos (Gibb, Huckle, & Nuthall, 1998; Hodgson, 1985; Orr, Penning, Harvey, & Champion, 1997), o a los cambios diurnos en la composición de nutrientes de los forrajes (Orr et al., 1997). Así mismo, la combinación de estos factores puede afectar el aporte de nutrientes y su posterior utilización (Delagarde, Peyraud, Delaby, & Faverdin, 2000; Orr, Rutter, Yarrow, Champion, & Rook, 2004).

A pesar de la diversidad de los sistemas de producción de leche en pastoreo debida al manejo (extensivo o intensivo) y sus respectivas particularidades, su patrón de pastoreo estará determinado por el inicio, frecuencia y distribución diurno (Gregorini, 2012). Por lo anterior, el enfoque de pastoreo está conformado por ciclos de entre tres a cinco eventos diarios de comida, principalmente temprano por la mañana y al final de la tarde. A su vez, estos sistemas comparten a la suplementación con concentrados como estrategia de alimentación que permitirá maximizar la producción de leche (Meul, Van Passel, Fremaut, & Haesaert, 2012).

Gibb et al. (1998) estudiaron el efecto de la hora del día sobre el consumo de forraje de vacas lecheras en pastoreo no suplementadas, se determinó que la tasa de movimientos mandibulares no se afectó por la hora del día, pero sí resultó en un efecto cuadrático del tiempo en la tasa de bocado, disminuyendo entre las 07.00 h (52.6 min) y las 11.30 h (47.5 min), y luego aumentando a las 16.00 h (51.6 min) para alcanzar un máximo a las 19.00 h (59.4 min). Así mismo, la masa de bocado fue mayor a las 7:00 h debido al menor contenido de MS del forraje y a la presencia de humedad; sin embargo, el efecto de la hora del día no fue significativo. Por lo tanto, dichos resultados muestran que la hora del día tiene efectos significativos sobre la masa y tasa de bocado (Gibb et al., 1998).

En relación con los sistemas que utilizan la suplementación con concentrado, Balocchi et al. (2002) mostraron que en vacas lecheras en pastoreo suplementadas existieron tres ciclos de rumia importantes, el primero cerca del mediodía prolongándose hasta la segunda ordeña, el segundo de las 18:00 h prolongándose durante toda la noche con un periodo intenso a las 22:00 h y el último de madrugada alrededor de las 03:00 h. Por su parte, Sheahan et al. (2011) demostraron que cuando las vacas recibieron suplemento durante el ordeño matutino y vespertino, el tiempo de pastoreo se redujo durante el día, no así antes del atardecer. Lo anterior posiblemente debido a que es el período de pastoreo más intensivo del día (Gibb et al., 1998; Scaglia, Boland, & Wyatt, 2009).

El ES se manifiesta en los cambios sobre el comportamiento en pastoreo, disminuyendo 12 minutos de pastoreo  $\text{kg}^{-1}$  de suplemento de MS consumido (Bargo et al., 2003). Sin embargo, Soca et al. (2014) reportaron que los cambios en el comportamiento de pastoreo en respuesta a la restricción del tiempo en la pradera más la suplementación con concentrado, contrarrestan las restricciones del tiempo restringido de pastoreo, además de mantener el consumo de forraje y energía, sin efectos negativos en la producción de leche. Por lo tanto, el efecto negativo causado por la sustitución puede controlarse mediante el manejo de ambas estrategias.

Gregorini (2012) indica que la alimentación adaptativa en los diferentes horarios, así como el hambre, pueden utilizarse como una herramienta estratégica de manejo de ambas interacciones para modificar la frecuencia, intensidad y distribución temporal de los eventos de pastoreo diurno para intensificar, concentrar y modular el suministro de nutrientes y la productividad del pastoreo.

## **2.5 Composición del forraje a través del día**

Con anterioridad se mencionó que la actividad de pastoreo varía a lo largo del día, en parte la respuesta se debe a los cambios en el ambiente y demanda de energía para otras actividades como la rumia y descanso o a la acción de metabolitos en el rumen. Sin embargo, también existen cambios circadianos en la composición del forraje (Gekara et al., 2005).

“La fotosíntesis neta, la respiración y la translocación en las plantas en crecimiento provocan un ritmo circadiano en la calidad del forraje” (Mayland et al., 2005). El comportamiento fisiológico de las plantas forrajeras está determinado por las características genéticas y el régimen de humedad, temperatura y radiación. A su vez, la composición química del pasto está influenciada por factores como la estación y la edad de rebrote, así como por la hora del día (Delagarde et al., 2000).

Los cambios diurnos en la composición química del forraje se relacionan principalmente con la tasa de acumulación de fotosintatos, durante el día el forraje acumula MS debido a la pérdida de agua por la transpiración (Gregorini, 2012). Así mismo, las concentraciones de azúcares solubles o carbohidratos no estructurales dentro de las hojas aumentan en las plantas durante el día, lo que da como resultado la dilución del contenido de fibra (FDN y FDA) y las proteínas a medida que avanza el día (Gregorini, 2012; Mayland, et al., 2005). Lo anterior contribuye a la fácil descomposición de las partículas del forraje y con ello a la digestión.

Mayland et al. (2005) separan en tres tercios los azúcares solubles (glucosa, fructosa y sacarosa) de la planta e indican que el primero aporta la energía para la absorción de agua y nutrientes, el segundo se pierde a través de la respiración y el último tercio restante se utiliza para el crecimiento. En un estudio de preferencia en donde se pastoreaban distintas variedades de festuca, concluyeron que los carbohidratos no estructurales era una señal utilizada por el ganado para llevar a cabo el pastoreo (Mayland, Shewmaker, Harrison, & Chatterton, 2000). Griggs, MacAdam, Mayland y Burns (2005) reportaron que las hojas de *Dactylis glomerata* de 07:00 a 19:00 h aumentaron (69 a 160 g kg<sup>-1</sup> MS) los carbohidratos no estructurales totales, sin cambios en los pseudotallos, además disminuyó la FDN (427 a 414 g kg<sup>-1</sup> MS) y proteína (281 a 248 g kg<sup>-1</sup> MS) debido a la dilución en la MS por el azúcar extra.

Por lo tanto, es importante señalar que, de acuerdo con varios estudios, la actividad fotosintética ocurre en las hojas y que los tallos o pseudotallos son sitios de almacenamiento intermedio de azúcares destinados a las raíces o a la respiración (Gregorini, 2012; Griggs et al., 2005; Mayland et al., 2005; Mayland et al., 2000).

Por lo tanto, las concentraciones de carbohidratos en hojas tienen mayor fluctuación diurna en comparación con los tallos y pseudotallos.

## **2.6 Respuesta en leche al momento de la suplementación**

La suplementación es una estrategia que mejora el suministro de nutrientes al ganado al incrementar el consumo de MS y la sincronía en el metabolismo animal, lo que se traduce en mayor producción de leche (Hills et al., 2014). La respuesta productiva a la suplementación dependerá del tipo de suplemento y el nivel de empleo, así como de las características de la pradera y genotipo de las vacas lecheras (Storm, Kristensen, & Hanigan, 2012).

En un trabajo de revisión sobre la respuesta en producción de leche a la suplementación con concentrado, se informó que, aunque la producción aumenta con el suministro de concentrado, las respuestas son curvilíneas con decrementos conforme incrementa el nivel de concentrado, encontrando una mayor reducción con niveles de entre 5 a 9 kg d<sup>-1</sup> MS concentrado (Auldist et al., 2013). Sin embargo, Bargo (2003), en estudios con vacas de alto potencial genético, encontró una respuesta lineal a la suplementación hasta el nivel de 10 kg d<sup>-1</sup> MS concentrado.

Rugoho, Cheng, Aizimu, Bryant y Edwards (2016) indican que la disminución en la respuesta productiva puede explicarse por un aumento en el efecto sustitutivo, ellos analizaron las respuestas marginales de suplementación energética + ADF fija o variable y encontraron un aumento lineal en producción con ADF variable, mientras que con ADF fija, conforme aumentaba el suministro de concentrado, la respuesta productiva fue decreciente.

Adicionalmente, Sheahan et al. (2013) demostraron que con suplementación matutina, el tiempo de pastoreo de las vacas es menor en comparación con aquellas que eran suplementadas por la tarde, y la respuesta en consumo de forraje para ambos momentos no presentó diferencia, sin embargo, la producción de leche aumentó de 0.18 kg kg<sup>-1</sup> MS de concentrado para las vacas suplementadas por la mañana. Beltrán et al. (2019) reportaron que la suplementación permitió un cambio

en la producción de leche, sin que se viera afectado el consumo de MS total de forraje, lo que sugiere que la estrategia del momento de la oferta modificó la ingesta de nutrientes.

Así como la producción de leche se modifica, la composición de la leche puede cambiar como respuesta a la suplementación (Castro, 2018). Bargo et al. (2003) indican que con suplementos energéticos hay una reducción de grasa en leche, resultado del consumo de carbohidratos de rápida degradación y al menor consumo de fibra en forraje de la pradera. Rugoho et al. (2016) reportaron una concentración mayor en grasa de vacas alimentadas solo con forraje (5.5 %), comparadas con las suplementadas (5.1 %), al mismo tiempo, el contenido de proteína fue mayor en vacas suplementadas (4.0 %) que aquellas que no lo recibieron (3.7 %).

Soca et al. (2014) evaluaron la combinación de dos períodos de restricción de tiempo (0800-1200 y 0800-1630 h) en pastoreo y dos niveles de suplementación con concentrado (3 y 6 kg de MS  $v^{-1} d^{-1}$ ), y reportaron que la restricción del tiempo en pastoreo no afectó la producción de leche; sin embargo, redujo la concentración de grasa ( $p<0.01$ ) mientras que, la suplementación aumentó la producción de leche ( $p<0.05$ ), sin efectos sobre la composición. Lo anterior, fue atribuido a la mejor composición nutricional del forraje de las praderas por la tarde que modifica la oferta de nutrientes para la vaca, lo que resulta en efectos sobre la composición de la leche (Soca et al., 2014). De forma similar, cuando la oferta de áreas nuevas para pastoreo después del ordeño AM o PM, Abrahamse, Tamminga y Dijkstra (2009) reportaron que no hubo diferencia en producción de leche, contenido de proteína y lactosa; sin embargo, el contenido de grasa fue mayor en vacas que ingresaban a la pradera nueva después del ordeño PM, asociado a una mayor composición de carbohidratos solubles de la planta.

## **2.7 Literatura citada**

Abrahamse, P. A., Tamminga, S., & Dijkstra, J. (2009). Effect of daily movement of dairy cattle to fresh grass in morning or afternoon on intake, grazing

- behaviour, rumen fermentation and milk production. *The Journal of Agricultural Science*, 147(6), 721-730.
- Al-Marashdeh, O., Greenwood, S., Hodge, S., & Edwards, G. (2015). The effects of feeding maize silage at different times prior to an herbage meal on dry matter intake, milksolids production and nitrogen excretion in late-lactation dairy cows. Production. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 75:140-144
- Amendola, R. D. (2002). A dairy system based on forages and grazing in temperate Mexico. PhD thesis, Wageningen Universitiet, The Netherlands. 139, 269 p. <https://edepot.wur.nl/198963>
- Auldist, 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
- Balocchi, L., Pulido, F., & Fernández, V. (2002). Comportamiento de vacas lecheras en pastoreo con y sin suplementación con concentrado. *Agricultura Técnica*, 62(1), 87-98.
- Bargo, F. (2003). Suplementación en pastoreo: conclusiones sobre las últimas experiencias en el mundo [pdf]. Consultado en marzo, 2020.
- 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., Maiztegui, J., Jáuregui, J., Lazzarini, B., Rosset, A., & Gagliardi, R. (2017). Productividad, resultado económico y riesgos de Sistemas lecheros en el centro-norte de Argentina. *Chilean Journal of Agricultural Animal Sciences*. 33:2, 152-162.
- 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
- Beltrán, I. E., Al-Marashdeh, O., Burgos, A. R., Gregorini, P., Balocchi, O. A., Wittwer, F., & Pulido, R. G. (2019). The order of grass and maize silage supplementation modifies milk yield, grazing behavior and nitrogen partitioning of lactating dairy cows. *Animals*, 9(6), 373.
- Castro, J. (2020). Suplementación con concentrado sobre producción de leche individual y por hectárea de vacas Holstein en pastoreo. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo, México. 67 p
- Clark D. A., & Woodward S. L. (2007). Supplementation of Dairy Cows, Beef Cattle and Sheep Grazing Pasture. In *Pasture and supplements for grazing animals*, (pp.117-132). Hamilton, New Zealand: New Zealand Society of Animal Production.

- Delaby, L., Peyraud, J. L., & Delagarde, R. (2001). Effect of the level of concentrate supplementation, herbage allowance and milk yield at turn-out on the performance of dairy cows in mid lactation at grazing. *Animal Science*, 73(1), 171-181.
- Delagarde, R., Peyraud, J. L., Delaby, L., & Faverdin, P. (2000). Vertical distribution of biomass, chemical composition and pepsin—cellulase digestibility in a perennial ryegrass sward: interaction with month of year, regrowth age and time of day. *Animal Feed Science and Technology*, 84(1-2), 49-68
- Elizalde, J. C. (2003). Suplementación en condiciones de pastoreo. Jornada de Actualización Ganadera Balcarce [pdf] Consultado en Junio 2021.
- Faverdin, P., Dulphy, J. P., Coulon, J. B., Vérité, R., Garel, J. P., Rouel, J., & Marquis, B. (1991). Substitution of roughage by concentrates for dairy cows. *Livestock Production Science*, 27(2-3), 137-156.
- Gekara, O. J., Prigge, E. C., Bryan, W. B., Nestor, E. L., & Seidel, G. (2005). Influence of sward height, daily timing of concentrate supplementation, and restricted time for grazing on forage utilization by lactating beef cows. *Journal of Animal Science*, 83(6), 1435-1444.
- Gibb, M. J., Huckle, C. A., & Nuthall, R. (1998). Effect of time of day on grazing behaviour by lactating dairy cows. *Grass and Forage Science*, 53(1), 41-46.
- Gregorini, P. (2012). Diurnal grazing pattern: its physiological basis and strategic management. *Animal Production Science*, 52(7), 416-430.
- Gregorini, P., Soder, K. J., & Waghorn, G. (2010). Effects of timing of corn silage supplementation on digestion, fermentation pattern, and nutrient flow during continuous culture fermentation of a short and intensive orchardgrass meal. *Journal of Dairy Science*, 93(8), 3722-3729.
- Gregorini, P., Tamminga, S., & Gunter, S. A. (2006). Behavior and daily grazing patterns of cattle. *The Professional Animal Scientist*, 22(3), 201-209.
- Griggs, T. C., MacAdam, J. W., Mayland, H. F., & Burns, J. C. (2005). Nonstructural carbohydrate and digestibility patterns in orchardgrass swards during daily defoliation sequences initiated in evening and morning. *Crop Science*, 45(4), 1295-1304.
- Hess, B. W., P. A. Ludden, E. J. Scholljegerdes, & V. Nayigihugu. (2002). Effects of time of daily cracked corn supplementation on site and extent of digestion in cattle grazing summer cool-season pasture. *Proceedings, Western Section, American Society of Animal Science*. 53:651–654.
- Hills, J. L., Wales, W. J., Dunshea, F. R., Garcia, S. C., & Roche, J. R. (2014). Invited review: An evaluation of the likely effects of individualized feeding of concentrate supplements to pasture-based dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 98, 1363-1401.
- Hodgson, J. (1985). The control of herbage intake in the grazing ruminant. *Proceedings of the Nutrition Society*, 44(2), 339-346.

- Horn, G.W., & Paisley S.I. (1998). Supplementation strategies for growing cattle grazing small grain winter pastures. *Journal of Animal Science* 76(2):22.
- Mayland, H., Mertens, D., Taylor, T., Burns, J., Fisher, D., Gregorini, P., ... & Griggs, T. (2005, December). Diurnal changes in forage quality and their effects on animal preference, intake, and performance. *In California Alfalfa and Forage Symp., 35th, Visalia, CA* (pp. 12-14).
- Mayland, H. F., Shewmaker, G. E., Harrison, P. A., & Chatterton, N. J. (2000). Nonstructural carbohydrates in tall fescue cultivars: Relationship to animal preference. *Agronomy Journal*, 92(6), 1203-1206.
- Meul, M., Van Passel, S., Fremaut, D., & Haesaert, G. (2012). Higher sustainability performance of intensive grazing versus zero-grazing dairy systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(3), 629-638.
- Nikkhah, A. (2011). Bioscience of ruminant intake evolution: feeding time models. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 2(04), 271-274.
- Orr, R. J., Penning, P. D., Harvey, A., & Champion, R. A. (1997). Diurnal patterns of intake rate by sheep grazing monocultures of ryegrass or white clover. *Applied Animal Behaviour Science*, 52(1-2), 65-77.
- Orr, R. J., Rutter, S. M., Yarrow, N. H., Champion, R. A., & Rook, A. J. (2004). Changes in ingestive behaviour of yearling dairy heifers due to changes in sward state during grazing down of rotationally stocked ryegrass or white clover pastures. *Applied Animal Behaviour Science*, 87(3-4), 205-222.
- Pérez-Prieto, L. A., Peyraud, J. L., & Delagarde, R. (2011). Substitution rate and milk yield response to corn silage supplementation of late-lactation dairy cows grazing low-mass pastures at 2 daily allowances in autumn. *Journal of Dairy Science*, 94(7), 3592-3604.
- Peyraud, J.L., & Delagarde, R. (2013). Managing variations in dairy cow nutrient supply under grazing. *Animal*, 7, 57-67
- Pulido, R. G., Felmer, E., & Hinostroza. (2006). Efecto del tipo de carbohidrato en el concentrado sobre el consumo de alimento de vacas lecheras en pastoreo. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 38:2, 123-128.
- 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.
- Riquelme, C., & Pulido, R. G. (2008). Efecto del nivel de suplementación con concentrado sobre el consumo voluntario y comportamiento ingestivo en vacas lecheras a pastoreo primaveral. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 40(3), 243-249.
- Rook, A. J., Huckle, C. A., & Penning, P. D. (1994). Effects of sward height and concentrate supplementation on the ingestive behaviour of spring-calving

- dairy cows grazing grass-clover swards. *Applied Animal Behaviour Science*, 40(2), 101-112.
- 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
- Ruiter, J. M., Dalley, D. E., Hughes, T. P., Fraser, T. J., & Dewhurst, R. J. (2007). Types of supplements: Their nutritive value and use. *New Zealand Society of Animal Production Occasional Publication*, 14, 97-115.
- Scaglia, G., Boland, H. T., & Wyatt, W. E. (2009). Effects of time of supplementation on beef stocker calves grazing ryegrass. II. Grazing behavior and dry matter intake. *The Professional Animal Scientist*, 25(6), 749-756.
- Sheahan, A. J., Gibbs, S. J., & Roche, J. R. (2013). Timing of supplementation alters grazing behavior and milk production response in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 96(1), 477-483.
- Sheahan, A. J., Kolver, E. S., & Roche, J. R. (2011). Genetic strain and diet effects on grazing behavior, pasture intake, and milk production. *Journal of Dairy Science*, 94(7), 3583-3591.
- Soca, P., González, H., Manterola, H., Bruni, M., Mattiauda, D., Chilbroste, P., & Gregorini, P. (2014). Effect of restricting time at pasture and concentrate supplementation on herbage intake, grazing behaviour and performance of lactating dairy cows. *Livestock Science*, 170, 35-42.
- 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
- Stockdale, C. R. (2000). Levels of pasture substitution when concentrates are fed to grazing dairy cows in northern Victoria. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 40:913-921.
- Storm, A. C., Kristensen, N. B., & Hanigan, M. D. (2012). A model of ruminal volatile fatty acid absorption kinetics and rumen epithelial blood flow in lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 95, 2919-2934.
- 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

Este manuscrito se envió a la revista *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* el 2 de mayo del 2024.

### **3 Efecto sustitutivo en la suplementación de bovinos lecheros en pastoreo**

#### **Efecto sustitutivo en pastoreo**

Citlali Anais Castro Jaime<sup>1</sup>, Ricardo Daniel AméndolaMassiotti<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Programa de Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera México-Texcoco km 38.5, 56230, Estado de México, México.

\*Autor de correspondencia: r\_amendola@yahoo.com

Citlali Anais Castro Jaime: ORCID 0000-0001-7939-2016

Ricardo Daniel Améndola Massiotti: ORCID 0000-0001-6763-281X

#### **3.1 Resumen**

El objetivo de este estudio es reseñar el estado actual del conocimiento sobre el efecto sustitutivo como respuesta a la suplementación a bovinos lecheros en pastoreo, y destacar los recientes aportes científicos a la eficiencia del uso de los suplementos en el manejo de los sistemas de producción. Se incluye información obtenida en diferentes investigaciones que integran la producción individual, tasa de sustitución y sus consecuencias en variables como carga animal, al utilizar la suplementación considerando el sistema de producción en su conjunto, no solo la respuesta por animal. Esto permitirá determinar el potencial de las interacciones causadas por la tasa de sustitución debida al suplemento a nivel del sistema, logrando así la mayor eficiencia de la suplementación.

Palabras clave: carga animal, comportamiento ingestivo, consumo de forraje, producción de leche, concentrado

## Lista de Abreviaturas

ES: Efecto sustitutivo, CA: Carga animal, ADF: Asignación diaria de forraje, MS: Materia seca, CMS: Consumo de materia seca, DF: Disponibilidad de forraje

### 3.2 Resumo

O objetivo deste estudo é revisar o estado atual do conhecimento sobre o efeito de substituição como resposta à suplementação em gado leiteiro a pastejo e destacar as recentes contribuições científicas para a eficiência do uso da suplementação no gerenciamento dos sistemas de produção. Inclui informações obtidas de diferentes pesquisas que integram a produção individual, a taxa de substituição e suas consequências em variáveis como a taxa de lotação, ao usar a suplementação considerando o sistema de produção como um todo, e não apenas a resposta por animal. Isso permitirá determinar o potencial das interações causadas pela taxa de substituição devido à suplementação em nível de sistema, alcançando assim a mais alta eficiência da suplementação.

Palavras-chave: taxa de lotação, comportamento ingestivo, ingestão de forragem, produção de leite, concentrado.

### 3.3 Abstract

This study aims to review the current state of knowledge on the substitution effect as a response to the supplementation of grazing dairy cattle and to highlight recent scientific contributions to the efficiency of the use of supplements in the management of production systems. Information obtained in different investigations integrating production per cow, substitution rate, and its consequences in variables such as stocking rate when supplementation considers the whole production system, not only the response per animal. This will allow for the assessment of the potential interactions caused by the substitution rate due to supplementation at the system level, thus achieving the highest efficiency of

supplementation. Keywords: stocking rate, ingestive behavior, forage intake, milk production, concentrate

### 3.4 Introducción

El uso de suplementos en los sistemas de producción de leche con bovinos en pastoreo permite el aumento de la ingesta de materia seca (MS) y nutrientes para la producción de leche por vaca (Hills *et al.*, 2015) y por unidad de área (Bargo, 2003). La inclusión de un suplemento dependerá de varios factores y de la interacción entre ellos (Ruiter *et al.*, 2007), y su respuesta estará influenciada mayormente por elementos como el consumo de forraje y la eficiencia en la utilización de los nutrientes ingeridos (Améndola, 2002). Los efectos ocasionados por la inclusión del suplemento pueden resultar aditivos o sustitutivos.

Algunas investigaciones han mostrado que la suplementación de bovinos en pastoreo disminuye el consumo de forraje por los animales en la pradera (Balocchi *et al.*, 2002; Bargo, 2003; Harrington y

Kellaway, 2004), comparados con el consumo de los animales sin uso de suplementos; a tal respuesta se le conoce como efecto sustitutivo (ES). El ES de los suplementos sobre el consumo de forraje es resultado de las modificaciones en el comportamiento de ingestión, especialmente la reducción en la tasa de ingestión y el tiempo de pastoreo (Clark y Woodward, 2007). El uso de la estrategia de suplementación puede generar un aumento en la carga animal (CA), influyendo de forma positiva sobre la rentabilidad en la unidad de producción (Améndola, 2002; Bargo 2003).

Por lo anterior, al incluir suplementos en pastoreo se deben considerar varios factores y sus interacciones, como la composición y tipo de suplemento, debido a su influencia sobre el consumo, digestión y llenado de rumen, el suministro de

energía por parte del forraje y la eficiencia en la conversión de nutrientes y utilización del alimento (Ruiter *et al.*, 2007). Así mismo, entre los factores que pueden afectar la tasa de sustitución se encuentran la cantidad y tipo del alimento base y el suplemento ofrecido; el primero tendrá efecto sobre el valor de llenado del alimento en el animal (Faverdin *et al.*, 2011). El segundo influirá sobre el grado en que el suplemento sustituirá al forraje en la dieta (Balocchi *et al.*, 2002), por lo que, puede incidir en mayor medida sobre la respuesta en la producción de leche (Stockdale, 2000; Bargo *et al.*, 2003).

La necesaria actualización del conocimiento sobre ES como respuesta a la suplementación en los sistemas de producción de leche en pastoreo, es el principal objetivo de la presente revisión bibliográfica, en donde se consideran los múltiples factores del entorno de un sistema de producción en pastoreo.

### **3.5 Efecto sustitutivo**

El consumo de materia seca (CMS) del forraje puede disminuir cuando a las vacas se les ofrecen alimentos suplementarios junto con su asignación de pasto (Harrington y Kellaway, 2004); esta tasa de sustitución se define como la reducción en consumo de forraje por unidad de incremento en suplemento consumido (Forbes, 2007). Distintos factores influyen sobre el ES, éstos se asocian a particularidades de la planta, del suplemento y del animal (Stockdale, 2000), como la cantidad y el tipo de alimento base, la etapa de lactancia de los animales y el potencial de producción de la vaca (Baudracco *et al.*, 2010), el tipo y nivel de suplemento y el manejo particular del pastoreo (Delagarde *et al.*, 2011). La tasa de sustitución resulta de los cambios en comportamiento ingestivo de los animales en pastoreo, y se calcula como el cociente de la ingesta de MS del forraje, con tratamientos sin suplementación, entre la que ocurre en tratamientos con

suplemento, y se le expresa como kg MS de forraje / kg MS de concentrado (Reid *et al.*, 2015; Merino *et al.*, 2018).

Investigaciones realizadas con suplementación en bovinos lecheros, reportan distintas tasas de sustitución (Tabla 1), de acuerdo con las particularidades en las que se desarrollaron. Estos valores de sustitución

oscilaron entre 0.26 y 1.25 kg MS de forraje / kg MS de concentrado. Con base en las consecuencias de este efecto, es necesario balancear la suplementación en función de las necesidades específicas de los animales, así como de las características del forraje y el suplemento (Bargo *et al.*, 2003).

Tabla.1. Tasa de sustitución como respuesta a la suplementación de bovinos lecheros en pastoreo.

| Descripción de estudio                                                                                         | Tasa de sustitución <sup>Ω</sup>                           | Referencia                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Suplemento concentrado con base en pulpa seca de remolacha y en granos, 6 kg v <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> . | 0.53 y 0.45 para cada tipo de suplemento, respectivamente. | Balocchi <i>et al.</i> , 2002 |
| Suplemento concentrado, 1 kg de concentrado por cada 4 kg de leche y sin suplemento                            | 0.26 y 0.55, menor sustitución con ADF baja.               | Bargo <i>et al.</i> , 2002    |
| ADF 25 y 40 kg MS v <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>                                                              |                                                            |                               |

|                                                                                                                                                                                 |                                                                                           |                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Alta disponibilidad de forraje y suplementos con base en granos-<br>Revisión.                                                                                                   | 0.92 con niveles de suplemento <3 kg, y 1.15 con nivel de hasta 9 kg de MS de suplemento. | Bargo <i>et al.</i> , 2003 |
| Con suplementación 3, 6 y 9 kg concentrado d <sup>-1</sup> y sin suplemento.                                                                                                    | 0.92, 1.17 y 1.25, para el nivel 3, 6 y 9, respectivamente.                               | Riquelme y Pulido, 2008    |
| Suplemento concentrado alto y bajo en PC y ensilado de maíz<br>ADF 15 y 20 kg MS v <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> .                                                              | 0.44, 0.45 y 0.54, para ensilado de maíz, concentrado alto y bajo en PC, respectivamente. | Burke <i>et al.</i> , 2008 |
| Suplementación con 4.5 ensilado de maíz con 0.5 kg v <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> de harina de soya<br>ADF 18 y 30 kg MS v <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> ,<br>respectivamente. | 0.51 y 0.75 para ADF baja y alta, respectivamente.                                        | Pérez <i>et al.</i> , 2011 |

Ω: kg MS forraje / kg MS suplemento; ADF: asignación diaria de forraje; PC: proteína cruda.

### 3.6 Producción individual

En vacas lecheras de alta producción se puede esperar una baja tasa de sustitución y alta respuesta en leche, resultado del alto potencial genético para la ingesta y la baja partición de la energía concentrada para el

mantenimiento (Bargo *et al.*, 2002). Sin embargo, en ocasiones la baja respuesta a la suplementación en vacas de alto potencial productivo se debe a factores como la disponibilidad de forraje o el nivel de suplementación, relacionados con el

ES, la calidad del suplemento y manejo del sistema (Lazzarini *et al.*, 2014). El ES debido a la suplementación con concentrado es el factor que explica la escasa respuesta en producción de leche individual (Baudracco *et al.*, 2010), por lo que, cuanto menor sea la tasa de sustitución, mayor será la respuesta en leche obtenida por kg de suplemento (Castro, 2020). Bargo *et al.* (2022) reportaron un incremento en la producción de leche cuando se suplementó con una asignación diaria de forraje (ADF) baja, lo que sugiere un mayor control del forraje en la pradera. La respuesta productiva global de 1 kg de leche/kg de concentrado, sugiere que el aumento en la producción de leche debida al concentrado es lineal (Bargo *et al.*, 2003). En un estudio realizado en pastoreo primaveral con vacas lecheras de 20 y 46 kg de leche al momento de la producción, la eficiencia del uso de concentrado fue 1.04 kg leche / kg MS de concentrado, manteniéndose

estable hasta 4 kg de concentrado, reportando una respuesta constante en comparación con las no suplementadas (Delaby *et al.*, 2001). Niveles más altos de concentrado han resultado en incrementos decrecientes en la producción individual (Baudracco *et al.*, 2010; Castro, 2020).

### **3.7 Carga animal y producción por hectárea**

La carga animal (CA) es una variable esencial para determinar la productividad, estimar la respuesta a la suplementación en sistemas pastoriles (Castro, 2020), e impulsar de la producción de leche por hectárea (Ramírez-Mella *et al.*, 2010). Fariña *et al.* (2011) concluyeron que los sistemas que aumentan la producción de leche por hectárea utilizando una mayor CA fueron más efectivos comparados con los que solo aumentan la producción individual, tanto en términos de respuesta animal como de eficiencia en el uso de suplementos en el sistema de producción.

Los aumentos en CA serán resultado del incremento de las tasas de sustitución debido al suplemento (Améndola, 2002), resultado de una disminución en el consumo de forraje, pero conducen al aumento de la producción de leche por hectárea (Ramírez-Mella *et al.*, 2010). Con el aumento en CA por hectárea, la producción individual disminuye, debido a la menor disponibilidad de forraje por animal; sin embargo, con baja CA existe menor consumo del forraje y aprovechamiento de la superficie (Pulido *et al.*, 2009). Por lo tanto, para hacer eficiente el uso del forraje en la pradera, se debe utilizar un alta CA, esta permitirá un aumento en el consumo y rendimiento de MS por hectárea, aun cuando la ADF sea menor (Elizalde, 2003; Baudracco *et al.*, 2010).

Por otro lado, un estudio que comparó las respuestas a los niveles extremos de oferta de concentrado (2.5 y 7.5 kg de MS  $v^{-1} d^{-1}$ ), mostró un incremento en CA (46 %),

producción individual (14 %) y producción de leche por hectárea (67 %) (Castro, 2020), concluyendo que la relación del aumento en producción individual fue de menor importancia que el aumento en CA. De esta manera, la respuesta en las tasas de sustitución con alimentación suplementaria debe considerar la CA y la productividad por hectárea como variables de respuesta, teniendo en cuenta el manejo del pastoreo al utilizar el forraje de forma eficiente, independientemente del nivel de suplementación (Améndola, 2002).

### **3.8 Viabilidad económica de la suplementación**

La inclusión de alimentos concentrados aumenta los costos y disminuye la ganancia neta por litro de leche individual y por hectárea empleada (Ramsbottom *et al.*, 2015). Sin embargo, los sistemas lecheros basados en pastoreo presentan mejor rendimiento económico, pero dependen de la eficiencia de utilización del

recurso forrajero y el uso de un nivel moderado de suplemento para generar mayor nivel de rentabilidad (Doole, 2014). El uso intensivo de concentrado permite un mayor grado de utilización del forraje por lo que eleva la CA y el nivel de concentrado a emplear dependerá del costo del suplemento y el precio en la leche (Patton *et al.*, 2012). A su vez, Hanrahan *et al.* (2018) mencionan al precio de la leche como el factor principal que determina la estrategia de suplementación. La suplementación con concentrados en un sistema de pastoreo debe utilizarse eficazmente, con el propósito de suministrar una dieta balanceada a bajo costo (Balocchi *et al.*, 2002). Aumentar la producción supone incrementar los costos de alimentación, siendo más evidente al utilizar granos; sin embargo, para que el uso de la suplementación tenga un sustento económico, debe considerarse que mientras los costos de la alimentación por unidad de superficie se incrementen y el

costo por kg producido no lo haga en la misma proporción se logrará viabilidad económica (Elizalde, 2003).

Elizalde (2003) indica que el costo por unidad producida no solo depende del uso del suplemento, sino que de diversos factores de manejo en el sistema de producción son involucrados, como CA, edad de los animales, base forrajera, gasto de personal, suministro, etc. Adicionalmente, se sugiere que aquellos sistemas cuyo objetivo sea aumentar la producción por hectárea, deben considerar el aumento de los costos de los insumos y la fluctuación de los precios de los productos, ello permitirá evaluar el impacto de la adopción de la estrategia sobre la rentabilidad y el riesgo a nivel sistema, y no solo sobre la producción (Fariña *et al.*, 2011).

Albarrán-Portillo *et al.* (2019) basaron su análisis de rentabilidad de la suplementación sobre la respuesta individual, con tratamientos de

suplementación con 1, 3 y 6 kg de concentrado (base tal cual); concluyeron que no hubo beneficio económico de la suplementación con concentrados. No obstante, los autores no consideraron que la baja respuesta a la suplementación se debió al ES. Cálculos adicionales realizados con base en los resultados reportados resultaron en sustituciones de 0.45 y 0.42 kg MS de forraje para los tratamientos 3 y 6, respectivamente, incluso algo menores que el 0.6 kg MS de forraje promedio reportado por Bargo *et al.* (2003). Esa sustitución se reflejó en incrementos bajos en producción de litros de leche por kg de concentrado, 0.65 y 0.90, para los tratamientos 3 y 6, respectivamente, que se debieron a menor consumo de energía metabolizable proveniente del forraje (-2.322 y -5.418 Mcal EM, respectivamente). Si se hubiese tomado en cuenta el valor de esas Mcal EM no consumidas, es probable que se hubiese detectado beneficio económico.

### **3.9 Disponibilidad de forraje**

La ingesta de energía es un factor limitante de la productividad (Waghorn *et al.*, 2007); principalmente durante invierno, cuando la producción de forraje es restrictiva para los sistemas de alta producción de leche (Amendola, 2002). Estas variaciones en disponibilidad de forraje (DF) son de las principales limitantes para la producción en pastoreo, por ello, la suplementación con concentrado es una estrategia empleada para mantener el equilibrio en el sistema de alimentación en pastoreo, que suministra nutrimentos al animal de manera adicional en igual o mayor concentración que el forraje (Clark y Woodward, 2007; Riquelme y Pulido, 2008). Por tanto, las limitantes en la DF serán el principal determinante para obtener una respuesta favorable a un suplemento en particular (Elizalde, 2003; Baudracco *et al.*, 2010).

Bargo (2003) menciona que la relación entre cantidad de forraje previa al pastoreo ( $\text{kg MS ha}^{-1}$ ) y la disponibilidad ( $\text{kg MS v}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ), afectan el consumo en la pradera, manifestándose en un aumento en la tasa de sustitución y una disminución de la respuesta a la suplementación, conforme la disponibilidad del forraje aumenta. Por otra parte, las mayores respuestas se han reportado con baja disponibilidad de forraje, y con nivel de concentrado de bajo a medio (Ramírez-Mella *et al.*, 2010).

Un modelo para analizar el consumo de MS de forraje incluyó la DF y su término cuadrático, dando como resultado la ADF de  $110 \text{ kg MS v}^{-1} \text{ d}^{-1}$  óptimo para maximizar el CMS de pastura ( $21.9 \text{ kg d}^{-1}$ ), con un aumento en el consumo de forraje de  $0.26 \text{ kg d}^{-1}$  (Bargo *et al.*, 2003). A su vez, Vázquez y Smith (2000) utilizaron ecuaciones para predecir el consumo de  $\text{kg MS}$  de forraje y total, utilizando como variables de predicción la disponibilidad de forraje, cantidad de

suplemento, la cantidad de forraje suplementado, la suplementación total y la interacción entre disponibilidad de pastura y suplementación total. Estos autores alcanzaron altos porcentajes en el ajuste de su modelo de ecuaciones, logrando predecir con el consumo total de MS un 95 % de certeza, y 91 % para consumo de MS, por lo que se puede concluir que hay una estrecha relación entre las variables predictoras y las variables respuesta.

Por otra parte, en un estudio realizado en condiciones de altura de la pradera mayor (8 a 12 cm) y menor (4 a 8 cm) DF y limitado tiempo de pastoreo la suplementación por la mañana resultó en una mayor utilización de forraje y tasa de ingesta, debido a un aumento del CMS del forraje y la digestibilidad de la MS, por lo que utilizar la altura de forraje también puede ser una herramienta de manejo que permita hacer más eficiente la respuesta a la suplementación (Gekara *et al.*, 2005).

### **3.10 Composición nutricional del forraje**

La concentración de nutrientes en los forrajes es un factor de interés en la regulación de la ingesta alimentaria (Decruyenaere *et al.*, 2009). Así mismo, se ha confirmado que el CMS está relacionado con la digestibilidad de nutrientes y las necesidades del animal (Hristov *et al.*, 2005), por lo que, si el objetivo es llegar a respuestas positivas en el uso de suplementos en pastoreo, al proporcionar forraje de alta calidad, es necesario que el suplemento sea compatible con la misma (Elizalde, 2003). Gekara *et al.* (2005) refieren que la respuesta al concentrado puede ser afectada por el forraje y el momento de la alimentación, debido a los efectos sobre la digestión y variables asociadas con la fermentación ruminal, lo anterior derivado de los cambios diurnos en el ambiente ruminal provocados por el patrón de

pastoreo del ganado. Lo anterior debido a la asociación con los cambios diurnos en el valor nutritivo del forraje (Gregorini, 2012), y al mismo tiempo a la reducción del valor nutritivo y cambio en la morfología de los pastos que se presenta cuando se defolia un pasto (Scott *et al.*, 2014). Por lo tanto, el momento en que el suplemento sea consumido estará asociado con la asignación de pradera, influyendo sobre la sustitución del forraje por el suplemento (Gekara *et al.*, 2005; Al-Marashdeh *et al.*, 2015).

Un estudio en donde se compararon sistemas que aumentaron la producción de leche por hectárea e individual, la dieta se basó en pastoreo, y los suplementos fueron ofertados cuando se consideraba necesario, reportó que la similitud en la cantidad y el valor nutritivo de los pastos utilizados por todos los sistemas evaluados, cuestiona la creencia de que los sistemas con mayor o menor CA o producción de leche individual,

necesariamente tendrán diferente utilización y valor nutritivo al pastar (Baudracco *et al.*, 2010). Por el contrario, se mostró que tal efecto no ocurre cuando los pastos y los suplementos se asignan con precisión y, por lo tanto, cualquier déficit en el forraje puede ser cubierto con suplementos (Fariña *et al.*, 2011).

### **3.11 Asignación diaria de forraje y tiempos de acceso a la pradera**

La ADF es una guía que permite determinar los días de ocupación en una pradera o el área de forraje fresco que se pondrá disponible diariamente ( $v^{-1} d^{-1}$ ), y es otro de los factores que intervienen en la respuesta del efecto sustitutivo con una estrecha relación al CMS (Bargo *et al.*, 2003).

La respuesta del consumo de forraje por vacas lecheras a la ADF es asintótica, por ejemplo, Perez-Prieto y Delagarde (2013) señalan que para casos en que la ADF es baja, con el incremento se obtiene una respuesta de aumento lineal del consumo,

mientras que con aumentos adicionales en ADF, la respuesta es de incrementos decrecientes en consumo.

Por su parte, Bargo *et al.* (2002) realizaron un estudio con asignaciones alta ADF (40 kg MS  $v^{-1} d^{-1}$ ) y baja ADF (25 kg MS  $v^{-1} d^{-1}$ ), suplementadas con concentrado. Ambas asignaciones presentaron una disminución en el CMS, siendo mayor para la asignación alta (4.4 kg de MS  $d^{-1}$ ), en comparación con la baja (2.0 kg de MS  $d^{-1}$ ), presentando tasas de sustitución de 0.55 y 0.26 kg de forraje / kg concentrado, respectivamente, siendo mayor para la ADF alta, demostrando que la suplementación disminuye el consumo de la pradera, en especial cuando la disponibilidad de la pradera es alta.

Un sistema en que las vacas lecheras que pastorearon con baja ADF resultó en mayor CA ( $+0.7 v^{-1} ha^{-1}$ ) e intensidad de pastoreo, debido a que, al reducir la oferta de forraje, la presión diaria de pastoreo aumentó de 27 a 31 vacas  $t^{-1}$  de MS de

forraje (con ingesta 15 kg MS  $v^{-1} d^{-1}$ ), con ello aumentó la eficiencia de pastoreo (Merino *et al.*, 2018). Debido a la reducción posible de la ADF, con la suplementación se mejora la eficiencia de utilización de forraje (Baudracco *et al.*, 2010).

Los efectos del tiempo de asignación de suplementos sobre el consumo de forraje están asociados con el manejo del pastoreo, es decir, un sistema de pastoreo restringido o no restringido (Beltrán *et al.*, 2019). Cuando se restringe el tiempo de pastoreo se presentan diferentes respuestas de los animales, que dependen incluso del tiempo de oferta del suplemento (Gekara *et al.*, 2005). Por ejemplo, un estudio cuyos tratamientos fueron con restricción del pastoreo a 12 h  $d^{-1}$  (mañana y tarde) y sin restricción, consumieron mayor MS de forraje cuando se suplementaron por la mañana con restricción de pastoreo, en comparación con las suplementadas por la tarde; esta respuesta puede ser

consecuencia del pastoreo restringido de vacas que no tuvieron acceso a la pradera durante la noche, por lo que presentaron un consumo compensatorio de forraje a media mañana, cuando ocurrió la mayor actividad de pastoreo (Gekara *et al.*, 2005).

### **3.12 Suplementación con concentrado**

La suplementación con concentrado es una herramienta de manejo en la alimentación en sistemas de pastoreo que controla los déficits en el suministro de forraje (Holmes y Roche, 2007), y aumenta el CMS y la producción de leche en general (Stockdale, 2000; Bargo *et al.*, 2003). El concentrado es considerado una de las principales formas de suplementación, debido a la precisión del compuesto que aporta en la alimentación (Auldist *et al.*, 2013). Sin embargo, la respuesta en leche es variable (Delaby *et al.*, 2001; Harrington y Kellaway, 2004; Holmes y Roche, 2007), debido a la tasa de sustitución presentada en el CMS de la

pradera, con mayor influencia en la producción individual (Stockdale, 2000).

En un estudio donde se ofertaron suplementos con la misma proporción de energía metabolizable, y la misma proporción de grano-forraje (75:25, MS), con tres estrategias de alimentación, con suplementos a base de grano de cebada molida, se demostró que el consumo de forraje disminuyó en el tratamiento con solo grano de cebada molida como suplemento, en comparación con aquellos en donde el suplemento fue mezclado con otros ingredientes, atribuyendo la respuesta a las diferencias en el tipo de almidón (Auldist *et al.*, 2013).

La respuesta de la disminución en el consumo de forraje ha sido relacionada con la reducción en la digestibilidad de la fibra, que, con suplementos mixtos a base de granos, las vacas tienen un mayor paso de almidón al duodeno, permitiendo la mayor digestibilidad del almidón y

eficiencia en el uso de esa energía (Grazin, 2004).

De acuerdo con la respuesta obtenida por Clark *et al.* (2018), el consumo de forraje fue sustituido por el consumo de concentrado a base de grano, a medida que aumentaron los niveles de suplementación, independientemente del forraje utilizado, particularmente por encima de 5.4 kg de MS  $v^{-1} d^{-1}$ . De forma similar, Bargo *et al.* (2003) sugieren de 4 a 5 kg de MS  $v^{-1} d^{-1}$  como el nivel de concentrado a base de grano. Por su parte Ramírez-Mella *et al.* (2010) 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.

Se ha reportado que, al aumentar el nivel de suplemento a base de cereales, fue mayor la ingesta de energía metabolizable sin deprimir el CMS, por lo que la ingesta

y digestibilidad de MS y materia orgánica se vieron influenciadas positivamente por la suplementación (Reis y Combs, 2000).

### **3.13 Características del animal**

La respuesta a la suplementación por animales de distinto potencial genético está relacionada con la capacidad de consumo y demanda energética, en vacas con altas demandas energéticas, el ES es menor que aquellas con menor demanda (Reid *et al.*, 2015). Por otro lado, pueden intervenir la etapa de lactancia y el número de parto sobre el efecto en el potencial productivo, influyendo en el grado de sustitución de forraje por concentrado suplementario. En este caso, la razón también se centra en las diferencias por demanda energética, ya que con mayor demanda energética se presentará menor efecto sustitutivo (Bargo *et al.*, 2003; Ramírez-Mella *et al.*, 2010).

Elegir la mejor raza para un sistema de producción cuya alimentación es en pastoreo, implica seleccionar vacas que

estén adaptadas a pastos de bajos insumos o sistemas de alimentación basados en forrajes (Heublein *et al.*, 2017). Así mismo, 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). Heublein *et al.* (2017) aseguran que seleccionar asertivamente a vacas con mejor desempeño en pastoreo, asegura la eficiencia de utilización del forraje para producir leche.

Para alcanzar el potencial genético de ingesta y producción de leche, las vacas alimentadas con base en pastoreo necesitan energía suplementaria que les permita alcanzar dicho objetivo, de lo contrario, la respuesta esperada será una baja tasa de sustitución y alta respuesta en producción de leche, paralelo a la baja partición de la energía concentrada para el mantenimiento (Bargo *et al.*, 2002). Adicionalmente, el ES es menor para las

vacas con alto potencial genético para la producción de leche (Bargo *et al.*, 2003).

Un ejemplo de selección se da en vacas con alto potencial genético para la producción de leche, estas tienen mayor y mejor respuesta a la suplementación con concentrados (McCarthy *et al.*, 2007), debido a una mayor distribución de nutrientes en la producción de leche en vacas de alto mérito genético en comparación con vacas de menor potencial (Dillon *et al.*, 2006).

### **3.14 Cambios en el comportamiento de ingestión**

Reducir el ES, es el principio básico de la suplementación para obtener buena respuesta individual, con ello promover una mayor ingesta total de MS y nutrientes (Souza *et al.* 2010). Sin embargo, el efecto de los suplementos en CMS del forraje es

afectado por las modificaciones en el comportamiento ingestivo, a través de la tasa de consumo y el tiempo de pastoreo (Pulido y Leaver 2001). Investigaciones realizadas con suplementación, reportan cambios en las variables del comportamiento ingestivo (Tabla 2), de acuerdo con las particularidades en las que se desarrollaron, estos reportan disminución en el tiempo de pastoreo, y tasa y masa de bocado, con niveles medios de suplementación. Riquelme y Pulido (2008) concluyeron que la respuesta a los distintos niveles de suplementación con concentrado utilizados en praderas de elevada calidad nutritiva y con gran disponibilidad de forraje, disminuyen el CMS de forraje, sin cambios en el consumo total de MS.

Tabla 2. Comportamiento ingestivo como respuesta a la suplementación.

| Descripción de estudio                                                                                                           | Tasa de bocado                                                                     | Masa de bocado                                | de | Tiempo de pastoreo                                                                                     | de | Referencia                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-------------------------------|
| T1 sin suplemento, T2 concentrado pulpa de remolacha y T3 concentrado grano de cereal con 6 kg v <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> . | 55.9, 50.7 y 48.2 bocados min <sup>-1</sup> .                                      | 0.60, 0.59 y 0.63 g MS bocado <sup>-1</sup> . | y  | T1 superior a T2 y T3, los últimos con 45 min menos.                                                   |    | Balocchi <i>et al.</i> , 2002 |
| Suplementación con 6 kg MS v <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> con ensilado de maíz (MS) o ensilado de pasto (GS) y mixto (MIX).     | .                                                                                  | .                                             | .  | El tiempo de pastoreo fue modificado con 341, 315 y 352 min d <sup>-1</sup> , para MIX, GS-MS y MS-GS. |    | Beltrán <i>et al.</i> , 2019  |
| Suplementación 3, 6 y 9 kg concentrado d <sup>-1</sup> y sin suplemento.                                                         | 55, 52 y 51 bocados por min <sup>-1</sup> , respectivamente para los tratamientos. |                                               |    | El tiempo de pastoreo disminuyó en promedio 9.6 min kg de concentrado <sup>-1</sup> .                  |    | Riquelme y Pulido, 2008.      |

En vacas que recibieron diariamente una masa y altura de forraje similar se observó que la masa de bocado no se modificó por la ADF o consumo de suplemento, promediando  $0.57 \text{ g MS bocado}^{-1}$  ( $P > 0.05$ ), debido al manejo del pastoreo (Bargo *et al.*, 2002).

El peso del bocado y la tasa de ingestión son los componentes más importantes del comportamiento ingestivo, y su incremento se da conforme aumenta la altura de la pradera, y ambos son también afectados por la densidad del forraje (Jiménez y Améndola, 2022). Cuando se lleva a cabo la suplementación con concentrado se han encontrado respuestas que afectan el número de bocados, por ejemplo, en tratamientos sin suplementación se presentó un mayor número total de bocados diarios (5000), en relación con los tratamientos suplementados ( $6 \text{ kg de concentrado v}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ), sin importar el tipo de concentrado

(Balocchi *et al.*, 2002). Por otro lado, se encontró que la tasa de sustitución puede estar relacionada con efectos que afectan la digestión del forraje en el rumen, así como a la reducción del tiempo de pastoreo. Sin embargo, la tasa de bocados no se ve afectada por la ADF o CS ( $55 \text{ bocados min}^{-1}$ ) (Bargo *et al.*, 2002).

La variación en el tiempo de pastoreo debida a la suplementación depende del tipo de suplemento y de la pradera (Balocchi *et al.*, 2002). Es común que exista una reducción en el tiempo de pastoreo con el CS, que explica parte de la tasa de sustitución (Bargo *et al.*, 2002). En un estudio con praderas polifíticas y pastoreo rotacional, donde la suplementación fue con distintos concentrados, el tiempo de pastoreo se redujo, producto de la suplementación con un promedio de  $7.5 \text{ min kg de concentrado}^{-1}$  ofertado. Adicionalmente, se menciona que otras causas que explican la disminución del tiempo de pastoreo,

podrían ser la alta disponibilidad de forraje ofrecido por vaca y el método de pastoreo que se llevó a cabo (franjas), concluyendo que el tiempo de pastoreo fue 45 min menor en los tratamientos suplementados, sin encontrar diferencia entre ellos (Tabla 2) (Balocchi *et al.*, 2002).

Así mismo, en otro estudio (Bargo *et al.*, 2002) se reportó que la reducción del tiempo de pastoreo es importante, debido a que explicó de forma cuantitativa, por lo menos el 80 % de la reducción en el CMS del forraje, aunque la ADF fue distinta. No obstante, esta reducción fue mayor ( $P < 0.01$ ) en el CMS con ADF alta; al

expresar en kg de concentrado suplementado, el tiempo total de pastoreo disminuyó en 11 min kg de concentrado<sup>-1</sup>. Dicho estudio ha sido mencionado en los resultados de masa de bocado y tasa de bocado. Se indica que, al reunir todas las respuestas, por la reducción en el tiempo pastoreo disminuye el CMS en 2.3 kg d<sup>-1</sup>; cuando se comparan los tiempos de reducción de pastoreo, la ADF alta redujo 104 min d<sup>-1</sup>, mientras que para la ADF baja redujo 75 min d<sup>-1</sup>. Esto explica la reducción en el consumo de forraje (Bargo *et al.*, 2002), y por lo tanto la magnitud del ES.

### 3.15 Conclusiones

La respuesta a la suplementación no solo está influenciada por los efectos en el consumo de forraje y la eficiencia en la utilización de nutrientes, sino también por factores como la cantidad y tipo de alimentos base o suplemento, las modificaciones en el comportamiento ingestivo o factores determinados por el

manejo del pastoreo. Si existen altas tasas de sustitución se puede generar una estrategia positiva que permita aumentar la carga animal y por lo tanto el aprovechamiento del forraje restante consecuencia del efecto sustitutivo.

Al considerar la magnitud del efecto sustitutivo en los resultados citados,

afectada tanto por factores del animal, su capacidad de consumo debido a potencial genético o etapa de la lactancia, como factores de la oferta de forraje en la pradera (alta asignación o disponibilidad), es posible proponer que el efecto sustitutivo

será mayor en aquellas situaciones en que el animal se encuentre cercano a su máximo consumo de forraje, y en contraposición éste será menor cuando el animal se encuentre lejano a su máxima capacidad de consumir forraje.

### **3.16 Agradecimientos y conflicto de interés**

Los autores agradecen el apoyo del CONACYT para los estudios de doctorado

del primer autor y declaran que no tienen ningún conflicto de interés.

### **3.17 Contribuciones de los autores**

Citlali Anais Castro Jaime: Alumno doctorado, revisión de literatura y escritura del documento. Ricardo Daniel Améndola

Massiotti: Profesor-Investigador, idea original y revisión.

### **3.18 Literatura citada**

Albarrán-Portillo, B., F. López-González, M. Ruiz-Albarrán, and C. M. Arriaga-Jordán. 2019. Respuesta productiva y económica a la suplementación con concentrados de vacas lecheras en pastoreo con alta carga animal. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10: 855-869.

<https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i4.4787>

Al-Marashdeh, O., S. Greenwood, S. Hodge, and G. Edwards. 2015. The effects of feeding maize silage at different times prior to an herbage meal on dry matter intake, milksolids production and nitrogen excretion in late-lactation dairy cows. *Production. Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*,

75:140-144.

<https://researcharchive.lincoln.ac.nz/serve/r/api/core/bitstreams/0639942f-8737-4bbb-9409-f0063bfc3fdf/content>

Améndola, M. R. 2002. A dairy system based on forages and grazing in temperate México. PhD Thesis, Wageningen University, The Netherlands. 269 pp. ISBN 90-5808-587-2

Auldist, M. J., L. C. Marett, J. S. Greenwood, M. Hannah, J. L. Jacobs, and W. J. Wales. 2013. Effects of different strategies for feeding supplements on milk production responses in cows grazing a restricted pasture allowance. *Journal of Dairy Science*, 96: 1218-1231.

<https://doi.org/10.3168/jds.2012-6079>

Balocchi, L., F. Pulido, y V. Fernández. 2002. Comportamiento de vacas lecheras en pastoreo con y sin suplementación con concentrado. *Agricultura Técnica*, 62: 87-

98. <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072002000100009>

Bargo, F. 2003. Suplementación en pastoreo. Conclusiones sobre las últimas experiencias en el mundo. Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires. 1.

<https://www.agro.uba.ar/sites/default/files/catedras/bargo.pdf>

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

Bargo, F., L. D. Muller, E. S. Kolver y J. E. Delahoy. 2003. Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. *Journal of Dairy Science*, 86: 1-42. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73581-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73581-4)

Baudracco, J., N. Lopez-Villalobos, C. W.

Holmes y K. A. Macdonald. 2010. Effects of stocking rate, supplementation, genotype and their interactions on grazing dairy systems: A review. *Journal of Agricultural Research*, 53: 109-133.

<https://doi.org/10.1080/00288231003>

Beltrán, I. E., O. Al-Marashdeh, A. R. Burgos, P. Gregorini, O. A. Balocchi, F. Wittwer and R. G. Pulido. 2019. The order of grass and maize silage supplementation modifies milk yield, grazing behavior and nitrogen partitioning of lactating dairy cows. *Animals*, 9: 373.

<https://doi.org/10.3390/ani9060373>

Burke, F., M. A. O'Donovan, J. J. Murphy, F. P. O'Mara, and F. J. Mulligan. 2008. Effect of pasture allowance and supplementation with maize silage and concentrates differing in crude protein concentration on milk production and nitrogen excretion by dairy cows. *Livestock Science*, 114: 325-335.

<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.05.019>

9

Castro, J. C. 2020. Suplementación con concentrado sobre producción de leche individual y por hectárea de vacas Holstein en pastoreo. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo, México pp 34.

<http://repositorio.chapingo.edu.mx:8080/handle/20.500.12098/470>

Clark, C. E. F., R. Kaur, L. O. Millapan, H. M. Golder, P. C. Thomson, A. Horadagoda, ... and S. C. Garcia. 2018. The effect of temperate or tropical pasture grazing state and grain-based concentrate allocation on dairy cattle production and behavior. *Journal of Dairy Science*, 101: 5454-5465.

<https://doi.org/10.3168/jds.2017-13388>

Clark, D. A., S. L. Woodward. 2007. Supplementation of dairy cows, beef cattle and sheep grazing pasture. In: I. Rattray,

M. Brookes and A. M. Nicol (Eds.). Pasture and Supplements for Grazing Animals. New Zealand Society of Animal Production. Christchurch, New Zealand pp 117-132. ISBN: 0-473-05236-9

Decruyenaere, V., A. Buldgen, and D. Stilmant. 2009. Factors affecting intake by grazing ruminants and related quantification methods: a review. Biotechnology, Agronomy, Society and Environment, 13: 559-573  
<https://popups.uliege.be/1780-4507/index.php?id=17233&file=1&pid=4757>

Delaby, L., J. L. Peyraud, and R. Delagarde. 2001. Effect of the level of concentrate supplementation, herbage allowance and milk yield at turn-out on the performance of dairy cows in mid lactation at grazing. Animal Science, 73: 171-181.  
<https://doi.org/10.1017/S1357729800058161>

Delagarde, R., H. Valk, C. S. Mayne, A. J. Rook, A. González-Rodríguez, C. Baratte, P. Faverdin and J. L. Peyraud. 2011. Graze a Model of Herbage Intake and Milk Production for Grazing Dairy Cows. 3. simulations and external validation of the model. Grass Forage Science, 66:61–77.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2010.00769.x>

Dillon, P., D. P. Berry, R. D. Evans, F. Buckley and B. Horan. 2006. Consequences of genetic selection for increased milk production in European seasonal pasture-based systems of milk production. Livestock Science, 99:141-158.  
<https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2005.06.011>

Doole, G. J. (2014). Economic feasibility of supplementary feeding on dairy farms in the Waikato region of New Zealand. New Zealand Journal of Agricultural Research, 57: 90-99.

<https://doi.org/10.1080/00288233.2013.870915>

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: 1345-1369.

<https://doi.org/10.1002/ejlt.201400469>

Elizalde, J. C. (2003). Suplementación en condiciones de pastoreo. Jornada de Actualización Ganadera Balcarce [pdf] Consultado en junio 2023.

[https://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/invernada\\_o\\_engorde\\_pastoril\\_o\\_a\\_campo/56-suplementacion\\_campo.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_o_engorde_pastoril_o_a_campo/56-suplementacion_campo.pdf)

Fariña, S. R., S. C. Garcia, W. J. Fulkerson and I. M. Barchia, 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*, 66:316-332.

Faverdin, P., C. Baratte, R. Delagarde and J. L. Peyraud. 2011. Graze In: A Model of Herbage Intake and Milk Production for Grazing Dairy Cows. Prediction of intake capacity, voluntary intake and milk production during lactation. *Grass and Forage Science*, 66: 29-44.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2010.00776.x>

Forbes, J. M. 2007. Voluntary Food Intake and Diet Selection in Farm Animals. CAB International, Wallingford, UK. pp 453. ISBN 978-1-84593-280-0

Gekara, O. J., E. C. Prigge, W. B. Bryan, E. L. Nestor and G. Seidel. 2005. Influence of sward height, daily timing of concentrate supplementation, and restricted time for grazing on forage utilization by lactating beef cows. *Journal*

of Animal Science, 83: 1435-1444.

<https://doi.org/10.2527/2005.8361435x>

Granzin, B. C. 2004. Effects of supplement grain type and level of feeding

on the milk production of early-lactation

Holstein–Friesian cows grazing temperate

and tropical pastures. Australian Journal of

Experimental Agriculture, 44:735-743.

<https://doi.org/10.1071/EA03042>

Gregorini, P. 2012. Diurnal grazing pattern: its physiological basis and

strategic management. Animal Production

Science, 52: 416-430.

<https://doi.org/10.1071/AN11250>

Hanrahan, L., N. McHugh, T. Hennessy,

B. Moran, R. Kearney, M. Wallace, and

Shalloo, L. (2018). Factors associated with

profitability in pasture-based systems of

milk production. Journal of dairy science,

101: 5474-5485.

<https://doi.org/10.3168/jds.2017-13223>

Harrington, T., and R. C. Kellaway. 2004.

Feeding Concentrates-Supplements for

Dairy Cows. National Library of Australia

Cataloguing. 271 pp. ISBN 0 643 06941 0

Heublein, C., F. Dohme-Meier, K. H.

Südekum, R. M. Bruckmaier, S. Thanner

and F. Schori. 2017. Impact of cow strain

and concentrate supplementation on

grazing behaviour, milk yield and

metabolic state of dairy cows in an organic

pasture-based feeding system. Animal,

11:1163-1173.

<https://doi.org/10.1017/S1751731116002>

[639](https://doi.org/10.1017/S1751731116002)

Hills, J. L., W. J. Wales, F. R. Dunshea, S.

C. Garcia y and. R. Roche. 2015. An

evaluation of the likely effects of

individualized feeding of concentrate

supplements to pasture-based dairy cows.

Journal of Dairy Science, 98: 1363-1401.

<https://doi.org/10.3168/jds.2014-8475>

Holmes, C. W., J. R. Roche. 2007. Pastures and supplements in dairy production systems. In: I. Rattray, M. Brookes and A. M. Nicol (Eds.). Pasture and Supplements for Grazing Animals. New Zealand Society of Animal Production. Christchurch, New Zealand pp 221-242. ISBN: 0-473-05236-9

Hristov, A. N., W. J. Price and B. Shafii. 2005. A meta-analysis on the relationship between intake of nutrients and body weight with milk volume and milk protein yield in dairy cows. Journal of Dairy Science, 88: 2860-2869. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72967-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72967-2)

Jiménez-Rosales, J. D., y R. D. Améndola Massiotti. 2022. Comportamiento de ingestión y consumo de forraje por vacas en pastoreo en clima templado. Revisión. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 13: 43-762. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i3.6103>

Lazzarini, M. B., E. Demarchi, D. Lovino, J. Baudracco y J. M. Jáuregui. 2014. Evolución de la suplementación, el consumo de pastura y la producción de leche en sistemas lecheros de Argentina. FAVE. Sección Ciencias Agrarias; 13: 73-78. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/31540>

McCarthy, S., B. Horan, M. Rath, M. Linnane, P. O'Connor and P. Dillon. 2007. The influence of strain of Holstein-Friesian dairy cow and pasture-based feeding system on grazing behaviour, intake and milk production. Grass and Forage Science, 62: 13-26. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2007.00557.x>

Merino, V., O. Balocchi and R. Pulido. 2018. Effect of daily herbage allowance restriction on pasture characteristics and milk production by grazing dairy cows in spring. International Journal of Agriculture and Natural Resources, 45:21-

34.

<https://scielo.conicyt.cl/pdf/ciagr/v45n1/0304-5609-ciagr-45-01-0021.pdf>

Patton, D., L. Shalloo, K. M. Pierce, and B. Horan. 2012. A biological and economic comparison of 2 pasture-based production systems on a wetland drumlin soil in the northern region of Ireland. *Journal of Dairy Science*, 95: 484-495.  
<https://doi.org/10.3168/jds.2011-4558>

Pérez-Prieto, L. A., J. L. Peyraud, and R. Delagarde. 2011. Substitution rate and milk yield response to corn silage supplementation of late-lactation dairy cows grazing low-mass pastures at 2 daily allowances in autumn. *Journal of Dairy Science*, 94: 3592-3604.  
<https://doi.org/10.3168/jds.2011-4216>

Peyraud, J.L., and R. Delagarde. 2013. Managing variations in dairy cow nutrient supply under grazing. *Animal*, 7:57-67

<https://doi.org/10.1017/S1751731111002394>

Pulido RG, JD Leaver. 2001. Quantifying the influence of sward height, concentrate level, and initial milk yield on the milk production and grazing behaviour of continuously stocked dairy cows. *Grass and Forage Science*, 56: 57-67.  
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2494.2001.00246.x>

Pulido, R. G., A. Escobar, S. Follert, M. Leiva, P. Orellana, F. Wittwer y O. Balocchi. 2009. Efecto del nivel de suplementación con concentrado sobre la respuesta productiva en vacas lecheras a pastoreo primaveral con alta disponibilidad de pradera. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 41: 197-204.  
<http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2009000300003>

Ramírez-Mella, M., O. Hernández-Mendo, R. D. Améndola-Massiotti, E. J.

Ramírez- Bribiesca, G. D. Mendoza-Martínez y J. A. Burgueño-Ferreira. 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*, 42:1377-1383. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11250-010-9595-1>

Ramsbottom, G., B. Horan, D. P. Berry, and J. R. Roche. 2015. Factors associated with the financial performance of spring-calving, pasture-based dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 98: 3526-3540. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8516>

Reid, M., M. O'Donovan, J.P. Murphy, C. Fleming, E. Kennedy and E. Lewis. 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. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9016>

[9016](#)

Reis, R. B. and D. K. Combs. 2000. Effects of increasing levels of grain supplementation on rumen environment and lactation performance of dairy cows grazing grass-legume pasture. *Journal of Dairy Science*, 83: 2888-2898. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75189-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75189-7)

Riquelme, C. y R. G. Pulido. 2008. Efecto del nivel de suplementación con concentrado sobre el consumo voluntario y comportamiento ingestivo en vacas lecheras a pastoreo primaveral. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 40: 243-249. <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2008000300004>

Ruiter, J. M., D. E. Dalley, T. P. Hughes, T. J. Fraser, R. J. Dewhurst. 2007. Types of supplements: Their Nutritive Value and Use. In: I. Rattray, M. Brookes and A. M. Nicol (Eds.). *Pasture and Supplements for*

Grazing Animals. New Zealand Society of Animal Production. Christchurch, New Zealand pp 97-115. ISBN: 0-473-05236-9

Scott, B. A., A. Camacho, H. Golder, J. Molfino, K. L. Kerrisk, I. Lean, ... and C. E. F. Clark. 2014. The nutritive value of pasture ingested by dairy cows varies within a herd. Proceedings of the 6th Australasian Dairy Science Symposium. pp. 343-346.

<https://futuresdairy.com.au/wp-content/uploads/2016/02/64ClarkADSS2014.pdf>

Souza, M. A. E. Detmann, M. F. Paulino, C. B. Sampaio, I. Lazzarini, and S. C. Valadares Filho. 2010. Intake, digestibility and rumen dynamics of neutral detergent fibre in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogen and/or starch. Tropical Animal Health and Production, 42: 1299–1310.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11250-010-9566-6>

Stockdale, C. R. 2000. Levels of pasture substitution when concentrates are fed to grazing dairy cows in northern Victoria. Australian Journal of Experimental Agriculture, 40: 913–921.  
<https://doi.org/10.1071/EA00034>

Vazquez, O. P. and T. R. Smith. 2000. Factors affecting pasture intake and total dry matter intake in grazing dairy cows. Journal of Dairy Science, 83: 2301-2309.  
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75117-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75117-4)

Waghorn, G. C., Burke, J. L., & Kolver, E. S. (2007). Principles of Feeding Value. In: I. Rattray, M. Brookes and A. M. Nicol (Eds.). Pasture and Supplements for Grazing Animals. New Zealand Society of Animal Production. Christchurch, New Zealand pp 35-60. ISBN: 0-473-05236-9

Este manuscrito se envió a la revista *Tropical Animal Health and Production* el 2 de mayo del 2024.

#### **4 TIMING OF SUPPLEMENTATION ON INTAKE AND INGESTION BEHAVIOR OF GRAZING DAIRY COWS**

Citlali Anaís Castro Jaime

Universidad Autónoma Chapingo, Programa de Posgrado en Producción Animal, Texcoco, Mexico

ORCID ID: 0000-0001-7939-2016

Maria Magdalena Crosby Galvan

Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Programa de Ganadería, Texcoco, Mexico

ORCID ID: 0000-0003-2826-0632

Ricardo Daniel Amendola Massiotti (AUTOR DE CORRESPONDENCIA)

Universidad Autónoma Chapingo, Programa de Posgrado en Producción Animal, Texcoco, Mexico

ORCID ID: 0000-0001-6763-281X

e mail: r\_amendola@yahoo.com

Juan Andres Burgueño Ferreira

Unidad de Biometría y Estadísticas, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, Texcoco, Mexico

ORCID ID: 0000-0002-1468-4867

Rodolfo Ramirez Valverde

Universidad Autónoma Chapingo, Programa de Posgrado en Producción Animal, Texcoco, Mexico

ORCID ID: 0000-0002-3185-8494

Juan Daniel Jimenez Rosales

Universidad Autónoma Chapingo, Programa de Posgrado en Producción Animal, Texcoco, Mexico

ORCID ID: 0000-0001-6627-7414

#### 4.1 Summary

The objective was to evaluate the response of New Zealand Holstein cows to concentrate supplementation at contrasting times of the day on herbage intake and ingestive behavior. Two experiments were conducted in winter and spring-summer in a grazing dairy production system of *Medicago sativa* L. with *Dactylis glomerata* L. pastures. Three moments of supplying 5.0 kg DM concentrate cow<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> were used: AM after morning milking, PM after afternoon milking, and the AM-PM control equally dividing that amount after both milkings. The experimental units were groups of six (winter) and five (spring-summer) cows and their respective grazed areas. The design used was a three × three (treatments × periods) crossover; the allotment of groups to the treatments was consecutive and randomized. The management criterion of rotational grazing was 8 cm of residual forage height for all treatments. The analysis was issued with the GLM procedure of SAS, and the comparison of means for intake behavior variables was by contrast per period and treatments, while for herbage intake, the contrast was per treatment. Winter intake was not different ( $P < 0.5$ ) between treatments; however, during spring-summer, it was 8.1% lower ( $P < 0.005$ ) with AM supplementation. There was no effect ( $P > 0.5$ ) on total grazing time, rumination and other activities. In conclusion, AM supplementation in spring-summer with dominant evening grazing made more efficient use of herbage at its time of highest nutrient availability.

Key words: concentrate, residual forage height, titanium dioxide, acoustic recording system.

#### 4.2 Introduction

Supplementary feeding grazing dairy cows with concentrate is one of the main ways of making the intake of specific nutrients more precise (Bargo et al., 2003). This feeding strategy can increase total dry matter (DM) intake, although because of substitution, it can reduce herbage intake (Soca et al., 2014).

Herbage composition and timing of supply can affect the response to concentrate supplementation due to circadian changes in herbage (Gekara, Prigge, Bryan, Nestor, & Seidel, 2005). As the day progresses, the DM percentage increases due to transpiration (Gregorini, 2012), and contents of neutral detergent, acid detergent fiber (NDF and ADF), and protein are diluted as a result of increased concentrations of non-structural carbohydrates within leaves (Gregorini, Soder, Sanderson, & Ziegler, 2009), which contributes to the faster digestion of herbage particles.

Additionally, cows graze more intensively before sunset, regardless of the amount of supplementation provided (Sheahan et al., 2013), and have higher herbage utilization in the afternoon as the pasture has greater nutritive value (Soca et al., 2014).

Herbage intake estimates are essential for deciding the amount and timing of supplemental nutrients (Smith, Galyean, Kallenbach, Greenwood, & Scholljegerdes, 2021), as well as for real-time grazing management and better understanding the plant-animal relationship (Jiménez & Améndola, 2022). It depends on the ingestive behavior during grazing, which changes derive from the characteristics of the pasture (Jiménez & Améndola, 2022), supplementation (Sheahan, Kolver, & Roche, 2011), and the time of supplementation (Scaglia, Boland, & Wyatt, 2009).

It was hypothesized that morning supplementation versus afternoon or traditional supplementation, i.e., divided between both moments of the day, would allow increased afternoon grazing time and intake of highly digestible herbage. Hence, the objective was to evaluate the impact of the timing of concentrate supplementation on intake and ingestive behavior of rotational grazing Holstein cows.

#### **4.3 Materials and Methods**

##### **Location, experimental units**

During 2022 two experiments were performed at the Grazing Experimental Farm of Universidad Autonoma Chapingo, Texcoco, State of Mexico (19° 29' N, 98° 54' W, 2240 m a. s. l.), between February and March (winter) and between June and July (spring-summer). The climate is temperate sub-humid with summer rains, 636 mm annual rainfall and 15.2 °C mean annual temperature.

The experimental units were groups of six (winter) and five (spring-summer) lactating New Zealand Holstein cows and their respective grazed areas. The groups were homogenized and balanced according to initial live weight, body condition, parity, days in lactation, and previous milk production.

##### **Pastures and grazing management**

Ten paddocks of two- and three-year-old mixed alfalfa (*Medicago sativa* L.) and cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) pastures were used, with a total area of 4.5 ha. Grazing was intensive rotational with 5 d grazing and an average rest of 42 d (winter) or 40 d (spring-summer). Each paddock (36 m wide long rectangles) was divided

into three sections of 12 m width. Daily areas allotted to each group of cows were adjusted with a mobile electric fence, aiming a residual forage height of 8 cm in all treatments measured with a falling disk.

#### Experimental design and treatments

The design was a three  $\times$  three crossover; each group of cows received each treatment consecutively and randomly during three periods. Treatments were three moments after milking of supplementation with 5 kg DM cow<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> of concentrate, a) AM morning, b) PM afternoon, and c) AM-PM control divided in halves after both milkings. The concentrate was based on rolled corn, ground sorghum, gluten meal, bypass fat, molasses, and minerals; its chemical composition was 16.65% crude protein (CP), 20.43% NDF, and 4.98% ADF.

A 20-d adaptation phase was conducted, during which cows were adapted to group conformation, grazing management, and concentrate composition. Each experiment lasted 51 d, distributed in three periods of 17 d (P1, P2, P3), which contemplated two phases: adaptation to treatments (12 d) and data recording (5 d).

#### Measurements and experimental procedure

According to treatments, after milking (06:00-07:00 and 15:00-16:00) cows were for 30 minutes supplemented with concentrate in individual feeders; the remaining time they stayed in the paddocks with access to water *ad libitum*.

Estimates of the botanical-morphological and nutritional composition of the herbage were based on hand-plucked samples (Bonnet, Hagenah, Hebbelmann, Meuret, & Shrader, 2011). Samples composed of ten subsamples were collected in each experimental unit and divided in two for each analysis.

The botanical-morphological composition was estimated based on dry weigh proportions of hand-separated components. Herbage and concentrate samples were dried to constant weight at 55 °C and ground in a Wiley® 4 USA mill with a 1 mm sieve to determine nutritional composition. The method used to determine CP was Micro-Kjeldahl (A. O. A. C., 2005), NDF and ADF were estimated with an ANKOM200 equipment (A. O. A. C., 2005), and acid insoluble ash (AIA) was determined (A. O. A. C., 2005).

The morning and afternoon-evening daily grazed areas were computed at the end of each grazing session in the experimental units during the five measurement days per period. The length was recorded with TRUPER® measuring tape and converted in areas with the standard 12 m width of plots.

The variables measured in the animals were dry matter (DM) intake (DMI) kg d<sup>-1</sup>, grazing and rumination time. The DMI was assessed with TiO<sub>2</sub> and AIA as external and internal markers; the 94.3 % pure TiO<sub>2</sub> was offered according to treatments, mixed with the concentrate at a rate of 10 g cow<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> (Titgemeyer, Armendariz, Bindel, Greenwood, & Löest, 2001).

During measurement days, morning and afternoon feces samples were collected from each cow rectally. The samples were frozen and later thawed and weighed; subsequently, morning and afternoon samples were mixed per cow, dried at 60 °C for 48 hours in a forced air circulation oven, and ground in a Wiley® 4 USA mill with a 1 mm sieve.

The concentration of TiO<sub>2</sub> in feces was analyzed following Myers, Ludden, Nayigihugu, & Hess (2004), and colorimetric readings were taken in a BECKMAN® DU-65 USA spectrophotometer. Fecal DM production kg d<sup>-1</sup> was calculated from Equation 1 (Penning, 2004).

$$FP = \frac{MD}{CMF} \quad (1)$$

Where,

FP= Fecal production (kg DM d<sup>-1</sup>)

MD= Marker dose (mg d<sup>-1</sup>)

CMF= Concentration of marker in feces (mg kg<sup>-1</sup>)

The above result was used to estimate herbage intake (HI) per cow, based on the equation proposed by Geerken et al. (1987), adapted to the feeding components of this study (Equation 2).

$$HI = \frac{[(AIA)F \times FP] - [(AIA)C \times TCI]}{(CIA)P} \quad (2)$$

Where,

HI: Herbage intake (g d<sup>-1</sup>)

(AIA)F: Concentration of AIA in feces (g kg<sup>-1</sup> DM)

FP: Fecal production (kg d<sup>-1</sup>)

(AIA)C: Concentrate AIA concentration (g kg<sup>-1</sup> DM)

TCI: Total concentrate intake (kg d<sup>-1</sup> DM)

(AIA)H: AIA concentration in herbage (g g<sup>-1</sup> DM)

Total DMI was calculated by summing daily HI and concentrate intake.

Grazing and rumination times were quantified from 141 sound records during 23-hour grazing periods on three, always the same, cows per group. Animals were previously adapted to using the equipment. During three d with one rest day in between, two daily sessions were performed, morning (7:30-15:00) and afternoon-evening (15:30-7:00 of the following day). Each cow was equipped with an adapted voice recorder (ICD-PX470, SONY, China) attached to a muzzle and a unidirectional microphone (MIC-290, STEREN, Mexico) with a frequency response of 80-12500 Hz and a sensitivity of 40 dB. The microphone was attached to the cow's forehead with an elastic band (Chelotti et al., 2020).

The sound recordings were downloaded in MP3 format and analyzed (Navon, Mizrach, Hetzroni, & Ungar, 2013) with the playback of each signal in the Audacity Editor (version 2.3.1.). Sound waves were classified into a) grazing, i.e., the sound generated by the tearing of herbage during herbage handling and tearing, and b) ruminating, i.e., the return of the cud to the mouth for chewing a second time. Sounds were identified by reproducing the audio signals as morning, afternoon and night activities. Results were averaged per experimental unit.

#### Statistical analysis

Data analysis was run with SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Carry, NC, USA), using the GLM procedure. The statistical model used included effects of period, group and treatment (Equation 3).

$$Y_{ijk} = \mu + \text{Period}_i + \text{Group}_j + \text{Treatment}_k + E_{ijk} \quad (3)$$

Where:  $Y_{ijk}$  represented the average value across cows and d of measurement on intake, times of daily and morning, afternoon and night grazing, rumination and other activities; means of times of activities were contrasted by treatments and periods, while those of intake were contrasted only per treatment. Using the LSMEANS test, the comparison of means was performed using the Tukey-Kramer test. Data on herbage and

grazed areas were analyzed using the GLM procedure; fixed effects of treatment and time of measurement were included in the model. Means were estimated with LSMEANS and compared using the TUKEY test.

#### 4.4 Results

The proportion of alfalfa in herbage on offer (Table 1) during winter and spring was similar ( $P=0.05$ ) between periods of each experiment; it was 18% higher during spring-summer than in winter, being the dominant component in the pasture; the opposite occurred with the proportion of cocksfoot.

Table 1. Average botanical and morphological composition of herbage on offer.

| Period <sup>Ω</sup> | Component (%) |        |      |         |       |          |
|---------------------|---------------|--------|------|---------|-------|----------|
|                     | Alfalfa       |        |      | Orchard | Weeds | Dead     |
|                     | Leaf          | Flower | Stem | grass   |       | Material |
| P1-I <sup>£</sup>   | 40.7          | 0      | 19   | 31.4    | 3     | 1.1      |
| P2-I <sup>£</sup>   | 41.5          | 0.6    | 22.4 | 31.2    | 0.5   | 5.9      |
| P3-I <sup>£</sup>   | 42.1          | 0.5    | 22.7 | 30.6    | 1.1   | 6.4      |
| P1-PV <sup>€</sup>  | 47.2          | 2.2    | 29.6 | 17.8    | 0.6   | 2.6      |
| P2-PV <sup>€</sup>  | 47            | 1.5    | 26.3 | 20.9    | 1.4   | 2.9      |
| P3-PV <sup>€</sup>  | 45.9          | 2.3    | 26.4 | 20.6    | 1.8   | 3.1      |

<sup>Ω</sup>P1, P2, P3 = periods of the experiment; <sup>£</sup> I= Winter: <sup>€</sup> P-V=Spring-Summer

Tables 2 and 3 show the results on herbage and concentrate nutritional components. The DM content was 12.5% (winter) and 12.9% (spring-summer) higher ( $P\leq 0.05$ ) during the afternoon. Likewise, NDF, ADF, and CP contents were higher ( $P\leq 0.05$ ) in the morning than in the afternoon samples.

Table 2. Chemical composition (% DM) of herbage and concentrate in winter.

| Component        | Herbage         |      |                 |      |                 |      | Concentrate |
|------------------|-----------------|------|-----------------|------|-----------------|------|-------------|
|                  | P1 <sup>‡</sup> |      | P2 <sup>‡</sup> |      | P3 <sup>‡</sup> |      | Winter      |
|                  | am              | pm   | am              | pm   | am              | pm   |             |
| DM <sup>†</sup>  | 22.2            | 24.5 | 22.4            | 26.1 | 22.4            | 25.9 | 97.5        |
| NDF <sup>Ω</sup> | 40.8            | 38.7 | 38.1            | 37.1 | 39.2            | 37.8 | 21.8        |
| ADF <sup>€</sup> | 28.5            | 25.6 | 27.8            | 26.6 | 31.2            | 28.9 | 4.9         |
| Ash              | 11              | 10.8 | 9.5             | 8.9  | 8.5             | 8.5  | 3.6         |
| CP <sup>§</sup>  | 20.1            | 17.8 | 19.4            | 18.4 | 19              | 17.8 | 16.7        |

<sup>‡</sup>P1, P2, P3 = experimental periods; <sup>†</sup>Dry Matter; <sup>Ω</sup>Neutral Detergent Fiber; <sup>€</sup>Acid Detergent Fiber; <sup>§</sup>Crude Protein.

Table 3. Chemical composition (% DM) of herbage and concentrate in spring-summer.

| Component        | Herbage         |      |                 |      |                 |      | Concentrate   |
|------------------|-----------------|------|-----------------|------|-----------------|------|---------------|
|                  | P1 <sup>‡</sup> |      | P2 <sup>‡</sup> |      | P3 <sup>‡</sup> |      | Spring-summer |
|                  | AM              | PM   | AM              | PM   | AM              | PM   |               |
| DM <sup>†</sup>  | 21.1            | 24.2 | 21.7            | 24   | 22              | 26.3 | 96.9          |
| NDF <sup>Ω</sup> | 55.2            | 50.9 | 49.2            | 44.3 | 44.1            | 41.3 | 19.1          |
| ADF <sup>€</sup> | 38.6            | 36.7 | 33.2            | 28.9 | 31.3            | 27.6 | 5             |
| Ash              | 10.1            | 9.6  | 10.3            | 10.2 | 9.2             | 8.4  | 3.9           |
| CP <sup>§</sup>  | 19.5            | 17.5 | 21.3            | 18.6 | 20.1            | 18.5 | 16.6          |

<sup>‡</sup>P1, P2, P3 = experimental periods; <sup>†</sup>Dry Matter; <sup>Ω</sup>Neutral Detergent Fiber; <sup>€</sup>Acid Detergent Fiber; <sup>§</sup>Crude Protein.

The morning grazed area of the AM treatment (Figure 1) was lower ( $P \leq 0.05$ ), while that of PM was higher ( $P \leq 0.05$ ), and the opposite occurred in afternoon-evening grazed areas. No differences ( $P > 0.005$ ) were found in daily grazed areas, which were 208 and 232 m<sup>2</sup> group<sup>-1</sup> in winter and spring-summer.

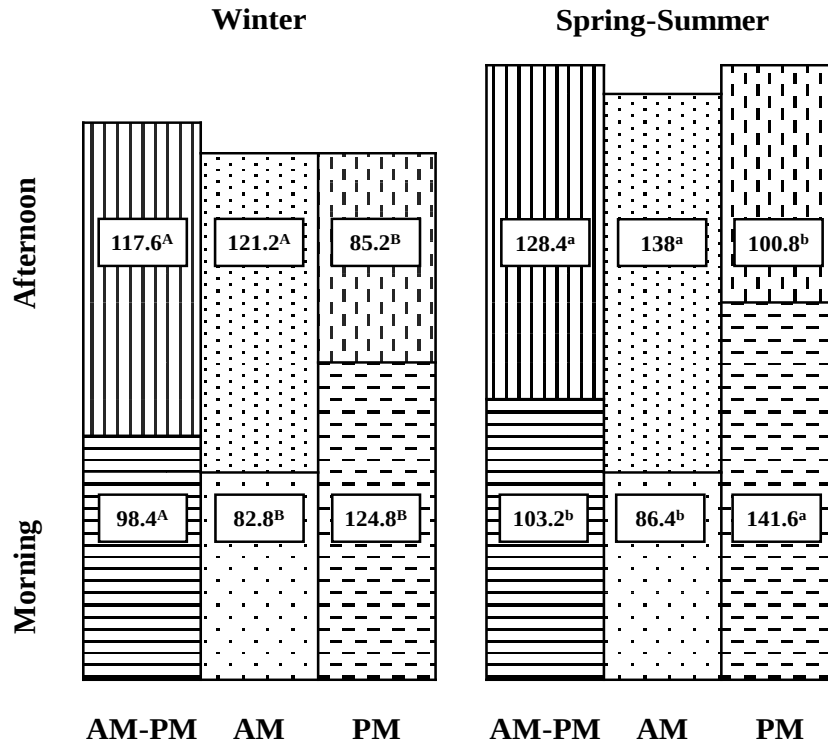


Figure 1. Daily grazed areas ( $\text{m}^2 \text{ group}^{-1}$ ) of dairy cows supplemented with concentrate at contrasting times of the day. Means with different capital letters are different ( $P < 0.5$ ) (Winter), and means with different lowercase letters are different ( $P < 0.5$ ) (Spring-summer).

The timing of concentrate supplementation did not affect ( $P > 0.5$ ) herbage intake in winter (Table 4). However, during spring-summer, the intake in AM was 8.1% lower ( $P < 0.005$ ).

Table 4. Total and herbage intake ( $\text{kg DM d}^{-1}$ ) of grazing dairy cows supplemented with concentrate at contrasting times of the day.

| Experiment | Attribute      | Treatment <sup>£</sup> |      |      | Mean | SE <sup>Ω</sup> |
|------------|----------------|------------------------|------|------|------|-----------------|
|            |                | AM-PM                  | AM   | PM   |      |                 |
| Winter     | Total intake   | 17.7                   | 17.0 | 18.2 | 17.7 | 0.3             |
|            | Herbage intake | 12.7                   | 12.0 | 13.2 | 12.7 | 0.3             |

|               |                |       |       |       |      |     |
|---------------|----------------|-------|-------|-------|------|-----|
| Spring-summer | Total intake   | 18.5  | 17.4  | 18.5  | 18.1 | 0.1 |
|               | Herbage intake | 13.5a | 12.4b | 13.5a | 13.1 | 0.1 |

<sup>£</sup>AM-PM, AM, PM = Timing of offering supplementary feeding with concentrate; <sup>Ω</sup>EE=Standard error. Means with lowercase literals in the row differ ( $P < 0.05$ ).

Times of grazing, rumination, and other activities were not different ( $P > 0.5$ ) among treatments (Figure 2). The average percentage of grazing time during winter was 25.4% and 23.25% in spring-summer; the average percentage of ruminating time was 25.09% during winter and 29.1% in spring-summer.

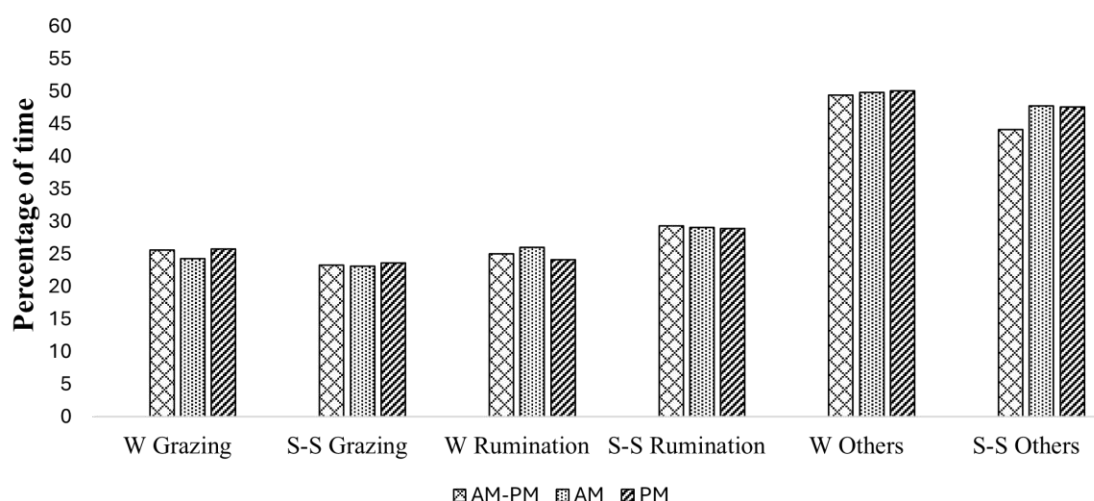


Figure 2. Ingestive behavior of dairy cows supplemented at different moments after milkings (AM, PM, divided AM-PM,) during winter (W) and spring-summer (S-S).

No differences ( $P > 0.5$ ) were found in time spent grazing at different moments of the day during winter (Table 5) average percentages of grazing times were 43.4% in the morning, 37.7% in the afternoon and 19 % at night. In spring-summer, morning grazing of the AM treatment was 16.2% ( $P > 0.005$ ) lower than that of the PM treatment. Averages of morning, afternoon-evening and night grazing in spring-summer were 43.3%, 44.2% and 13.3%, respectively.

Table 5. Percentage grazing of dairy cows supplemented at contrasting times of the day.

| Experiment    | Period    | AM-PM <sup>£</sup> | EE <sup>§</sup> | AM <sup>£</sup> | EE <sup>§</sup> | PM <sup>£</sup> | EE <sup>§</sup> |
|---------------|-----------|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Winter        | Morning   | 44.7               | 0.01            | 43.5            | 0.01            | 41.9            | 0.01            |
|               | Afternoon | 38.6               | 0.02            | 36.3            | 0.07            | 38.8            | 0.02            |
|               | Night     | 17                 | 0.02            | 20.1            | 0.04            | 19.8            | 0.04            |
| Spring-summer | Morning   | 44.3A <sup>¥</sup> | 0.01            | 39.2B           | 0.02            | 46.8A           | 0.02            |
|               | Afternoon | 45.6               | 0.02            | 46.9            | 0.03            | 40.2            | 0.02            |
|               | Night     | 11.9               | 0.02            | 16.1            | 0.03            | 11.9            | 0.02            |

<sup>£</sup>AM-PM, AM, PM= time of concentrate supply as a supplement, <sup>§</sup>EE= standard error, <sup>¥</sup> Means with different capital letters in the row are different (P>0.005).

Treatments did not affect rumination time (P>0.5) (data not shown), which, on average, took place mostly at night (69.8%).

#### 4.5 Discussion

The following discusses key features of this research on the effect of the timing of supplementation on DM intake and ingestive behavior of grazing dairy cows in winter and spring-summer.

##### Herbage composition

Herbage on offer consisted mainly of alfalfa, 63.2% in winter and 76.1% in spring-summer, leafier in winter (66%) than in spring-summer (61%), consistently as main components; the opposite occurred with cocksfoot. These changes respond to the winter decline in herbage accumulation rate of alfalfa, as reported by Esparza et al. (2009); Jiménez-Rosales et al. (2018) also report shifts in proportions associated with differences in the seasonal growth rates of these species. In this study, the grazing management criterion of 8 cm of residual forage height with tighter control resulted in an increase in defoliation intensity, which according to Améndola et al. (2018) led to the predominance of alfalfa.

Fiber and CP concentrations were lower in the afternoon. Also, Putnam et al. (1998) reported lower contents of CP and FDA in the afternoon than in early morning hours, leading to higher total digestible nutrients of alfalfa

in the evening periods. Higher DM and lower NDF, FDA, and CP concentrations of herbage grazed in the afternoon are associated with circadian changes in herbage composition (Gekara et al., 2005), resulting from changes in the balance between rates of photosynthesis, respiration, translocation, and growth, leading to changes in herbage quality throughout the day (Gregorini et al., 2009). During the day herbage accumulates DM due to photosynthetic rate and water loss through transpiration (Gregorini, 2012). The relative increase in photosynthetic rate versus respiration and growth rates results in the dilution of fiber concentration, fracture strength decreases, and the rate of reduction in particle size increases from dawn to dusk (Gregorini et al., 2009). For all these reasons, concurring with our results, herbage harvested by animals in the afternoon had greater nutrient availability.

#### Herbage intake

The management criterion allowed quantifying the area grazed during different moments of the day. Compared to that of the other treatments, the area grazed during the morning in the AM treatment was lesser, but greater in the afternoon. Two factors engaged in this result, the effect of supplementation on grazing time reduction (Bargo et al., 2003) and the changes in the chemical composition of herbage, which stimulated physiological and behavioral responses (Strubbe & Woods, 2004). Likewise, the timing of concentrate intake combined with pasture allocation will influence herbage substitution by supplements (Gekara et al., 2005). The decrease in grazing activity following morning supplementation is more due to neuroendocrine factors ascribed to feed digestion than to distention factors; in contrast, the end of evening grazing is signaled by sunset, regardless of the time of supplementation (Sheahan, Kolver, and Roche, 2011).

In the winter experiment, there was no treatment effect ( $P>0.05$ ) on DMI. In this regard, Sheahan et al. (2013) mention that, though supplementation reduced ( $P<0.001$ ) DMI, there were no effect of AM or PM supplementation on DMI. Conversely, Bargo et al. (2003) report that the total DMI of dairy cows consuming exclusively herbage will be lower than that of dairy cows on mixed diets or herbage plus concentrate. In this study, the average total DMI of both experiments was 17.2 and 18.3 kg DM  $d^{-1}$  in the AM and PM supplementation, respectively ( $P>0.05$ ), representing, on average, 3.6% of cows BW. Although the average herbage intake in this study (12.6 kg DM  $cow^{-1} d^{-1}$ , 2.6% BW; Table 4) was lower than the 15.0 kg DM  $cow^{-1}$

d<sup>-1</sup> reported by Sheahan et al. (2013) with a similar level of supplementation, the comparison is unfeasible because these authors did not report BW of their cows.

#### Ingestive behavior

The pattern of grazing activities is complemented by ruminating and resting activities. Variations between these activities occur throughout the day and are modified by elements such as grazing management, pasture characteristics, supplementation (Gibb, Huckle, & Nuthall, 1998; Orr, Penning, Harvey, & Champion, 1997), or diurnal changes in herbage nutritional composition (Orr et al., 1997).

In the spring-summer morning grazing time of the AM treatment was 16.2% lower ( $P>0.005$ ) than that of the PM treatment. Sheahan et al. (2011) reported that when cows received supplementation during morning and evening milking, grazing time was reduced during the day, without affecting pre-dusk grazing, the most intensive grazing period of the day (Gibb et al., 1998; Scaglia, Boland, & Wyatt, 2009). The decrease in morning grazing time was probably due to the average 12-minute decrease in grazing time per kg DM of supplement consumed, as Bargo et al. (2003) reported in their review on supplementation in grazing systems.

During spring-summer morning grazing time in the PM treatment concentrated was higher than in the other treatments (Gregorini, 2011). The lack of intake and the greater time spent ruminating at night, as in this experiment, generate less ruminal filling in the morning because of digestion and natural rumen passage; lower ruminal filling, rumen void sensation, and concomitant higher ghrelin concentrations must have been the internal stimuli leading to that behavior (Gregorini, 2011). Toates (2002) points out that this would be the main stimulus for the higher intake rates during dawn (equivalent to morning grazing in PM cows). Additionally, there is greater grazing activity after milking, which results from short-term fasting due to withdrawing from the pasture for 60 minutes at each milking.

In support of what was studied in this experiment, Gregorini (2012) highlighted that the mechanisms of feeding adaptation to different schedules can be used as a strategic management tool to modify the frequency, intensity, and distribution of daytime grazing events with the objective of concentrating and modulating nutrient supply and grazing.

## 4.6 Conclusion

Herbage composition varied during the day, and in the afternoon, it presented lower NDF and ADF contents, so the supplementation provided exclusively in the morning caused that in spring-summer with greater evening grazing in this treatment, the herbage was used more efficiently at that time of its greater availability of nutrients. Cows supplemented during the morning grazed 63% of their grazing area in the afternoon versus 49% of the other two treatments; this higher evening grazing had the advantage of forage with 31.1% ADF versus 34.4% ADF of the forage grazed during the morning.

Acknowledgements. We thank the support and assistance of Eng. Elsa Margarita Crosby Galvan.

Author contributions. C.A.C.J. developed the experimental work, sample collection, laboratory analysis and writing of this research. R.D.A.M. guided the research methodology, obtained funding for this research, and reviewed the writing. M.M.C.G. supervised and participated in the laboratory analysis. J.A.B.F. supported and reviewed the statistical analysis of data. R.R.V. participated in the preparation, review, and correction of this manuscript. J.D.J.R. advised, participated, and guided the methodology for the use of the acoustic recording system.

Funding. This study was financially supported by the Universidad Autonoma Chapingo.

Data availability. The associated author will provide the datasets upon reasonable request.

Declarations

Animal rights statement. The study was carried out in accordance with guidelines of the Research Ethics Committee of the EU Directive 2010/63/EU for animal experiments.

Competing interests. The authors declare no conflict-of-interest associated with this manuscript.

## 4.7 References

- Améndola-Massiotti, R. D., Jiménez-Rosales, J. D., Burgueño-Ferreira, J. 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.
- AOAC, (2005). *Official Methods of Analysis of Association of Official Agricultural Chemists*. (Eighteen edit). AOAC International, Washington, D. C

- Bargo, F., Muller, L. D., Kolver, E. S., & Delahoy, J. E. (2003). Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. *Journal of Dairy Science*, 86(1), 1-42.
- 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.
- Esparza, J. Z., Garay, A. H., Pérez, J. P., Haro, J. G. H., Gallardo, F. O., Hernández, P. A. M., ... & Carrillo, A. R. Q. (2009). Análisis de crecimiento estacional de una pradera asociada alfalfa-pasto ovinillo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 47(2), 173-178.
- Gekara, O. J., Prigge, E. C., Bryan, W. B., Nestor, E. L., & Seidel, G. (2005). Influence of sward height, daily timing of concentrate supplementation, and restricted time for grazing on forage utilization by lactating beef cows. *Journal of Animal Science*, 83(6), 1435-1444.
- Gibb, M. J., Huckle, C. A., & Nuthall, R. (1998). Effect of time of day on grazing behavior by lactating dairy cows. *Grass and Forage Science*, 53(1), 41-46.
- Gregorini, P. (2011). Estado interno. estímulos que motivan el consumo y ciertas conductas ingestivas de rumiantes en pastoreo. *Produccion Animal en Pastoreo. Buenos Aires: Ediciones INTA*, 513-65.
- Gregorini, P. (2012). Diurnal grazing pattern: its physiological basis and strategic management. *Animal Production Science*, 52(7), 416-430.
- Gregorini, P., Gunter, S. A., Beck, P. A., Soder, K. J., & Tamminga, S. E. E. R. P. (2008). The interaction of diurnal grazing pattern, ruminal metabolism, nutrient supply, and management in cattle. *The Professional Animal Scientist*, 24(4), 308-318.
- Gregorini, P., Soder, K. J., Sanderson, M. A., & Ziegler, G. R. (2009). Toughness, particle size and chemical composition of meadow fescue (*Festuca pratensis* Hud.) herbage as affected by time of day. *Animal Feed Science and Technology*, 151(3-4), 330-336.

- Jiménez-Rosales, J. D., & Améndola-Massiotti, R. D. (2022). Comportamiento de ingestión y consumo de forraje por vacas en pastoreo en clima templado. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 13(3), 743-762.
- Jiménez-Rosales, J. D., Améndola-Massiotti, R. D., Burgueño-Ferreira, J. A., Ramírez-Valverde, R., Topete-Pelayo, P., & Huerta-Bravo, M. (2018). Herbage intake of dairy cows in mixed sequential grazing with breeding ewes as followers. *Tropical Animal Health and Production*, 50, 531-536.
- Myers K, Ludden P, Nayigihugu V, Hess B. (2004). A procedure for the preparation and quantitative analysis of samples for titanium dioxide. *Journal of Animal Science* 82: 179-183.
- Navon, S., Mizrach, A., Hetzroni, A., & Ungar, E. (2013) Automatic recognition of jaw movements in free-ranging cattle, goats and sheep, using acoustic monitoring. *Biosystems Engineering*, 114 (4), 474-483.
- Orr, R. J., Penning, P. D., Harvey, A., & Champion, R. A. (1997). Diurnal patterns of intake rate by sheep grazing monocultures of ryegrass or white clover. *Applied Animal Behaviour Science*, 52(1-2), 65-77.
- Penning, P. D. (2004). Animal-based techniques for estimating herbage intake. In: Herbage Intake Handbook. P. D. Penning (Ed.) 2<sup>nd</sup> Ed. The British Grassland Society. UK. pp:53-84.
- Putnam, D., Mueller, S., Marcum, D., Frate, C., Lamb, C., Canevari, M., ... & Denison, F. (1998). Diurnal changes in alfalfa forage quality. In *Proceedings, 28th California/NV Alfalfa Symposium. December* (pp. 3-4).
- SAS Institute. (2004). *SAS/ETS 9.1 User's Guide*. SAS Institute. Cary, North Carolina, USA.
- Scaglia, G., Boland, H. T., & Wyatt, W. E. (2009). Effects of time of supplementation on beef stocker calves grazing ryegrass. II. Grazing behavior and dry matter intake. *The Professional Animal Scientist*, 25(6), 749-756.
- Sheahan, A. J., Gibbs, S. J., & Roche, J. R. (2013). Timing of supplementation alters grazing behavior and milk production response in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 96(1), 477-483.

- Sheahan, A. J., Kolver, E. S., & Roche, J. R. (2011). Genetic strain and diet effects on grazing behavior, pasture intake, and milk production. *Journal of Dairy Science*, 94(7), 3583-3591.
- Smith, W. B., Galyean, M. L., Kallenbach, R. L., Greenwood, P. L., & Scholljegerdes, E. J. (2021). Understanding intake on pastures: How, why, and a way forward. *Journal of Animal Science*, 99(6).
- Soca, P., González, H., Manterola, H., Bruni, M., Mattiauda, D., Chilibroste, P., & Gregorini, P. (2014). Effect of restricting time at pasture and concentrate supplementation on herbage intake, grazing behaviour and performance of lactating dairy cows. *Livestock Science*, 170, 35-42.
- Strubbe, J. H., & Woods, S. C. (2004). The timing of meals. *Psychological Review*, 111(1), 128.
- Titgemeyer E, Armendariz C, Bindel D, Greenwood R, & Löest C. (2001). Evaluation of titanium dioxide as a digestibility marker for cattle. *Journal of Animal Science*, 79, 1059-1063.
- Toates, F. (2002). Physiology, motivation and the organization of behavior. In: P. Jensen (Ed.). *The Ethology of Domestic Animals: An Introductory Text*. CAB International, Wallingford, UK, 31-50

Este manuscrito se envió a la *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* el 2 de mayo del 2024.

## **5 MOMENTO DE LA SUPLEMENTACIÓN SOBRE CARGA ANIMAL Y PRODUCCIÓN DE LECHE POR HECTÁREA DE VACAS HOLSTEIN EN PASTOREO**

### **5.1 Resumen**

El objetivo fue evaluar, en pastoreo de praderas mixta de *Medicago sativa* L. y *Dactylis glomerata* L., la respuesta de vacas Holstein Neozelandés a la suplementación con concentrado en diferentes momentos del día sobre, producción individual, carga animal y producción de leche por hectárea. Se realizaron dos experimentos, en invierno (I) y en primavera-verano (P-V), con un diseño cruzado 3×3. Los tratamientos fueron tres momentos de oferta de concentrado (5.0 kg de MS vaca<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) como suplemento luego de la ordeña matinal (AM), de la vespertina (PM), y dividido equitativamente en ambas ordeñas (AM-PM). Las unidades experimentales fueron lotes de seis (I) o cinco vacas (P-V) y sus respectivas áreas de pastoreo. El criterio de manejo del pastoreo rotacional fue 8 cm de altura de forraje residual para todos los tratamientos; esto permitió estimar el efecto de los tratamientos sobre la carga animal. No hubo efecto ( $P>0.05$ ) sobre carga animal. La producción de leche por vaca en AM fue un 10.2% superior mayor que los otros dos tratamientos en promedio, tanto en I (8.6%,  $P=0.0002$ ), como en P-V (11.7%,  $P<0.0001$ ). El incremento en producción de leche por ha (9%) se debió a la respuesta individual y no a diferencias en carga animal. El criterio de manejo de pastoreo con altura única de forraje residual permitió, de modo sencillo, estimar la respuesta en carga animal y con ello la producción de leche por ha.

Palabras clave: concentrado, producción individual, manejo de pastoreo, diseño cruzado

## TIMING OF SUPPLEMENTATION ON STOCKING RATE AND MILK PRODUCTION PER HECTARE OF GRAZING HOLSTEIN COWS

### 5.2 Abstract

The objective was to evaluate, in mixed pasture grazing of *Medicago sativa* L. and *Dactylis glomerata* L., the response of New Zealand Holstein cows to supplementation with concentrate at different times of the day on, milk production per cow, stocking rate and milk production per hectare. Two experiments were conducted during winter (W) and spring-summer (S-S) under a 3×3 cross-over design. Treatments were three moments of offering, as a supplement, 5.0 kg DM of concentrate cow<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> after morning milking (AM), afternoon milking (PM), and divided equally in both milkings (AM-PM). The experimental units were groups of six (W) or five cows (S-S) and their grazed areas. The rotational grazing management criterion was 8 cm residual forage height in all treatments, which allowed the assessment of the effect of the moment of supplementation on the stocking rate. Milk production per cow in AM was 10.2% higher than the other two treatments on average, both in I (8.6%, P=0.0002), and in P-V (11.7%, P<0.0001). The increase in milk production per ha (9%) was due to the individual response and not to differences in stocking rate. The grazing management criterion used allowed estimating the effect on stocking rate and, hence, on milk production per hectare in a straightforward way.

Keywords: concentrate, milk production per cow, grazing management, cross-over experimental design

### 5.3 Introducción

Las mejoras en el manejo de los sistemas de producción de leche en pastoreo han resultado en grandes aumentos en la producción de leche por ha en trabajos experimentales <sup>(1)</sup>. Entre los principales factores interrelacionados responsables de este aumento en la productividad están la carga animal (CA) <sup>(2)</sup> y el uso de suplementos concentrados <sup>(3)</sup>.

La suplementación con concentrado es una práctica comúnmente utilizada en sistemas pastoriles para optimizar el estado nutricional de los animales, y la producción de leche individual <sup>(4)</sup> y por unidad de área, ya que permite utilizar el forraje con mayor eficiencia, mejorar la composición de la leche y, eventualmente, aumentar la CA <sup>(5)</sup>. En sistemas bajo pastoreo, la CA es importante para determinar la eficiencia del sistema <sup>(6)</sup>. El interés del aumento en la producción de leche por ha radica en uno de los principales objetivos en pastoreo, que es maximizar la rentabilidad por ha de tierra de pastoreo, haciendo un uso más eficiente del forraje <sup>(7)</sup>.

El aumento en la producción de leche por ha a medida que aumenta la CA, en respuesta a la suplementación <sup>(8)</sup>, es más afectada por los cambios en la CA que por los cambios en la producción individual <sup>(9)</sup>. La respuesta a la suplementación también puede ser afectada por el momento de oferta del concentrado, a través de efectos sobre el nivel de sustitución del forraje de la pradera <sup>(10)</sup>, la digestión de la fibra y otras variables asociadas con la fermentación ruminal <sup>(11)</sup>. Tales efectos son atribuidos a los cambios diurnos debidos al ciclo circadiano en el ambiente ruminal, en la composición del forraje, y en el comportamiento de ingestión del ganado <sup>(11)</sup>.

Se ha reportado que independientemente de la cantidad del suplemento suministrada, las vacas pastorean con mayor intensidad antes de la puesta del sol <sup>(10)</sup>. Por lo anterior, el pastoreo vespertino tiene mayor duración e importante para el consumo de forraje, por efecto de ritmos

circadianos en la fotosíntesis, la acumulación de MS, de carbohidratos y ácidos grasos, que facilitan la descomposición de las partículas de forraje durante las fases iniciales de la digestión <sup>(12)</sup>.

Con base en lo anterior se formuló la hipótesis que la suplementación en horas de la mañana permitiría incrementar la producción individual de leche frente a la suplementación vespertina o la suplementación dividida entre ambas horas del día, misma que constituye la práctica regular. Por ello, el objetivo fue evaluar el impacto del momento 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 ha.

#### **5.4 Material y métodos**

##### **Ubicación, unidad experimental**

Se realizaron dos experimentos en el Módulo de Pastoreo de la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México (19° 29' N, 98° 54' O, 2240 msnm); el primero del 04 de febrero al 26 de marzo (en invierno, I), y el segundo del 06 de junio al 26 de julio (en primavera-verano, P-V), ambos en 2022. El clima es templado subhúmedo con lluvias de verano, con una precipitación anual de 636 mm, y temperatura media anual de 15.2 °C <sup>(13)</sup>.

Las unidades experimentales fueron lotes de seis (I) o cinco (PV) vacas Holstein Neozelandés en lactancia en períodos de 17 días y sus respectivas áreas de pastoreo. Los lotes de vacas se homogenizaron, balanceándolos en función del peso vivo inicial, número de partos, días en lactancia y producción de leche durante dos semanas previas a la lotificación.

##### **Praderas y manejo de pastoreo**

Se utilizaron diez potreros de alfalfa asociada con pasto ovillo de entre dos y tres años de establecidas, con área total de 4.5 ha.

El pastoreo fue rotacional intensivo, con promedio de 5 d de ocupación, y 42 y 40 d de descanso para I y P-V, respectivamente. Cada uno de los potreros fue dividido en tres secciones, las áreas asignadas diariamente a cada lote de vacas fueron ajustadas con movimientos de cerco eléctrico móvil, con el objetivo de obtener 8 cm de altura de forraje residual en los tres tratamientos; las mediciones de altura se realizaron con disco descendente. La CA se consideró como variable de respuesta a la suplementación resultante del área pastoreada en cada potrero. Por lo anterior, el criterio utilizado de manejo del pastoreo fue un componente esencial para cumplir tal objetivo.

#### Diseño experimental y tratamientos

El experimento se estableció en un diseño cruzado 3×3. Los tratamientos fueron tres momentos de suplementación (posterior al ordeño): dividida entre mañana y tarde (AM-PM), matutina (AM) y vespertina (PM).

Previo al inicio del experimento se realizó un periodo de adaptación de 20 días para la conformación de los lotes, el manejo de pastoreo y composición del concentrado. Cada experimento tuvo una duración de 51 d, dividido en tres periodos (P1, P2 y P3) de 17 días. A su vez, cada periodo fue dividido en dos fases: a) la adaptación al nivel de concentrado correspondiente a cada tratamiento (12 d), y b) el registro de datos de las variables de respuesta (5 d). El nivel de suplementación con concentrado ofrecido fue de 5.0 kg de MS vaca<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>. El concentrado se elaboró en el Módulo de Pastoreo y su composición se definió tomando en cuenta la composición promedio del forraje estimada en un experimento previo <sup>(8)</sup>. La formulación se basó en maíz rolado, sorgo molido, harina de gluten, grasa de sobrepaso, melaza y minerales; su composición química, promedio de ambos experimentos,

fue 16.65% de PC, 20.43% de FDN (Fibra Detergente Neutro), y 4.98% de FDA (Fibra Detergente Ácido).

#### Mediciones y procedimiento experimental

El manejo de pastoreo fue a través de aperturas del cerco eléctrico móvil. Por cada apertura se registraron mediciones de altura hasta lograr 8 cm de forraje residual, una vez cumplida la meta, se realizaba la siguiente apertura. Lo anterior se llevó a cabo en varias oportunidades durante el día para cada tratamiento.

Cada potrero se dividió en tercios del mismo ancho, logrando así que el avance en el pastoreo de los lotes fuese de forma paralela. Al final de cada día se registró el área utilizada por unidad experimental para determinar la CA resultante.

Posterior a cada ordeña, se proporcionó a las vacas el concentrado en el momento correspondiente a cada tratamiento en comederos individuales; el resto del tiempo permanecieron en los potreros con acceso a agua *ad libitum* (Cuadro 1).

Cuadro 2. Horario promedio de las actividades de gestión de 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 |

---

De cada unidad experimental se obtuvieron muestras de forraje ofrecido (FO) y forraje residual (FR). El procedimiento de muestreo <sup>(14)</sup>, se realizó tomando muestras mediante el corte de cinco franjas de 0.50 x 5 m promedio, utilizando una podadora Trupper® México, a una altura de 8 cm. Las muestras de FR fueron de forma apareada con las muestras de FO. Todas las muestras se secaron en estufa con circulación de aire a 50 °C, hasta peso constante.

La composición del forraje consumido se estimó con base en muestras obtenidas por unidad experimental, compuestas de 10 submuestras, tomadas mediante el uso de la técnica de pastoreo simulado <sup>(15)</sup> con una modificación, que consistió en la toma de muestra a 8 cm de altura del suelo. Las muestras de forraje para determinar la composición nutricional y el concentrado fueron secadas a 55 °C hasta peso constante, y molidas en un molino Wiley® 4 USA con criba de 1 mm. El método utilizado para la determinación de PC fue Micro-Kjeldahl <sup>(16)</sup>; fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) se estimaron utilizando el equipo ANKOM200 <sup>(16)</sup>, así mismo, se determinaron cenizas insolubles en ácido (CIA) <sup>(16)</sup>.

El registro de la producción de leche se llevó a cabo de forma individual con medidores automáticos Alfa Laval®, en las ordeñas matutina y vespertina durante los cinco días consecutivos de la fase de medición. El análisis de composición de la leche se realizó sobre muestras individuales tomadas con muestreador automático Alfa Laval®, vertidas en viales de plástico. Las muestras de leche se analizaron con el equipo MilkoScan®, se determinó la concentración de grasa, proteína y sólidos totales. Para estimar la producción de leche por ha se consideró la producción de leche individual y la CA del ciclo de pastoreo correspondiente

a cada potrero. La CA se estimó como la media ponderada de la carga instantánea de los periodos de ocupación y descanso, mediante la Ecuación 1.

$$CA = CI * PO / (PO + PD) \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde:

CA = carga animal [vacas<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> (ciclo de pastoreo)]

CI = carga instantánea (vacas<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>)

PO = periodo de ocupación (d)

PD = periodo de descanso (d)

Otras variables estimadas fueron peso vivo (PV) y condición corporal (CC). La medición de PV de las vacas se registró después de la ordeña matutina, dos días al inicio y dos días al final de cada periodo experimental, utilizando una báscula electrónica TruTest® Nueva Zelanda, con exactitud de 1 kg y capacidad para 1000 kg. Al finalizar cada pesaje en el corral de alimentación, se llevó a cabo el registro de CC por dos observadores entrenados, la escala utilizada fue de 1 a 5 <sup>(17)</sup>. El cambio de PV y CC se calculó como la diferencia entre las estimaciones de inicio y fin por periodo de cada variable.

#### Análisis estadístico

El modelo estadístico incluyó efectos del periodo, lote y tratamiento; las variables de respuesta representaron el valor promedio a través de vacas y días de medición de producción de leche individual, composición de leche (grasa, proteína y sólidos totales), CA, PV y CC. Para el análisis de las variables de respuesta se utilizó el procedimiento GLM de SAS <sup>(18)</sup>. Las medias de PV y CC fueron contrastadas por tratamientos y periodos, las variables

restantes se contrastaron solo por tratamientos, mediante la instrucción LSMEANS y la comparación de medias mediante la prueba de Tukey-Kramer.

## 5. 5 Resultados y discusión

En el Cuadro 2 se muestran los resultados de la altura de forraje residual obtenidas con disco descendente. Las alturas de forraje residual en pastoreo fueron similares entre periodos y tratamientos ( $P>0.05$ ), y el promedio de ambos experimentos fue 8.4 cm.

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

| Experimento          | Tratamiento <sup>£</sup> | P1 <sup>†</sup> | EE <sup>Ω</sup> | P2 <sup>†</sup> | EE <sup>Ω</sup> | P3 <sup>†</sup> | EE <sup>Ω</sup> |
|----------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Invierno             | AM-PM                    | 7.9             | 0.21            | 8.3             | 0.11            | 8.7             | 0.07            |
|                      | AM                       | 8.5             | 0.11            | 8.2             | 0.12            | 8.7             | 0.04            |
|                      | PM                       | 8.0             | 0.20            | 8.4             | 0.14            | 8.5             | 0.09            |
| Primavera-<br>Verano | AM-PM                    | 8.2             | 0.09            | 8.5             | 0.05            | 8.8             | 0.11            |
|                      | AM                       | 8.4             | 0.06            | 8.4             | 0.11            | 8.6             | 0.08            |
|                      | PM                       | 8.5             | 0.06            | 8.4             | 0.08            | 8.5             | 0.05            |

<sup>£</sup> AM-PM, AM, PM = momento de oferta del concentrado como suplemento; <sup>†</sup> P1, P2, P3 = periodos del experimento; <sup>Ω</sup> EE= error estándar.

El manejo de altura de residual en pastoreo, que permitió conservar la misma eficiencia de utilización del forraje para todos los tratamientos, fue la base para estimar de manera sencilla el efecto del momento de oferta del concentrado sobre la CA y por ende sobre la producción de leche por ha.

En el Cuadro 3 se presentan los resultados de las masas de FO y FR del pastoreo de vacas suplementadas en diferentes momentos del día con el mismo nivel de suplementación en

praderas de alfalfa-ovillo. En I, no hubo cambios en la masa de FO entre los periodos experimentales, con promedio de 2183 kg MS ha<sup>-1</sup>, con un 17% superior en P-V, con 2,630 kg MS ha<sup>-1</sup>, donde si hubo diferencias entre los periodos experimentales (P<0.0001). En las masas de FR no se presentó ese efecto, debido al criterio de manejo empleado (8 cm de altura residual), con lo que se obtuvo eficiencia de pastoreo menor en I (76%) que en P-V (80%).

Cuadro 4.Masa promedio de forraje ofrecido y residual (kg MS ha<sup>-1</sup>) por encima de 8 cm de altura del experimento en invierno y primavera-verano.

| Experimento      | Parámetro        | Periodo <sup>£</sup> | Media | EE <sup>Ω</sup> |
|------------------|------------------|----------------------|-------|-----------------|
| Invierno         | Forraje Ofrecido | P1                   | 2136  | 57              |
|                  |                  | P2                   | 2150  | 43              |
|                  |                  | P3                   | 2262  | 79              |
|                  | Forraje Residual | P1                   | 433   | 13              |
|                  |                  | P2                   | 620   | 10              |
|                  |                  | P3                   | 491   | 9               |
| Primavera verano | Forraje Ofrecido | P1                   | 2478  | 36              |
|                  |                  | P2                   | 2609  | 40              |
|                  |                  | P3                   | 2803  | 67              |
|                  | Forraje Residual | P1                   | 426   | 12              |
|                  |                  | P2                   | 553   | 7               |
|                  |                  | P3                   | 570   | 18              |

<sup>£</sup> P1, P2, P3 = periodos del experimento; <sup>Ω</sup> EE= error estándar.

La ausencia de diferencias entre periodos en las masas de FO durante I se puede asociar a que en esta época las condiciones ambientales, como bajas temperaturas, presencia de

heladas, y menor radiación y fotoperiodo generan menor tasa de acumulación de forraje <sup>(19,</sup>  
<sup>20)</sup> asociado a la duración de los períodos. La disminución de la tasa de crecimiento en una asociación alfalfa-pasto ovido debido a las bajas temperaturas (menores que 10 °C) durante la estación <sup>(21)</sup>, no se reflejó entre periodos en la masa de FO.

Por otro lado, entre los periodos experimentales de P-V se detectó un aumento en la masa de FO conforme avanzó el periodo de ocupación en la pradera (Cuadro 3). Tal incremento coincide con los aumentos en la tasa de acumulación de forraje debido a que la temporada de crecimiento del forraje inicia a finales de abril y termina a mediados de octubre (2333 kg MS ha<sup>-1</sup>) <sup>(22)</sup>, presentando un comportamiento estacional con mayor acumulación en el verano. Para el mismo periodo, en este estudio se obtuvieron 2630 kg MS ha<sup>-1</sup>.

En el presente estudio, las masas de FR no presentaron diferencias debido al criterio de manejo utilizado, logrando una eficiencia de pastoreo promedio de 78%, lo que es menor que la eficiencia promedio de pastoreo de 92% con variedades *Lolium perenne* <sup>(23)</sup>, quizá por la generalmente mayor proporción de hoja verde en esta especie, por ejemplo, 56% <sup>(24)</sup>, que en las praderas de alfalfa y pasto ovido, por ejemplo, 40% <sup>(19)</sup>.

En el Cuadro 4 se muestran los resultados en la composición nutricional del FO y los concentrados. La composición nutricional de los concentrados fue semejante entre sí; así mismo, se detectó un descenso en la concentración de FDN, FDA y PC entre las muestras de FO matutinas y vespertinas. El cambio fue mayor en el estudio durante P-V, que presentó una disminución de 9.6% de FDN, 8.1% de FDA y 10.4% de PC, mientras que para I fue de 7.5% FDN, 3.8% FDA y 7.7% de PC.

Cuadro 5.Composición nutricional (% MS) del forraje y el concentrado consumidos por vacas lecheras en pastoreo.

| Componente       | Invierno        |                 |             | Primavera-verano |                 |             |
|------------------|-----------------|-----------------|-------------|------------------|-----------------|-------------|
|                  | Forraje         |                 | Concentrado | Forraje          |                 | Concentrado |
|                  | AM <sup>£</sup> | PM <sup>£</sup> |             | AM <sup>£</sup>  | PM <sup>£</sup> |             |
| MS <sup>†</sup>  | 22.3            | 25.5            | 94.5        | 21.6             | 24.8            | 94.9        |
| FDN <sup>Ω</sup> | 39.4            | 37.9            | 21.8        | 49.5             | 45.5            | 19.1        |
| FDA <sup>€</sup> | 29.2            | 27.0            | 4.9         | 34.4             | 31.1            | 5.0         |
| Cenizas          | 9.7             | 9.4             | 3.6         | 9.9              | 9.4             | 3.9         |
| PC <sup>§</sup>  | 19.5            | 18.0            | 16.7        | 20.3             | 18.2            | 16.6        |

<sup>£</sup> AM, PM = momento del muestreo; <sup>†</sup> Materia Seca; <sup>Ω</sup> Fibra Detergente Neutro; <sup>€</sup> Fibra Detergente Ácido; <sup>§</sup> Proteína Cruda.

La composición entre los concentrados fue similar entre experimentos, debido a que los ingredientes utilizados para elaborar el concentrado para ambos experimentos se obtuvieron con un solo proveedor, de una misma procedencia y en una sola compra para I o P-V.

Por otro lado, el descenso en la concentración de FDN, FDA y PC entre las muestras de FO matutinas y vespertinas (Cuadro 4), puede ser debido a la dilución de las concentraciones en respuesta a las fluctuaciones diurnas por la actividad fotosintética de la planta<sup>(25)</sup>, los resultados obtenidos en este estudio son similares a los de otras investigaciones. Por ejemplo, se ha identificado un aumento del 30% en los carbohidratos no estructurales (no estudiados en este trabajo) y una dilución de las concentraciones de FDN y PC en 8,7 y 6,1%, en *Lolium perenne*, respectivamente entre 08:00 y 19:00<sup>(25)</sup>. Al respecto, se ha señalado que las

concentraciones de productos fotosintéticos tienen mayores fluctuaciones diurnas en las hojas que en los tallos y pseudotallos <sup>(12)</sup>. En un estudio con pasto ovido, las hojas aumentaron el total de carbohidratos no estructurales en 56.9% de 07:00 a 19:00, y como consecuencia FDN y PC se diluyeron en la MS durante el día entre 3 y 11.7%, respectivamente <sup>(26)</sup>. Del mismo modo, el forraje de alfalfa cosechado en la mañana tiene contenidos de FDA y PC más altos que los de forraje cosechado más tarde <sup>(27)</sup>.

En el Cuadro 5 se muestran los resultados en cambios de PV y CC entre tratamientos. Los cambios de PV fueron relativamente bajos, representaron en el mayor de los casos (I en AM-PM) 45 g v<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>. Las vacas en AM-PM ganaron más PV que los otros dos tratamientos (P>0.05) durante I, en cambio durante primavera si bien su cambio de peso fue mayor que en PM (P<0.05), no difirió del de AM (P>0.05). No se detectaron cambios en CC entre los tratamientos (P<0.05).

Cuadro 6. Cambio de peso vivo (PV en kg) y condición corporal (CC) en vacas lecheras en pastoreo suplementadas, en los tratamientos<sup>£</sup> estudiados.

| Experimento | Parámetro | Tratamiento        |                 |                 | Media    | EE <sup>Ω</sup> |
|-------------|-----------|--------------------|-----------------|-----------------|----------|-----------------|
|             |           | AM-PM <sup>£</sup> | AM <sup>£</sup> | PM <sup>£</sup> |          |                 |
| Invierno    | Cambio PV | 2.3a <sup>†</sup>  | 1.8b            | 1.8b            | 2        | 0.17            |
|             | Cambio CC | 0.01a              | 0.003a          | -0.006b         | 0.002    | 0.005           |
| Primavera-  | Cambio PV | 1.9A <sup>€</sup>  | 1.7AB           | 1.2B            | 1.6      | 0.20            |
| Verano      | Cambio CC | -0.004             | 0.008           | -0.004          | -0.00002 | 0.004           |

<sup>£</sup> AM-PM, AM, PM = momento de oferta del concentrado; <sup>Ω</sup> EE= error estándar; <sup>†</sup> Medias con distinto literal minúscula en la hilera son diferente (P=0.05); <sup>€</sup> Medias con distinto literal mayúscula en la hilera son diferente (P<0.05).

Así mismo, el cambio de PV entre periodos (P1 1.57, P2 2.20, P3 2.17 kg) fue menor (P<0.005) durante el primer periodo en I; para el caso de P-V (P1 1.73, P2 1.80, P3 1.24 kg) no hubo diferencia (P>0.05) entre periodos. El PV por periodo disminuyó en el P1 de I, este cambio está relacionado con que el FO fue relativamente menor, consistente con la menor oferta durante el I, y a que el FR no presentó cambio debido al criterio de manejo. En AM-PM hubo aumento en el PV. Por el contrario, el aumento en peso no es frecuentemente reportado en sistemas de producción de leche en pastoreo que usan suplementación; es común que se encuentren menores pérdidas de peso corporal, más no aumento al ofertar suplementos en vacas <sup>(28)</sup>.

En el Cuadro 6 se presenta la producción de leche por vaca y su composición. La producción de leche por vaca en el tratamiento AM fue mayor que el promedio de los otros dos tratamientos, tanto en I (6.1%, P=0.0002), como en P-V (8.5%, P<0.0001). En promedio de ambos experimentos, la oferta de concentrado por la mañana implicó 7.3% de incremento en la producción de leche por vaca.

Cuadro 7. Producción y composición de leche en vacas lecheras en pastoreo suplementadas con concentrado en diferentes momentos del día.

| Experimento         | Parámetro                                                 | Tratamiento <sup>£</sup> |       |       | Media | EE <sup>Ω</sup> |
|---------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-----------------|
|                     |                                                           | AM-PM                    | AM    | PM    |       |                 |
| Invierno            | Producción de leche,<br>L v <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> | 21.7b <sup>†</sup>       | 23.8a | 21.8b | 22.5  | 0.24            |
|                     | Proteína, %                                               | 3.5                      | 3.6   | 3.4   | 3.5   | 0.02            |
|                     | Grasa, %                                                  | 3.9                      | 4.0   | 3.9   | 3.9   | 0.03            |
|                     | Sólidos Totales, %                                        | 13.3                     | 13.5  | 13.2  | 13.3  | 0.04            |
|                     |                                                           |                          |       |       |       |                 |
| Primavera<br>verano | Producción de leche,<br>L v <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> | 20.3B <sup>€</sup>       | 22.6A | 19.6B | 20.8  | 0.29            |
|                     | Proteína, %                                               | 3.6                      | 3.5   | 3.5   | 3.6   | 0.03            |
|                     | Grasa, %                                                  | 4.0                      | 3.9   | 3.9   | 4.0   | 0.03            |
|                     | Sólidos Totales, %                                        | 13.5                     | 13.2  | 13.3  | 13.3  | 0.07            |
|                     |                                                           |                          |       |       |       |                 |

<sup>£</sup> AM-PM, AM, PM =momento de oferta del concentrado como suplemento; <sup>Ω</sup> EE= error estándar; <sup>†</sup> Medias con distinto literal minúscula en la hilera son diferentes (P=0.0002); <sup>€</sup> Medias con distinto literal mayúscula en la hilera son diferentes (P<0.0001).

Con la asignación de 5 kg MS vaca<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> de concentrado dividida entre mañana y tarde se reportó una producción de 21.4 L vaca<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> <sup>(8)</sup>, mientras que este estudio con esa misma asignación de suplemento, en AM la producción fue 7.6% superior. Ambos estudios compartieron la misma forma de alimentación (solo forraje más suplemento) y el mismo manejo de altura de residual. Del mismo modo, en un experimento con tratamientos similares <sup>(10)</sup> se reportó tendencia (P<0.07) a 0.5 L vaca<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> mayor producción individual con la oferta

matutina del suplemento. Sin embargo, también se ha reportado mayor ( $P < 0.001$ ) producción de leche ( $2.1 \text{ L vaca}^{-1}\text{d}^{-1}$ ) al suplementar a las vacas lecheras en pastoreo por la tarde en comparación con la mañana <sup>(29)</sup>.

En nuestro estudio no se detectó efecto ( $P > 0.05$ ) sobre la concentración de proteína, grasa o sólidos totales en leche. Se ha reportado que la concentración de proteína en la leche con suplementación vespertina es mayor ( $P < 0.05$ ), respecto a pastoreo sin suplementación y a la suplementación matutina <sup>(29)</sup>. Esta respuesta pudo ser resultado de una asignación diaria de forraje restringida, pues la reducción de la proporción de forraje en la dieta de las vacas incrementa el volumen de leche producida y su concentración de proteína <sup>(30)</sup>. Se ha precisado que el contenido de grasa en leche es menor con la oferta total del suplemento por la mañana <sup>(31)</sup>. Así mismo, entre tratamientos con y sin suplementación y con diferentes asignaciones en el tiempo de pastoreo no se encontraron diferencias en la producción de leche, la producción de sólidos lácteos o la concentración y cantidad de grasa y proteína <sup>(28)</sup>. Los resultados muestran que en este estudio no hubo efecto del momento de suplementación sobre la composición de la leche. No se probó que haya otros factores que afecten, aunque sabemos que los hay.

Por otro lado, existe influencia de la estación del año sobre la composición de leche bovina, que señala mayores concentraciones de grasa y proteína en I <sup>(32)</sup>. Un estudio reportó porcentajes de grasa y proteína altos durante el I (3.1% grasa, 2.9% proteína), y bajos durante el verano (2.3% grasa y 2.7% proteína) <sup>(33)</sup>. Estos resultados, que son menores a los obtenidos en este estudio (promedio de 3.5% proteína y 4% grasa), pueden ser debidos a fluctuaciones estacionales en la oferta de forraje, en cambio en este estudio no hubo cambio estacional en

composición de la leche, probablemente debido a la baja fluctuación estacional (20%) en oferta de forraje (Cuadro 3).

El momento en que fue ofrecido el concentrado no afectó ( $P < 0.5$ ) la CA en ninguno de los dos experimentos; el promedio de carga en I fue 6.7 vacas  $ha^{-1}$  y en P-V fue 5.1 vacas  $ha^{-1}$ .

Cuadro 8. Carga animal de vacas lecheras (vacas  $ha^{-1}$  por ciclo de pastoreo) suplementadas en diferentes momentos del día.

| Experimento      | AM-PM <sup>£</sup> | EE <sup>Ω</sup> | AM <sup>£</sup> | EE <sup>Ω</sup> | PM <sup>£</sup> | EE <sup>Ω</sup> |
|------------------|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Invierno         | 6.5                | 0.39            | 6.9             | 0.05            | 6.7             | 0.29            |
| Primavera verano | 5.1                | 0.38            | 5.2             | 0.23            | 4.9             | 0.22            |

<sup>£</sup> AM-PM, AM, PM = momento de oferta del concentrado como suplemento; <sup>Ω</sup> EE= error estándar; ( $P < 0.5$ ) = nivel de significancia del análisis.

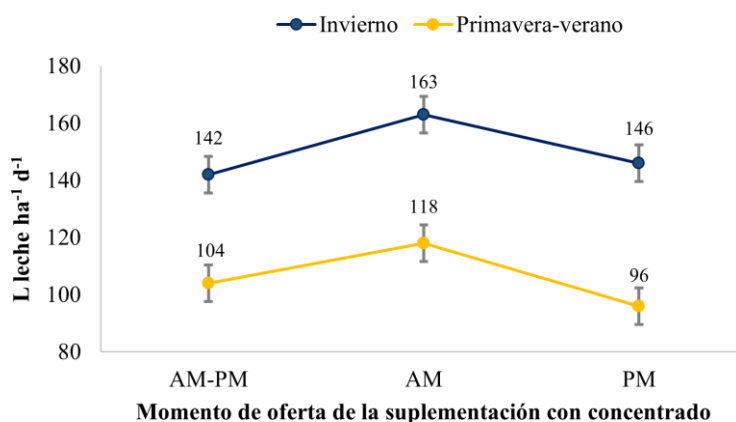
La CA es descrita como el número de vacas por unidades de superficie y tiempo ( $CA_{Anual} = \text{vacas}^{-1} ha^{-1} \text{ año}^{-1}$  y  $CA_{diaria} = \text{vacas}^{-1} ha^{-1} d^{-1}$ )<sup>(8)</sup>; en nuestro estudio se trató de  $CA_{Ciclo}$  de pastoreo. La nula respuesta al momento de la suplementación de la CA pudo ser producto del criterio de manejo (8 cm altura FR) que evitó el desperdicio de forraje, logrando que el efecto sustitutivo fuese similar entre tratamientos. El efecto sustitutivo consecuencia de la suplementación puede conducir a incrementos en la CA y con ello la producción de leche por ha<sup>(34)</sup>. Al aumentar el nivel de suplementación, por el efecto sustitutivo se reduce el consumo de forraje en la pradera y con ello la eficiencia de utilización del forraje<sup>(35)</sup>.

Por diferencias en productividad y composición nutricional entre distintas praderas, para analizar efectos de CA sobre producción individual o por ha, se ha sugerido que en lugar de

CA es mejor considerar los cambios en términos de cambio en el alimento disponible o la energía ofrecida por animal dentro de cada tratamiento, en lugar de vacas por ha <sup>(1)</sup>; pero esta sugerencia no aplica en este experimento, porque se trató de la misma oferta en cantidad y composición de forraje entre tratamientos.

La respuesta en producción de leche por ha es el resultado del producto de la producción individual por la CA (Figura 1). La producción de leche por hectárea del tratamiento AM superó al promedio de los otros dos tratamientos en 8.4% durante I, y en 11.3% durante P-V. Estas diferencias se conformaron de manera similar y se originaron de las diferencias en producción individual, ya que en CA no hubo diferencias entre tratamientos.

Figura 1. Producción de leche por hectárea de vacas lecheras suplementadas en diferentes momentos.



La estrategia de ofrecer el concentrado en un momento del día resultó en un método de mejora en el sistema de producción, que aprovechó en el tratamiento AM los cambios composición de forraje a través del día, de modo que coincidió el mayor aprovechamiento de forraje por la tarde con su mayor valor nutritivo <sup>(36)</sup>. Este resultado en que la mayor producción de leche con AM se debió al aumento en la producción individual, sin cambio en la CA, contradice lo

reportado por distintos autores <sup>(2, 8, 35)</sup>, quienes indican que, al aumentar la CA, aumenta la producción de leche por ha y disminuye la producción individual.

Con este resultado se comprobó la hipótesis que la suplementación en horas de la mañana permitiría incrementar la producción individual de leche frente a la suplementación vespertina o la suplementación dividida entre ambas horas del día. Su impacto también permitió el aumento de (en promedio) 9.9% en la producción de leche por hectárea. La importancia de esta variable radica en que considerar el impacto de la suplementación en los litros de leche producidos por hectárea implica que la respuesta será a nivel sistema <sup>(8; 9)</sup>.

## **5.6 Conclusión**

El criterio de manejo de pastoreo utilizado permitió lograr, con niveles aceptables de precisión, la misma eficiencia de utilización de forraje en la pradera, y con ello estimar la carga animal y producción de leche por hectárea. El impacto de la tecnología de suplementar todo el concentrado luego de la ordeña matinal produjo un incremento promedio de 10.2% en producción individual de leche y resultó en una mejora de 9.9% en la producción de leche por hectárea. Esta estrategia se tradujo en un impacto positivo en el sistema de producción, al aprovechar simultáneamente cambios a través del día en la composición de forraje y el comportamiento de ingestión de forraje.

## **Agradecimientos y conflicto de intereses**

Los autores agradecen el apoyo del CONACYT para los estudios de doctorado del primer autor y declaran que no tienen ningún conflicto de interés.

## **5. 7 Literatura citada**

1. McCarthy B, Delaby L, Pierce K. M, Journot F, Horan B. Meta-analysis of the impact of stocking rate on the productivity of pasture-based milk production systems. *Animal* 2011;5(5):784-794.
2. Macdonald KA, Penno JW, Lancaster JAS, Roche JR. Effect of stocking rate on pasture production, milk production, and reproduction of dairy cows in pasture-based systems. *J Dairy Sci* 2008;91(5):2151-2163.
3. Bargo F, Muller LD, Delahoy JE, Cassidy TW. Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows grazing at two pasture allowances. *J Dairy Sci* 2002;85(7):1777-1792.
4. Albarrán M, Balocchi OA, Noro M, Wittwer F, Pulido RG. Effect of the type of silage on milk yield, intake and rumen metabolism of dairy cows grazing swards with low herbage mass. *Anim Sci J* 2016;87(7):878-884.
5. Bargo F. Suplementación en pastoreo: conclusiones sobre las últimas experiencias en el mundo. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires 2003;1:1-21 <https://www.agro.uba.ar/sites/default/files/catedras/bargo.pdf>. Consultado 30 Nov, 2023
6. Fales SL, Muller LD, Ford SA, O'sullivan M, Hoover RJ, Holden LA, et al. Stocking rate affects production and profitability in a rotationally grazed pasture system. *J Prod Agr* 1995;8(1):88-96.
7. Dillon PAT, Hennessy T, Shalloo L, Thorne F, Horan B. Future outlook for the Irish dairy industry: a study of international competitiveness, influence of international trade reform and requirement for change. *Inter J Dairy Tec* 2008;61(1):16-29.
8. Baudracco J, Lopez-Villalobos N, Holmes CW, Macdonald KA. Effects of stocking rate, supplementation, genotype and their interactions on grazing dairy systems: A review. *New Zeal J Agr Res* 2010;53(2):109-133.

9. Castro J. Suplementación con concentrado sobre producción de leche individual y por hectárea de vacas Holstein en pastoreo [Tesis Maestría]. Texcoco, Estado de México; 2020.
10. Sheahan AJ, Gibbs SJ, Roche JR. Timing of supplementation alters grazing behavior and milk production response in dairy cows. *J Dairy Sci* 2013;96(1):477-483.
11. Gekara OJ, Prigge EC, Bryan WB, Nestor EL, Seidel G. Influence of sward height, daily timing of concentrate supplementation, and restricted time for grazing on forage utilization by lactating beef cows. *J Animal Sci* 2005;83(6):1435-1444.
12. Gregorini P. Diurnal grazing pattern: its physiological basis and strategic management. *Animal Prod Sci* 2012;52(7):416-430.
13. García E. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köpen. 5ta ed D.F. México: Instituto de Geografía-UNAM; 2004.
14. Jiménez-Rosales JD, Améndola-Massiotti RD, Burgueño-Ferreira JA, Ramírez-Valverde R, Topete-Pelayo P, Huerta-Bravo M. Herbage intake of dairy cows in mixed sequential grazing with breeding ewes as followers. *Trop Animal H Prod* 2018;(50):531-536.
15. Bonnet O, Hagenah N, Hebbelmann L, Meuret M, Shrader AM. Is hand plucking an accurate method of estimating bite mass and instantaneous intake of grazing herbivores? *Range Eco Manag* 2011;64(4):366-374.
16. AOAC. Official Methods of Analysis. 18th ed. Washington, DC; USA Association of Official Agricultural Chemists. 2005.
17. Garcia A, Hippen A. Feeding dairy cows for body condition score. *Dairy Sci* 2008:137.
18. SAS. SAS/STAT:9.3 User's Guide (3rd ed.) Cary, NC, USA: SAS Inst. Inc. 2010.

19. Esparza JZ, Hernández-Garay A, Pérez JP, Herrera JG, Haro FOG, Hernández PAM, et al. Análisis de crecimiento estacional de una pradera asociada alfalfa-pasto ovinillo. *Tec Pec Mex* 2009;47(2):173-188.
20. Cullen BR, Eckard RJ, Callow MN, Johnson IR, Chapman DF, Rawnsley RP, et al. Simulating pasture growth rates in Australian and New Zealand grazing systems. *Aust J Agr Res* 2008;59(8):761-768.
21. Álvarez FG, López OR. Rendimiento agronómico, digestibilidad (in vitro) y contenido de proteína cruda de nueve variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en Nazareno, Etla, Oaxaca [Tesis Profesional]. Texcoco, Estado de México;1992.
22. Lemus V, Guevara A, García JA, Gaspar D, García JG, Pacheco D. Producción de leche de vacas en pastoreo de alfalfa (*Medicago sativa*) en el altiplano mexicano. *Rev Mex Cien Pec* 2020;11(1):1-18.
23. Tubritt T, Delaby L, Gilliland T, O'donovan M. An investigation into the grazing efficiency of perennial ryegrass varieties. *Grass and Forage Sci* 2020;75(3):253-265.
24. Villalobos L, Sánchez JM. Evaluación agronómica y nutricional del pasto ryegrass perenne tetraploide (*Lolium perenne*) producido en lecherías de las zonas altas de Costa Rica. I. Producción de biomasa y fenología. *Agr Costa* 2010;34(1):31-42.
25. Delagarde R, Peyraud JL, Delaby L, Faverdin P. Vertical distribution of biomass, chemical composition and pepsin—cellulase digestibility in a perennial ryegrass sward: Interaction with month of year, regrowth age and time of day. *Animal F Sci Tec* 2000;84(1-2):49-68.
26. Griggs T C, MacAdam JW, Mayland HF, Burns JC. Nonstructural carbohydrate and digestibility patterns in orchardgrass swards during daily defoliation sequences initiated in evening and morning. *Crop Sci* 2005;45(4):1295-1304.

27. Putnam D, Mueller S, Marcum D, Frate C, Lamb C, Canevari M, et al. Diurnal changes in alfalfa forage quality. In: Proceedings, 28th Alfalfa Symposium. California, NV. 1998:31-39
28. Al-Marashdeh O, Gregorini P, Edwards GR. Effect of time of maize silage supplementation on herbage intake, milk production, and nitrogen excretion of grazing dairy cows. *J Dairy Sci* 2016;99(9):7123-7132.
29. Trevaskis LM, Fulkerson WJ, Nandra KS. Effect of time of feeding carbohydrate supplements and pasture on production of dairy cows. *Live Prod Sci* 2004;85(2-3):275-285.
30. Jenkins TC, McGuire MA. Major advances in nutrition: impact on milk composition. *J Dairy Sci* 2006;89(4):1302-1310.
31. Abrahamse PA, Tamminga S, Dijkstra J. Effect of daily movement of dairy cattle to fresh grass in morning or afternoon on intake, grazing behaviour, rumen fermentation and milk production. *The J Agr Sci* 2009; 147(6):721-730.
32. Auldist MJ, Walsh BJ, Thomson NA. Seasonal and lactational influences on bovine milk composition in New Zealand. *J Dairy Res* 1998;65(3):401-411.
33. Ozrenk E, Inci SS. The effect of seasonal variation on the composition of cow milk in Van Province. *Pak J Nut* 2008;7(1):161-164.
34. Ramírez-Mella M, Hernández-Mendo O, Améndola-Massiotti RD., Ramírez-Bribiesca EJ, Mendoza-Martínez GD, Burgueño-Ferreira JA. Productive response of grazing dairy cows to fresh chopped maize supplementation under a small farming system in the Mexican Highlands. *Trop Animal Health Prod.* 2010; (42):1377-1383.
35. Amendola RD. A dairy system based on forages and grazing in temperate Mexico [PhD Thesis]. Wageningen Universitiet, The Netherlands; 2002.

36. Soca P, González H, Manterola H, Bruni M, Mattiauda D, Chilibroste P, Gregorini P.  
Effect of restricting time at pasture and concentrate supplementation on herbage intake,  
grazing behaviour and performance of lactating dairy cows. *Liv Sci* 2014(170):35-42.

## 6 CONCLUSIONES

En un sistema de producción de leche en pastoreo la respuesta a la suplementación no solo está influenciada por los efectos en el consumo de forraje y la eficiencia en la utilización de nutrientes, sino también por las modificaciones en el comportamiento ingestivo y a factores determinados por el manejo del pastoreo.

El criterio de manejo de pastoreo utilizado permitió lograr, con niveles aceptables de precisión, la misma eficiencia de utilización de forraje en la pradera, y con ello estimar la carga animal y producción de leche por hectárea.

El suministro del total del concentrado por la mañana resultó ventajoso para obtener mayor producción de leche individual, así como, mayor producción de leche por hectárea.

Los menores contenidos de fibra en el forraje cosechado por la tarde permitieron que las vacas con suplementación matinal pastaran mayor área por la tarde, por lo que hubo un aprovechamiento más eficiente del forraje debido a la mayor disponibilidad de nutrientes.

Suministrar el total del concentrado posterior a la ordeña matinal resultó en una estrategia con impacto positivo en el sistema de producción, al aprovechar simultáneamente cambios a través del día en la composición de forraje y el comportamiento de ingestión, obteniendo incrementos en la producción de leche.