



Momento de la suplementación sobre carga animal y producción de leche por hectárea de vacas Holstein en pastoreo



Citlali Anais Castro Jaime ^a

Rodolfo Ramírez Valverde ^a

Juan Andrés Burgueño Ferreira ^b

Jacinto Efrén Ramírez Bribiesca ^c

Luis Alberto Miranda Romero ^a

Ricardo Daniel Améndola Massiotti ^{a*}

^a Universidad Autónoma Chapingo. Programa de Posgrado en Producción Animal, km 38.5 Carretera México-Texcoco, 56230 Texcoco, Estado de México, México.

^b Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. El Batán, Texcoco, Estado de México, México.

^c Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Rama de Ganadería, Texcoco, Estado de México, México.

* Autor de correspondencia: r_amendola@yahoo.com

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 y en primavera-verano, con un diseño cruzado 3×3. Los tratamientos fueron tres momentos de oferta de concentrado (5.0 kg de MS vaca⁻¹ día⁻¹) 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 (invierno) o cinco vacas (primavera-verano) y sus respectivas áreas de pastoreo, mismas que recibieron los tratamientos. 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 10.2 % superior que los otros dos tratamientos en promedio, tanto en invierno (8.6 %, $P=0.0002$), como en primavera-verano (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 hectárea.

Palabras clave: Concentrado, Producción individual, Manejo de pastoreo, Diseño cruzado.

Recibido: 07/05/2024

Aceptado: 05/08/2024

Introducción

Las mejoras en el manejo de los sistemas de producción de leche en pastoreo han resultado en aumentos en la producción de leche por hectárea en trabajos experimentales⁽¹⁾. Entre los principales factores interrelacionados responsables de este aumento en la productividad están la carga animal⁽²⁾ y el uso de suplementos concentrados⁽³⁾. Esta última medida ha sido aplicada y estudiada durante muchos años, como se corrobora en la revisión conceptual realizada por el Dr. John Leaver⁽⁴⁾. No obstante, el tema sigue recibiendo atención de investigadores en la actualidad^(5,6,7).

La suplementación con concentrado es una práctica comúnmente utilizada en sistemas pastoriles, ya que, al incrementar la ingesta de energía, permite optimizar el estado nutricional de los animales, su condición corporal⁽⁸⁾ y la producción de leche individual⁽⁹⁾. La suplementación puede conducir a cambios en la composición de la leche en términos de alimento nutraceutico⁽¹⁰⁾. Al consumir suplemento, los animales reducen el consumo de forraje en la pradera, por ello la medida para utilizar el forraje con mayor eficiencia es acrecentar la carga animal (CA), y con eso aumenta la producción por unidad de área, mejorar la composición de la leche y, eventualmente, aumentar la CA⁽¹¹⁾. En sistemas bajo pastoreo, la carga animal es importante para determinar la eficiencia del sistema⁽¹²⁾. El interés del aumento en la producción de leche por hectárea radica en uno de los principales objetivos en pastoreo, que es maximizar la rentabilidad por superficie de pastoreo, al usar más eficientemente el forraje⁽¹³⁾.

El aumento en la producción de leche por hectárea a medida que aumenta la carga animal, en respuesta a la suplementación⁽¹⁴⁾, es más afectada por los cambios en la carga animal que por los cambios en la producción individual⁽¹⁵⁾. 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⁽¹⁶⁾, la digestión de la fibra y otras variables asociadas con la fermentación ruminal⁽¹⁷⁾. 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⁽¹⁷⁾.

Se ha reportado que independientemente de la cantidad del suplemento suministrada, las vacas pastorean con mayor intensidad antes de la puesta del sol⁽¹⁶⁾. 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 materia seca (MS), de carbohidratos y ácidos grasos, que facilitan la descomposición de las partículas de forraje durante las fases iniciales de la digestión⁽¹⁸⁾.

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 carga animal y por tanto la productividad por hectárea.

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, a 2,240 msnm); el primero del 4 de febrero al 26 de marzo (invierno), y el segundo del 6 de junio al 26 de julio (primavera-verano), 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⁽¹⁹⁾.

Las unidades experimentales fueron lotes de seis (invierno) o cinco (primavera-verano) 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 10 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 días de ocupación, y 42 y 40 días de descanso para invierno y primavera-verano, respectivamente. Cada uno de los potreros se dividió en tres secciones iguales, que correspondieron a las unidades experimentales. Las áreas asignadas diariamente a cada lote de vacas se ajustaron 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 carga animal 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⁽²⁰⁾ 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 días, dividido en tres periodos 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 días), y b) el registro de datos de las variables de respuesta (5 días). El nivel de suplementación con concentrado ofrecido fue de 5.0 kg de MS vaca⁻¹ día⁻¹, con base en resultados previos, obtenidos en el mismo sitio⁽¹⁵⁾. El concentrado se elaboró en el Módulo de Pastoreo y su composición se definió tomando en cuenta la composición promedio del forraje estimada en el mismo experimento previo⁽¹⁵⁾. 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. Diariamente se abrían por lote áreas de 12 × 4 m y luego en las franjas de 12 m de ancho, se registraron

mediciones de altura hasta lograr 8 cm de forraje residual; una vez cumplida esta meta, se abrían 2 m adicionales y se repitió la operación de medición de alturas de forraje residual. Esta propuesta de manejo fue utilizada por Amendola⁽²¹⁾, Ramírez-Mella *et al*⁽²²⁾, y Castro⁽¹⁵⁾. Los movimientos se realizaron en varias oportunidades durante el día.

Cada potrero se dividió en tercios del mismo ancho, logrando así que el avance en el pastoreo de los lotes fuese de forma paralela. El registro del área utilizada de pastoreo fue en dos momentos; al finalizar el pastoreo entre las ordeñas matutina y vespertina (avance matutino) y previo al inicio del pastoreo matutino (avance vespertino). De este modo cada día se registró el área utilizada por unidad experimental para determinar la carga animal resultante (Ecuación 1).

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* en recipientes móviles localizados en un extremo del área de pastoreo (Cuadro 1).

Cuadro 1: Horario promedio de las actividades de gestión de las vacas lecheras en pastoreo suplementadas con concentrado en distintos momentos del día

Actividad	Hora
Ordeña matutina	06:00 – 07:00
Permanencia matutina en el corral de suplementación	06:30 – 07:30
Pastoreo entre ordeñas matutina y vespertina	08:00 – 15:00
Ordeña vespertina	15:00 – 16:00
Permanencia vespertina en el corral de suplementación	15:30 – 16:30
Pastoreo entre ordeñas vespertina y matutina	17:00– 06:00 (+1 día)

De cada unidad experimental se obtuvieron muestras de forraje ofrecido y forraje residual. El procedimiento de muestreo⁽²³⁾, 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 forraje residual fueron de forma apareada con las muestras de forraje ofrecido. 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⁽²⁴⁾ 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 se secaron 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⁽²⁵⁾; FDN y FDA se estimaron utilizando el equipo ANKOM200⁽²⁵⁾, así mismo, se determinaron cenizas insolubles en ácido (CIA)⁽²⁵⁾.

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 hectárea se consideró la producción de leche individual y la carga animal del ciclo de pastoreo correspondiente a cada potrero. La carga animal se estimó 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⁻¹ ha⁻¹ (ciclo de pastoreo)]; CI= carga instantánea (vacas⁻¹ ha⁻¹); PO= periodo de ocupación (días); PD= periodo de descanso (días).

Otras variables estimadas fueron peso vivo y condición corporal. La medición de peso vivo 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 1,000 kg. Al finalizar cada pesaje en el corral de alimentación, se llevó a cabo el registro de condición corporal por dos observadores entrenados, la escala utilizada fue de 1 a 5⁽²⁶⁾. El cambio de peso vivo y condición corporal 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:

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

Donde: Y_{ijk} representó el valor promedio a través de vacas y días de medición de peso vivo, condición corporal, carga animal, producción individual, contenido de grasa, proteína y sólidos totales. Tanto periodo, lote y tratamiento fueron efectos fijos y el error experimental fue la interacción entre estos tres factores, se asume que esta interacción no es de importancia

biológica o práctica. El análisis fue realizado dentro de época (experimento), debido a diferencias en clima, crecimiento de forraje y, en algunos casos, etapa de la lactancia.

Para el análisis de las variables de respuesta se utilizó el procedimiento GLM de SAS⁽²⁷⁾. Las medias fueron contrastadas por tratamientos mediante la instrucción LSMEANS y la comparación de medias mediante la prueba de Tukey-Kramer.

Resultados y discusión

La altura de forraje residual en pastoreo fue similar entre tratamientos ($P>0.05$) con 8.4 cm promedio para ambos experimentos. Dicho criterio permitió conservar la misma eficiencia de utilización del forraje para todos los tratamientos; además, fue la base para estimar el efecto del momento de oferta del concentrado sobre la carga animal y por ende sobre la producción de leche por hectárea. El área asignada tuvo promedios de 210 m² diarios por lote en invierno y 233 en primavera, sin diferencias entre tratamientos.

En el Cuadro 2 se presentan los resultados de las masas de forraje ofrecido (FO) y forraje residual (FR) del pastoreo de vacas suplementadas en diferentes momentos del día con el mismo nivel de suplementación en praderas de alfalfa-ovillo. No hubo diferencia ($P>0.05$) en la masa de FO entre tratamientos, con promedios de 2,183 kg MS ha⁻¹ en invierno y 2,630 kg MS ha⁻¹ en primavera-verano. En invierno las condiciones ambientales, como bajas temperaturas, presencia de heladas, y menor radiación y fotoperiodo generan menor tasa de acumulación de forraje^(28,29). La disminución de la tasa de crecimiento en una asociación alfalfa-pasto ovillo resulta de las bajas temperaturas (menores que 10 °C) durante la estación⁽³⁰⁾. En cambio, en primavera-verano ocurren aumentos en la tasa de acumulación de forraje porque la temporada de crecimiento del forraje inicia a finales de abril y termina a mediados de octubre, con acumulación de 2,333 kg MS ha⁻¹ en un estudio⁽³¹⁾, comparable a la que se obtuvo en este estudio (2,630 kg).

En las masas de FR tampoco se presentaron diferencias ($P>0.05$) debido al criterio de manejo empleado (8 cm de altura residual). Con dicho criterio se obtuvo una eficiencia de pastoreo de 76 % en invierno y 80 % en primavera-verano.

En el presente estudio, se logró una eficiencia de pastoreo promedio de 78 %, similar al 75.3 % de eficiencia promedio reportado para las menores asignaciones.

Cuadro 2: Masa de forraje ofrecido y residual (kg MS ha⁻¹) por encima de 8 cm de altura, en praderas pastoreadas por vacas que recibieron suplementación en tres distintos momentos del día, en experimentos realizados en invierno y primavera-verano

Experimento	Parámetro	Tratamiento	Media	EE
Invierno	Forraje ofrecido	AM-PM	2140	34
		AM	2201	
		PM	2206	
	Forraje residual	AM-PM	495	14
		AM	527	
		PM	528	
Primavera verano	Forraje ofrecido	AM-PM	2624	35
		AM	2672	
		PM	2655	
	Forraje residual	AM-PM	512	10
		AM	506	
		PM	517	

AM-PM, AM, PM = momento de oferta del concentrado; EE= error estándar; ^ε ($P<0.05$) = nivel de significancia del análisis.

En el Cuadro 3 se muestran los resultados en la composición nutricional del forraje ofrecido. Se detectaron descensos entre las muestras de forraje ofrecido matutinas y vespertinas en las concentraciones de FDN, FDA y PC. Durante invierno estas disminuciones fueron de 7.5 % en FDN, 3.8 % en FDA y 7.7 % en PC; en tanto que en primavera-verano se presentaron descensos de 9.6 % en FDN, 8.1 % en FDA y 10.4 % en PC.

Cuadro 3: Composición nutricional (% MS) del forraje consumido por vacas lecheras en pastoreo que recibieron suplemento en diferentes momentos del día

Componente	Invierno			Primavera-verano		
	Forraje		EE	Forraje		EE
	AM	PM		AM	PM	
MS	22.3 ^{bb}	25.5 ^a	0.41	21.6 ^{yμ}	24.8 ^x	0.44
FDN	39.4 ^a	37.9 ^b	0.33	49.5 ^x	45.5 ^y	0.87
FDA	29.2 ^a	27.0 ^b	0.33	34.4 ^x	31.1 ^y	0.72
Cenizas	9.7	9.4	0.20	9.9	9.4	0.17
PC	19.5 ^a	18.0 ^b	0.26	20.3 ^x	18.2 ^y	0.11

AM, PM = momento del muestreo; MS= materia seca; FDN= fibra detergente neutro; FDA= fibra detergente ácido; PC= proteína cruda; ($P<0.05$) = nivel de significancia del análisis. ^{B μ} Medias con distinto literal minúscula ab o xy en la hilera son diferentes ($P<0.05$).

Los descensos en la concentraciones de FDN, FDA y PC entre las muestras de forraje ofrecido matutinas y vespertinas (Cuadro 3), pueden ser debidos a la dilución de las concentraciones de estos componentes en respuesta a las fluctuaciones diurnas en la concentración de carbohidratos solubles, por la actividad fotosintética de la planta⁽³²⁾. 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 disminución significativa de las concentraciones de FDN y PC en 8,7 y 6,1%, en *Lolium perenne*, respectivamente entre 08:00 y 19:00 que corresponden a una dilución por ese mayor contenido de carbohidratos no estructurales⁽³²⁾. Al respecto, se ha señalado que las concentraciones de productos fotosintéticos tienen fluctuaciones diurnas más altas en las hojas que en los tallos y pseudotallos⁽¹⁸⁾. Del mismo modo, se ha reportado que el forraje de alfalfa cosechado en la mañana tiene contenidos de FDA y PC más altos que los de forraje cosechado más tarde⁽³³⁾.

En el Cuadro 4 se muestran los resultados en cambios de peso vivo y condición corporal entre tratamientos. Los cambios de peso vivo fueron relativamente poco importantes, representaron hasta 45 g vaca⁻¹ día⁻¹ (invierno en AM-PM). Las vacas en AM-PM ganaron más peso vivo que los otros dos tratamientos ($P<0.05$) durante invierno, en cambio durante primavera si bien su cambio de peso fue mayor que en PM ($P<0.05$), no difirió del de AM ($P>0.05$). Los cambios de peso vivo por efectos de la suplementación están en función del periodo de la lactancia de las vacas; en el primer tercio de la lactancia la suplementación puede conducir a reducir pérdidas de peso, en tanto que más adelante en la lactancia puede conducir a incrementos en la ganancia de peso⁽²¹⁾. No se detectaron cambios en condición corporal entre los tratamientos ($P<0.05$).

Cuadro 4: Cambio de peso vivo (PV en kg) y condición corporal (CC en unidades) en vacas lecheras en pastoreo suplementadas, suplementadas en diferentes momentos del día

Experimento	Parámetro	Tratamiento			Media	EE
		AM-PM	AM	PM		
Invierno	Cambio PV	2.3 ^{a†}	1.8 ^b	1.8 ^b	2	0.17
	Cambio CC	0.01 ^a	0.003 ^a	-0.006 ^b	0.002	0.005
Primavera-	Cambio PV	1.9 ^{x€}	1.7 ^{xy}	1.2 ^y	1.6	0.20
Verano	Cambio CC	-0.004	0.008	-0.004	-0.00002	0.004

AM-PM, AM, PM= momento de oferta del concentrado; EE= error estándar; † € Medias con distinto literal minúscula ab o xy en la hilera son diferentes ($P<0.05$).

En el Cuadro 5 se presentan los resultados de 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 invierno (6.1 %, $P=0.0002$), como en primavera-verano

(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 5: Producción y composición de leche en vacas lecheras en pastoreo suplementadas con concentrado en diferentes momentos del día

Experimento	Parámetro	Tratamiento			Media	EE
		AM-PM	AM	PM		
Invierno	Producción de leche, L vaca ⁻¹ día ⁻¹	21.7 ^{b†}	23.8 ^a	21.8 ^b	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 Verano	Producción de leche, L vaca ⁻¹ día ⁻¹	20.3 ^{y€}	22.6 ^x	19.6 ^y	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

AM-PM, AM, PM =momento de oferta del concentrado como suplemento; EE= error estándar; ^{†€} Medias con distinto literal minúscula en la hilera son diferentes ab ($P=0.0002$) xy ($P<0.0001$).

En un estudio⁽¹⁵⁾ en el mismo sitio con el mismo tipo de vacas y praderas y con el mismo criterio de manejo de pastoreo, se obtuvo durante invierno con suplementación de 5 kg MS de concentrado dividida entre AM y PM una producción de 21.4 L vaca⁻¹ día⁻¹ similar a la obtenida en este experimento con la misma cantidad y esquema de suplementación; sin embargo, por el hecho de suministrar dicha cantidad únicamente en AM se obtuvo en este experimento 23.8 L vaca⁻¹ día⁻¹ (10 % superior). Del mismo modo, en un experimento con tratamientos similares⁽¹⁶⁾ se reportó tendencia ($P<0.07$) a 0.5 L vaca⁻¹ día⁻¹ mayor producción individual con la oferta matutina del suplemento. Por el contrario, se ha reportado mayor ($P<0.001$) producción de leche (2.1 L vaca⁻¹ día⁻¹) al suplementar a las vacas lecheras en pastoreo por la tarde en comparación con la mañana⁽³⁴⁾.

En el presente estudio no se detectó efecto ($P>0.05$) sobre la concentración de proteína, grasa o sólidos totales en leche. Sin embargo, los resultados encontrados en la literatura no son concluyentes. 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⁽³⁵⁾. 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⁽³⁵⁾. También se ha precisado que el contenido de grasa en leche es menor con la oferta total del suplemento por la mañana⁽³⁶⁾. Por el contrario, entre tratamientos con y sin suplementación con ensilado de

maíz, 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⁽³⁷⁾.

El momento en que fue ofrecido el concentrado no afectó ($P<0.5$) la carga animal en ninguno de los dos experimentos (Cuadro 6); el promedio de la carga en invierno fue 6.7 vacas ha⁻¹ y en primavera-verano fue 5.1 vacas ha⁻¹. La carga animal (CA) es descrita como el número de vacas por unidades de superficie y tiempo ($CA_{\text{Anual}}=\text{vacas}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y $CA_{\text{diaria}}=\text{vacas}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$)⁽¹⁵⁾; en el presente estudio se consideró $CA_{\text{Ciclo de pastoreo}}$.

Cuadro 6: Carga animal de vacas lecheras (vacas ha⁻¹ por ciclo de pastoreo) suplementadas en diferentes momentos del día

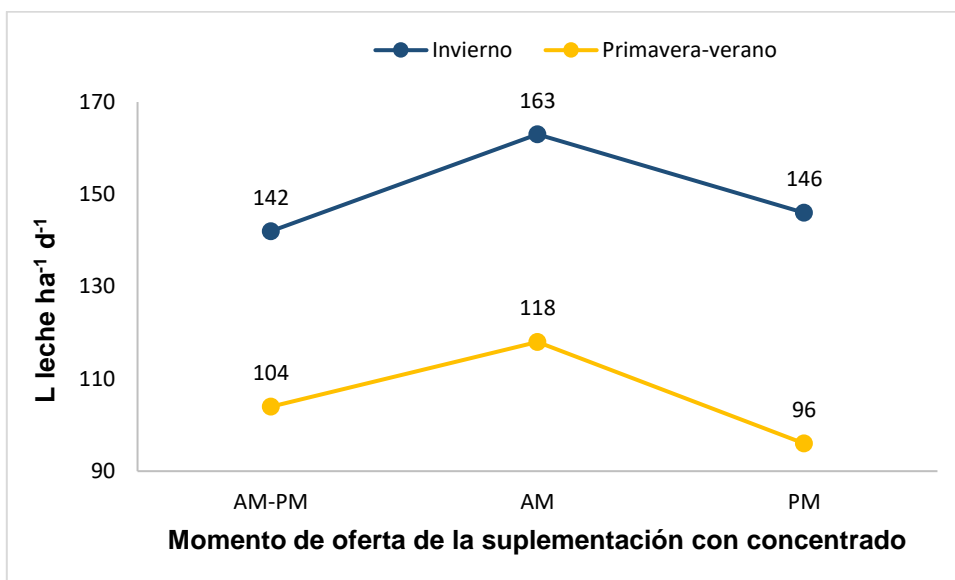
Experimento	AM-PM	EE	AM	EE	PM	EE
Invierno	6.5	0.39	6.9	0.05	6.7	0.29
Primavera verano	5.1	0.38	5.2	0.23	4.9	0.22

AM-PM, AM, PM= momento de oferta del concentrado como suplemento; EE= error estándar; ($P<0.5$).

El efecto sustitutivo consecuencia de la suplementación puede conducir a incrementos en la carga animal y con ello la producción de leche por hectárea⁽²²⁾. 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⁽²¹⁾. La falta de respuesta en carga animal a cambios en momentos de suplementación, implica que no hubo diferencias en efecto sustitutivo. En principio, conforme a lo estipulado en otro trabajo⁽³⁸⁾; esto se debió a que el nivel de suplementación fue el mismo en los tres tratamientos. Efectos de tratamientos sobre los ritmos circadianos en actividad de pastoreo pueden ocasionar cambios en consumo de forraje⁽³⁹⁾; únicamente ese tipo de efectos pudo haber ocasionado diferencias en efecto sustitutivo en este estudio, pero no se presentaron.

La respuesta en producción de leche por hectárea (Figura 1) es el resultado del producto de la producción individual por la carga animal. La producción de leche por hectárea del tratamiento AM superó al promedio de los otros dos tratamientos en 8.4 % durante invierno, y en 11.3 % durante primavera-verano. Estas diferencias se conformaron de manera similar y se originaron de las diferencias en producción individual, ya que en carga animal 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 conforme los indicado por otros autores⁽⁴⁰⁾ coincidió el mejor aprovechamiento de forraje por la tarde con su mayor valor nutritivo⁽³⁵⁾. Este resultado en que la más alta producción de leche con AM se debió al aumento en la producción individual, sin cambio en la carga animal, contradice lo reportado por distintos autores^(2,15,21), quienes indican que los incrementos en producción de leche por hectárea al variar la carga animal, responden a aumentos en ésta y no a mejoras en la producción individual.

La importancia de considerar la respuesta a suplementación en términos de producción de leche por hectárea en lugar de leche por vaca radica en que de este modo se estará tomando en cuenta el impacto de esta tecnología sobre el sistema de producción (unidad de producción)^(14,15); esto permitirá estimar de manera más adecuada su efecto sobre el desempeño económico del sistema.

Conclusiones e implicaciones

El criterio de manejo de pastoreo utilizado permitió lograr 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, sin aumentar los insumos, ya que se basó en cambios circadianos en la composición de forraje y el comportamiento de ingestión de forraje.

Agradecimientos y conflicto de intereses

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

Literatura citada:

1. McCarthy B, Delaby L, Pierce KM, 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. Leaver JD. Effects of supplements on herbage intake and performance. In: Frame J. editor. *Grazing. Occasional Symposium No. 19. British Grassland Society.* 1985:79-88.
5. John AJ, Garcia SC, Kerrisk KL, Freeman MJ, Islam MR, Clark EF. The effect of temporal variation in feed quality and quantity on the diurnal feeding behavior of dairy cows. *Animal* 2019;13(11):2519-2526.
6. Bica GS, Pinheiro LC, Teixeira DL, De Sousa KT, Hötzel MJ. Time of grain supplementation and social dominance modify feeding behavior of heifers in rotational grazing systems. *Front Vet Sci* 2020;1-7.
7. Cahill L, Patton D, Reilly B, Pierce KM, Horan B. Grazing season length and stocking rate affect milk production and supplementary feed requirements of spring-calving dairy cows on marginal soils. *J Dairy Sci* 2023;106(2):1051-1064.
8. Stockdale CR. Effects of body condition score at calving and feeding various types of concentrate supplements to grazing dairy cows on early lactation performance. *Livestock Sci* 2008;116(1-3):191-202.

9. 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.
10. Ramírez-Mella M, Hernández-Mendo O, Ramírez-Bribiesca EJ, Améndola-Massiotti RD, Crosby-Galván MM, Burgueño-Ferreira JA. Effect of vitamin E on milk composition of grazing dairy cows supplemented with microencapsulated conjugated linoleic acid. *Trop Animal Health Prod* 2013;45:1783-1788.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. Baudracco J, Lopez-Villalobos N, Holmes CW, Macdonald KA. Effects of stocking rate, supplementation, genotype and their interactions on grazing dairy systems: A review. *N Z J Agr Res* 2010;53(2):109-133.
15. Castro JC. Suplementación con concentrado sobre producción de leche individual y por hectárea de vacas Holstein en pastoreo [Tesis Maestría]. Texcoco, Estado de México; Universidad Autónoma Chapingo, 2020.
16. 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.
17. 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.
18. Gregorini P. Diurnal grazing pattern: its physiological basis and strategic management. *Animal Prod Sci* 2012;52(7):416-430.
19. García E. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köpen. 5ta ed. México, DF: Instituto de Geografía-UNAM; 2004.

20. Herrera Haro JG, García Artiga C. Bioestadística en ciencias veterinarias: Procedimientos de análisis de datos con SAS. Universidad Complutense de Madrid: Madrid: área Ciencias de la Salud; 2010.
21. Amendola RD. A dairy system based on forages and grazing in temperate Mexico [PhD Thesis]. The Netherlands. Wageningen Universitiet, 2002.
22. 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.
23. 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 Health Prod* 2018;(50):531-536.
24. 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.
25. AOAC. Official Methods of Analysis. 18th ed. Washington, DC; USA Association of Official Agricultural Chemists. 2005.
26. Garcia A, Hippen A. Feeding dairy cows for body condition score. *Dairy Sci* 2008;137.
27. SAS. SAS/STAT:9.3 User's Guide (3rd ed.) Cary, NC, USA: SAS Inst. Inc. 2010.
28. 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 Pecu Mex* 2009;47(2):173-188.
29. 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.
30. Álvarez FG, López OR. Rendimiento agronómico, digestibilidad (*in vitro*) y contenido de proteína cruda de nueve variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en Nazareno, Etna, Oaxaca [Tesis Profesional]. Texcoco, Estado de México. Universidad Autónoma Chapingo, 1992.
31. 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 Pecu* 2020;11(1):1-18.

32. 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 Feed Sci Tec* 2000;84(1-2):49-68.
33. Putnam D, Mueller S, Marcum D, Frate C, Lamb C, Canevari M, *et al.* Diurnal changes in alfalfa forage quality. In: *Proc, 28th Alfalfa Symposium*. California, NV. 1998:31-39.
34. 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.
35. Jenkins TC, McGuire MA. Major advances in nutrition: impact on milk composition. *J Dairy Sci* 2006;89(4):1302-1310.
36. 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. *J Agr Sci* 2009;147(6):721-730.
37. 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.
38. Bargo F, Muller LD, Kolver ES, Delahoy JE. Invited review: Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. *J Dairy Sci* 2003;86(1):1-42.
39. Gregorini P. Estado interno. Estímulos que motivan el consumo y ciertas conductas ingestivas de rumiantes en pastoreo. *Producción Animal en Pastoreo*. Buenos Aires, Ediciones INTA 2011;513-65.
40. 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.