



Producción de leche de vacas en pastoreo de alfalfa (*Medicago sativa*) en el altiplano mexicano



Vicente Lemus Ramírez ^a

Aurelio Guevara Escobar ^{b*}

Juan Antonio García Rodríguez ^a

Delia Gaspar Sánchez ^a

José Guadalupe García Muñiz ^c

David Pacheco Ríos ^d

^a Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Animal del Altiplano, Tequisquiapan Qro. México.

^b Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ciencias Naturales. Qro. México.

^c Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Zootecnia, 56230. Chapingo, Estado de México. México.

^d Grasslands Research Centre. Animal Science Group, Palmerston North 4442, New Zealand.

* Autor de correspondencia: guevara@uaq.mx

Resumen:

Se evaluó el efecto de factores ambientales y de manejo del pastoreo sobre la producción de forraje y leche en praderas de alfalfa en el centro de México durante el 2009 al 2011. Se analizaron registros de la composición de sólidos de leche (grasa+proteína+lactosa) y producción de leche; en la pradera, la composición química, la materia seca de forraje (MS) ofrecida (MFO), tasa de acumulación de forraje (TAF), carga animal (CA) y otras variables.

La información ambiental para el sitio se obtuvo de bases de datos por percepción remota. Del 2009 al 2011 el área de pastoreo fue creciente y el nivel de suplementación decreciente, resultando en una producción de: 17.3, 14.7 y 13.5 t MS ha⁻¹ año⁻¹, utilización de la pradera de 75, 71 y 73 %, CA de 3.7, 3.1 y 2.7 vacas ha⁻¹, producción de leche de 19,290, 13,419 y 12,563 kg ha⁻¹ año⁻¹ y sólidos de leche de 2,409, 1,638 y 1,554 kg ha⁻¹ año⁻¹. Por regresión múltiple, los días de descanso y la temperatura nocturna explicaron la TAF. La temperatura diurna y la CA explicaron la MFO; la producción de leche dependió de la TAF, temperatura diurna y energía del alimento; los sólidos totales fueron función de la MS desaparecida y de la energía del alimento. La estrategia de suplementación debe apoyar de octubre a abril, donde la TAF está por debajo del promedio, además la masa de forraje residual debe ser de 400 a 500 kg de MS ha⁻¹ para maximizar la TAF en el siguiente ciclo de pastoreo.

Palabras clave: Producción de leche, Sólidos de leche, Manejo del pastoreo, Praderas de alfalfa.

Recibido 16/03/2018

Aceptado 22/11/2018

Introducción

La producción de ganado en pastoreo tiene ventajas económicas, de sanidad y bienestar animal, en comparación con la crianza en confinamiento total^(1,2). La producción en pastoreo en el Altiplano Mexicano se ha propuesto con praderas mixtas de clima templado^(3,4). Siendo importante la contribución de leguminosas como tréboles o la alfalfa a la eco-fisiología de la pradera^(5,6). El pastoreo de alfalfa se practica en varios países en condiciones de irrigación o seco; siendo la profundidad de sus raíces una ventaja frente a muchos cultivos forrajeros^(7,8). La alfalfa es uno de los cultivos preferidos en el clima templado, por su alta calidad nutricional y la flexibilidad en su cosecha para heno o ensilado, entre otros aspectos. Sin embargo, el manejo de la alfalfa se dificulta por: la frecuencia de timpanismo al consumirse fresca o pastorearse⁽⁹⁾, su alto contenido de proteína cruda, que aumenta el costo energético por excreción de N urinario⁽¹⁰⁾, el costo de establecimiento del cultivo y su alta necesidad de agua en el riego⁽¹¹⁾.

El pastoreo rotacional es necesario para el manejo de la alfalfa y disminuir la selección del alimento por el ganado, acoplar el sistema de producción animal a la disponibilidad de forraje, equilibrar la competencia entre las especies vegetales y también en la relación con el rumiante, favoreciendo la persistencia de la leguminosa en la pradera^(9,12). La tasa de

acumulación de biomasa de la alfalfa tiene un comportamiento estacional determinado por la temperatura ambiental y la humedad del suelo^(9,13). Para obtener una biomasa adecuada para el pastoreo también se necesita ajustar el tiempo entre cosechas, de otra forma se puede reducir el reclutamiento de tallos y hojas⁽¹⁴⁾.

El pastoreo de alfalfa con suplementación con forraje y alimento concentrado tiene un efecto positivo en el nivel de producción, ofrece cierta protección contra el timpanismo, un mejor balance de nutrientes y facilita los ajustes necesarios en la presión de pastoreo⁽⁸⁾. No obstante, la suplementación causa efectos de sustitución, disminuyendo el consumo de forraje en la pradera⁽¹⁰⁾. Aunque la suplementación ofrece ventajas para el manejo de pastoreo también aumenta la dependencia de recursos externos a la unidad de pastoreo. La eficacia del pastoreo se refleja en la capacidad individual de las vacas para producir sólidos lácteos (grasa, proteína y lactosa) durante una temporada o lactancia, siendo importante expresar el rendimiento por unidad de superficie (kg de sólidos lácteos ha⁻¹). En los modelos de producción lechera en confinamiento total, se enfatiza el desempeño del hato y de cada animal en función de la cantidad producida (L vaca⁻¹ por día o lactancia); en la industrialización se valora la concentración de sólidos de leche.

Para contribuir al conocimiento del modelo productivo en pastoreo, nuestro objetivo fue representar las relaciones ambientales, de la pradera y la producción animal considerando un estudio de caso de pastoreo de vacas lecheras en una pradera mixta que derivó en dominancia de alfalfa. Se usaron datos del pastoreo de alfalfa por vacas en el periodo 2009 a 2011 con distinta práctica de manejo en la alimentación. La pregunta de estudio fue: ¿Qué factores influyen en la producción de alfalfa para el pastoreo y en la producción de leche? Al responder al planteamiento se contribuye a entender las relaciones entre el ambiente, la planta, el animal y el producto. Esto es importante porque la combinación de calidad y cantidad del forraje determinan la calidad del producto animal, pero también las fluctuaciones ambientales ocasionan cambios en la producción en pastoreo⁽¹⁵⁾.

Material y métodos

Sitio de estudio

El Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Animal en el Altiplano (CEIEPAA), dependiente de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), se ubica en el km 8.5 de la carretera federal Tequisquiapan – Ezequiel Montes, en el municipio de Tequisquiapan, Querétaro. El sitio se localiza a 20° 36' 13.88" N, 99° 55' 02.91" W y altitud de 1,913 msnm. El clima es templado, con promedio anual de precipitación de 512 mm ocurriendo en un periodo

promedio de lluvias de 78 días y temperatura diaria de 17.5°C, con 18 días de helada de octubre a febrero, con veranos cálidos e invierno poco extremoso⁽¹⁶⁾. Los vientos dominantes son en dirección Noreste Suroeste.

Condiciones generales de la pradera

La pradera se estableció en el año 2005 con los pastos *Dactylis glomerata* (pasto ovillo), *Lolium multiflorum* (ballico italiano), *Festuca arudinacea* (pasto festuca) y *Bromus inermis* (pasto bromo), y la leguminosa *Medicago sativa* (alfalfa); pero para el 2009 la alfalfa dominaba la pradera. El manejo consistió en riego por aspersión (side roll) y pastoreo por vacas lecheras usando el método en franjas. En promedio se aplicaron 1.5 riegos por ciclo de pastoreo, pero la lámina de riego no se registró. El control del ganado fue con cerco eléctrico móvil. La pradera se fertilizó con $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ a razón de 50 kg P_2O_5 ha⁻¹, aplicadas dos veces cada año durante primavera (mayo-junio) y principios de otoño (septiembre-octubre). El área de pastoreo fue de 21, 22 y 27 ha para los años 2009 a 2011, exclusivamente pastoreada por el hato estudiado.

Masa de forraje

La estimación de la masa de forraje (MF) en la pradera (kg MS ha⁻¹) fue con la técnica del marco metálico⁽¹⁷⁾, pero con modificación para evaluar la producción por la alfalfa; consistiendo en cortar la MF contenida en un marco metálico de 0.25 m² a una altura de 10 cm, con el fin de proteger los tallos de rebrote de la alfalfa. Se estimó la MF ofrecida (MFO) como la MF existente en la pradera previa al pastoreo y la MF residual (MFR) como la cantidad de MF post-pastoreo, ambos expresados en kg de MS ha⁻¹. Para estimar la MFO y la MFR se lanzó el marco ocho veces de manera aleatoria y en cada una se cosechó el forraje, el promedio de la MF constituyó una medición. Las muestras de forraje se deshidrataron en una estufa de aire forzado a 95°C durante 48 h para determinar el contenido de materia seca (MS). Por diferencia entre MFO y MFR, se estimó la cantidad de MF desaparecida (MFD kg MS ha⁻¹), considerándose como una estimación del consumo animal en el día de medición. Para cada periodo de pastoreo se registró el tiempo de recuperación o descanso (TD) entre defoliaciones, en días (d). La tasa de acumulación del forraje (TAF) se calculó como la MFO dividida entre el TD. En función del programa de pastoreo, algún potrero no se pastoreó y entonces la biomasa se cosechó como heno, registrándose el número de pacas y su peso promedio; este forraje se usó como suplemento. La fenología de la actividad de la vegetación se modeló para la tasa de acumulación de forraje y usando el modelo TIMESAT⁽¹⁸⁾.

Análisis químicos

Cada mes se tomó una muestra de 200 g de MS de forraje de la pradera para ser enviada al laboratorio del Departamento de Bioquímica y Nutrición Animal de la FMVZ-UNAM. La digestibilidad *in vitro* de la MS se determinó por el método de Tilley y Terry⁽¹⁹⁾. El contenido de energía metabolizable del forraje (MJ kg⁻¹ MS) se estimó a partir de los valores de la digestibilidad *in vitro* de la MS usando las ecuaciones propuestas por Geenty y Rattray⁽²⁰⁾. El contenido de sólidos totales, grasa y proteína en la leche se determinaron con un Milkoscan 133 (Foss Electric, Denmark).

Manejo del ganado y el pastoreo

El modelo de producción de leche fue con partos y producción durante todo el año. Las praderas en estudio se pastorearon por grupos de vacas de 45, 54 y 61 para 2009, 2010 y 2011 respectivamente; estas cantidades incluyen los grupos de lactantes y secas. Los grupos raciales fueron de Holstein Friesian, Jersey y cruza de estas razas, en donde la raza predominante fue la Holstein con 58, 54 y 51 %, en cada año. El peso corporal promedio de las vacas durante el periodo de estudio fue de 510 kg \pm 66 kg. Las vacas se mantuvieron siempre en pastoreo y consumieron suplementos ofrecidos en corral antes del ordeño. El suplemento fue alimento balanceado comercial y/o grano de maíz rolado a razón de 1.8 kg y heno de pradera 1.6 kg (base seca) por vaca por día. En los tres años estudiados, el promedio de área efectiva destinada al pastoreo fue 12.4, 17.8 y 22.2 ha. El área cosechada como heno fue en promedio 8.5, 3.9 y 4.5 ha al año, durante la época de abundancia de MS. La carga animal fue de 3.63, 3.03 y 2.75 vacas ha⁻¹ año⁻¹. Los animales tuvieron acceso libre a agua y sales minerales. En periodos de riesgo de timpanismo se aplicó polisiloxano por vía oral en dosis de 1 g vaca⁻¹ d⁻¹ antes de entrar a la pradera. En el agua de bebida se aplicó Bloat Tenz (Ecolab, Ltd, Nueva Zelandia) que es una mezcla de alcoholes etoxilados y propoxilados usados como tensoactivos no iónicos el cual se ofreció en proporción 1:1000. El control del pastoreo y la medicación aplicada al ganado para prevenir el timpanismo, permitieron que no se presentara mortalidad ni casos clínicos relacionados a la alimentación basada en alfalfa bajo condiciones de pastoreo intensivo.

Datos ambientales

La base de datos del Servicio Meteorológico Nacional no cuenta con datos de estaciones climáticas cerca del sitio de estudio. La caracterización ambiental se efectuó con datos medidos por percepción remota: para precipitación se usó el producto TRMM 3B43 v7 de la Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM). Este producto es mensual y se deriva de

mediciones a intervalos de 3 h y con resolución espacial de 0.25° desde 1998, y hasta la fecha a través de la misión Global Precipitation Measurement (GPM). Para las temperaturas diurna y nocturna se usó el producto MOD11A2 v5 de temperatura de superficie y emisividad del Espectroradiómetro de Imágenes de Media Resolución (MODIS) a bordo de los satélites Terra y Aqua. El producto MOD11A2 tiene escala temporal de 8 días y espacial de 250 m. La evapotranspiración la estima el producto MOD16A2, con escalas de 8 días y 1000 m. Ambos productos son libres de nubes porque son un mosaico de mediciones diarias promediadas sólo cuando tienen la calidad necesaria.

Análisis estadístico

Para el estudio de caso se usó un análisis factorial con observaciones repetidas, siendo factores el año con tres niveles y el mes con doce niveles, considerándose un estudio con pseudoreplicación por la falta de aleatorización de los niveles de los factores. La relación entre variables ambientales y del sistema de producción se evaluó por regresión lineal múltiple, la selección de variables en el modelo se efectuó usando el factor de inflación de varianza (VIF) con un valor cercano a 10 y la eliminación progresiva de términos (backward elimination) sin considerar interacciones entre variables. En los modelos se confirmó el cumplimiento de los supuestos de normalidad, varianza homogénea e independencia. El nivel de significancia fue 5% para el ajuste de Bonferroni o para los modelos de regresión. Los procedimientos se efectuaron en SAS University Edition (SAS Institute Inc. Cary NC, USA) y Minitab v 17 (Minitab Inc., State College PA, USA).

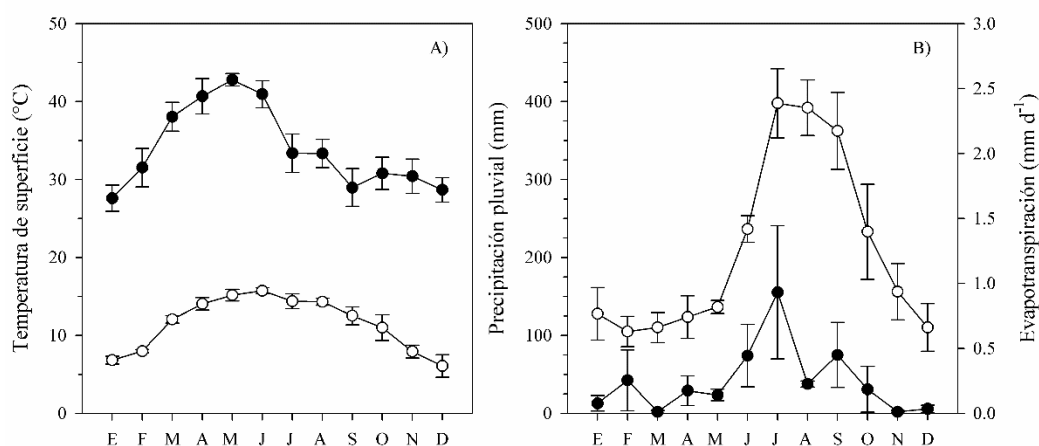
Resultados y discusión

Condiciones ambientales

El tiempo durante el periodo de estudio concordó con la descripción climática del sitio, siendo julio el mes más lluvioso y mayo el más caluroso (Figura 1). De acuerdo con la temperatura diurna, se identificó una temporada con temperatura en ascenso, de febrero a junio y después, de julio a enero, la temperatura se mantuvo estable (Figura 1A); dado por la nubosidad provocada por temporada de lluvias y después por la influencia de las masas de aire polar. El ambiente se consideró extremo no sólo por la diferencia mayor a 15 °C entre el mes más cálido (42.7°C) y el más frío (6.1°C); sino por la diferencia entre las temperaturas diurna y nocturna promedio diarias en cada mes (Figura 1A). La precipitación anual fue de 489 mm y la evapotranspiración real de 454 mm; sin embargo, los patrones estacionales de estas dos variables no fueron semejantes debido a las contribuciones del agua almacenada en

el suelo y el riego agrícola (no medidas) en el sitio de estudio. Por la escala espacial gruesa de medición estas variables sólo describieron la condición ambiental general y no exactamente las de la parcela de alfalfa.

Figura 1. Condiciones ambientales para el sitio de estudio en Tequisquiapan, Querétaro registradas por sensores remotos. A) Temperatura diurna (●) y nocturna (○) de acuerdo al producto MOD11A2 de MODIS, B) precipitación pluvial (●) obtenido del TRMM y evapotranspiración (○) según el producto MOD16A2 de MODIS



Producción de forraje

El promedio de la TAF fue distinto en 2009 y en los siguientes años fue semejante, lo mismo sucedió para los promedios de MFO y la MFD (Cuadro 1). La MFR sólo fue semejante durante los dos primeros años. En general, la producción de forraje fue significativamente menor en 2011, pero la tendencia a disminuir se observó desde 2010. La TAF mostró un comportamiento estacional con mayor acumulación en el verano. Para el periodo de estudio la acumulación de MS fue de 17,343, 14,649 y 13,497 kg ha⁻¹ año⁻¹. Al analizarse los parámetros de fenología de la TAF se identificó una temporada de crecimiento con duración de 173 días, iniciando hacia el día 115 (25 de abril) y terminando hacia el día 288 (15 de octubre) del año. El umbral para definir el inicio y fin de la temporada fue el 50 % de la TAF: así, 192 d se encuentran fuera de la temporada de crecimiento y se esperaría una TAF menor al promedio; en ese periodo se deben enfocar los esfuerzos para mejorar la TAF y la política de suplementación del ganado para reducir el déficit alimentario. El modelo de fenología estimó la TAF máxima de 82.7 kg MS ha⁻¹ día⁻¹ ocurriendo en el día 200 del año. El nivel de utilización de la pradera fue de 75, 71 y 73 %.

Cuadro 1. Medias de cuadrados mínimos para las variables de producción y manejo de la pradera de alfalfa en pastoreo

	Masa de forraje						Tasa de		Periodo de	
	Ofrecida		Residual (kg ha ⁻¹)		Desaparecida		Acumulación (kg ha ⁻¹ d ⁻¹)		Descanso (d)	
Año										
2009	1947	a	502	a	1445	a	58	a	36	ab
2010	1717	b	496	a	1221	b	50	b	37	a
2011	1543	b	419	b	1125	b	49	b	35	b
ee	39		12		28		1.3		0.4	
Mes										
Ene	1146	a	266	a	880	a	23	a	51	e
Feb	1148	a	267	a	882	a	24	a	48	d
Mar	1631	bc	412	bc	1219	bc	40	bc	41	c
Abr	1638	bc	458	bc	1180	abc	46	c	36	b
May	1861	cd	527	cd	1334	cd	60	d	31	a
Jun	2429	e	686	e	1743	e	84	e	29	a
Jul	2237	de	630	de	1607	de	78	e	29	a
Ago	2376	e	688	e	1689	e	86	e	28	a
Sep	1819	c	506	cd	1313	cd	62	d	29	a
Oct	1734	c	472	bc	1262	c	59	d	29	a
Nov	1491	abc	401	bc	1089	abc	37	bc	40	c
Dic	1324	ab	357	ab	967	ab	30	ab	44	d
ee	77		25		57		2.5		0.8	

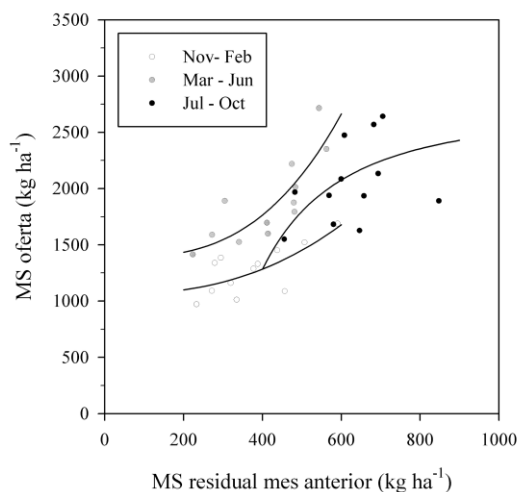
^{abcde} Las medias con la misma literal son semejantes ($P < 0.05$, ajuste de Bonferroni).

La TAF y la MFO fueron mayores de junio a agosto, pero para la MFO existió una transición gradual a través de los meses, exceptuado de agosto a septiembre y de febrero a marzo (Cuadro 1). El diferente comportamiento de la MFO se debe al efecto del manejo de pastoreo, que buscó empatar la producción animal y la de forraje. Para la MFR existió un periodo donde la masa fue baja, particularmente de diciembre a febrero y otro periodo donde la masa fue alta, en junio a agosto. En septiembre y octubre se mantuvieron rotaciones de 29 días, siendo que la TAF había disminuido, repercutiendo en la producción de forraje invernal. La MFO se explicó en 46% por la masa residual de forraje del mes anterior y en 45% por la TAF en el mes en curso, otras fuentes de variación fueron la temperatura diurna, la carga animal en el mes en curso y los días de descanso en el mes anterior 0.97 ($P < 0.05$). Por otra parte, la MFR del mes anterior, los días de descanso y la temperatura nocturna explicaron 54, 30 y 2.5 % de la variación en la TAF ($P < 0.05$). La menor TAF de noviembre a febrero tuvo una relación proporcional con la temperatura nocturna mensual del mes anterior, como variable explicativa ($y = 9.70 + 2.36x$, $r^2 = 0.86$, $F_{1, 10} = 27.4$). Por otra parte, un déficit en la humedad

del suelo podría descartarse en ese periodo, ya que la evapotranspiración fue semejante de diciembre a mayo (Figura 1 B).

La relación entre la MFR del mes anterior (y) y la MFO (x) fue directamente proporcional (Figura 2), aunque de diferente forma para periodos del año: Noviembre-Febrero ($y = 1059.22 + 0.00007 x^{2.5}$, $F_{1, 10} = 11.23$, $r^2 = 0.52$), marzo a junio ($y = 1386.50 + 0.0000059 x^3$, $F_{1, 10} = 24.14$, $r^2 = 0.71$) y julio a octubre ($y = 2711.01 - 228300000/x^2$, $F_{1, 10} = 4.05$, $r^2 = 0.31$); la agrupación de los meses fue de acuerdo a la similitud en la TAF (Cuadro 1). Sólo en julio fue posible obtener un promedio cercano a $2,500 \text{ kg ha}^{-1}$ de MFO, pero para los meses de julio a octubre la MFO no fue tan alta a pesar de tener una MFR comparativamente mayor que en otros meses (Cuadro 1). La relación para los meses de noviembre a febrero sugirió el potencial para obtener mayor MFO (Figura 2), si la MFR fuera en el rango de $400\text{-}600 \text{ kg ha}^{-1}$, siendo que su promedio fue menor a 400 kg ha^{-1} (Cuadro 1). La carga animal (CA) disminuyó del 2009 al 2011 (3.7, 3.1 y 2.7 vacas ha^{-1}) siendo diferentes únicamente el año 2009 del 2011 ($P < 0.05$).

Figura 2. Relación entre la MFR del mes anterior y la MFO del mes actual durante tres periodos del año en una pradera de alfalfa en pastoreo



El Cuadro 2 presenta la composición química de la pradera y fue concordante con la oferta de forraje más joven en el otoño e invierno. Resaltó la mayor concentración de energía y de proteína cruda (PC) de la pradera en el otoño, extendiéndose para la PC hacia el invierno. La PC fue mayor en noviembre a febrero en comparación con el resto del año (22.4 vs 21.9 %, $P < 0.05$). La digestibilidad (*in vitro*) de la MS tuvo cambios paulatinos, pero tendió a

aumentar en el otoño. El contenido de MS del forraje de la pradera fue más alto en primavera que en otoño. La única correlación significativa con la MFO ocurrió con la PC (-0.36, $P<0.05$).

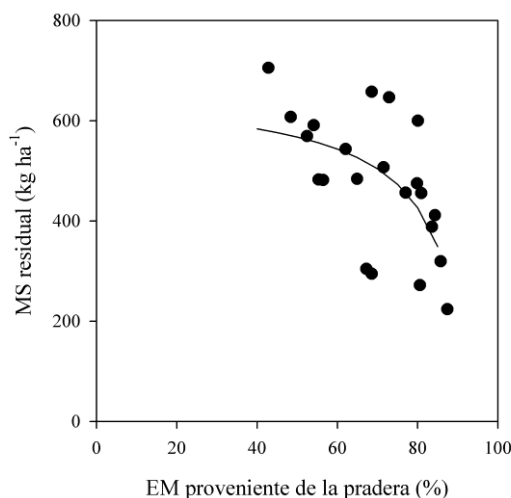
Cuadro 2. Composición química de la pradera de alfalfa

Mes	Energía metabolizable		Proteína cruda		Digestibilidad <i>in vitro</i>		Materia seca		Fibra neutro detergente		Cenizas	
	Mcal	kg ⁻¹ MS	%		%		%		%		%	
E	11.0	ab*	22.3	ab	66.7	ab	23.3	bc	47.0	a	3.1	b
F	11.0	ab	22.3	ab	66.7	ab	23.3	bc	47.0	a	3.1	b
M	10.8	b	21.5	b	65.7	b	25.3	ba	47.7	a	3.6	a
A	11.0	b	21.8	b	66.3	ab	26.3	a	46.0	a	3.6	a
M	11.0	b	21.8	b	66.3	ab	26.3	a	46.0	a	3.6	a
J	10.8	b	21.7	b	67.0	ab	22.7	bc	45.7	a	3.1	b
J	10.8	b	21.7	b	67.0	ab	22.7	bc	45.7	a	3.1	b
A	10.8	b	21.7	b	67.0	ab	22.7	bc	45.7	a	3.1	b
S	11.3	a	22.6	a	68.0	a	22.0	c	44.3	a	3.1	b
O	11.3	a	22.6	a	68.0	a	22.0	c	44.3	a	3.1	b
N	11.3	a	22.6	a	68.0	a	22.0	c	44.3	a	3.1	b
D	11.0	ab	22.3	ab	66.7	ab	23.3	bc	47.0	a	3.1	b
ee	0.1		0.16		0.46				1.0		0.9	

^{abc} Las medias con misma letra son semejantes ($P<0.05$, ajuste de Bonferroni).

La proporción en el aporte de energía por la pradera fue distinta entre todos los años (60, 95 y 84 %, $P<0.05$) debido a que la complementación fue disminuyendo entre los años. La disminución en la CA se atribuyó no sólo a la menor producción de la pradera, sino también al menor nivel de suplementación. En el primer año de estudio fue posible mantener una mayor CA porque la suplementación fue mayor; pero también a mayores niveles de suplementación la MFR fue menor (Figura 3), no obstante que el área efectiva de pastoreo aumentó a través del tiempo (12.4, 17.8 y 22.2 ha). Estos resultados sugirieron una desvinculación entre la política de suplementación y el manejo de la pradera.

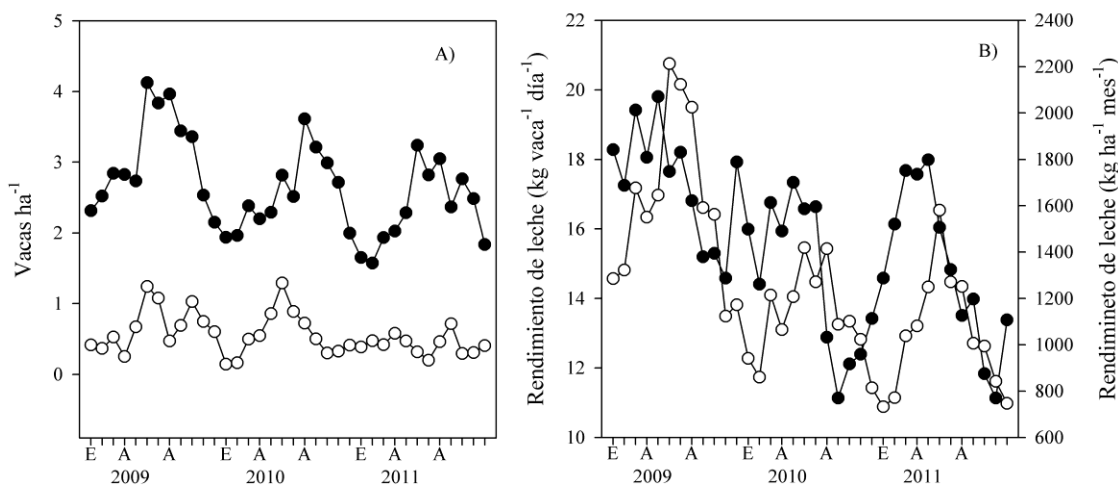
Figura 3. Relación entre el porcentaje de energía metabolizable (EM) proveniente de la pradera de alfalfa y la MFR para los meses con más de 10% de suplementación de energía.



Producción de leche

En los modelos de producción pastoril, la rentabilidad potencial depende de muchos factores, siendo importantes: la alta producción forrajera por hectárea por año, altos niveles de utilización de ese forraje por el hato lechero en pastoreo y por la calidad genética de las vacas para la producción de leche a partir exclusivamente de forraje pastoreado. La producción de leche puede modificarse al añadir en la dieta alimentos concentrados, heno o ensilado para suplementar (o complementar) el aporte de nutrientes. En el presente caso de estudio, la política de suplementación apoyando la productividad animal en el primer año y después, la casi ausencia de suplementos en los años siguientes estableció distintos planos nutricionales. Más aún, dicha política de suplementación no se enfocó a compensar el déficit estacional de nutrientes. Por eso, el comportamiento estacional del modelo productivo tuvo un desfase entre el pico de producción de forraje en la pradera de junio a agosto (Cuadro 1) y el pico de producción de leche en marzo a mayo; sobretodo en 2009 (Figura 4). La producción de leche mensual ($\text{kg leche ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$) se explicó linealmente por la CA en el rango de 2.0 a 5.5 vacas ha^{-1} ($y=2.0 + 392.7 x$, r^2 ajustada = 0.74, $P<0.0001$). Los cambios en la CA y el aumento de área de pastoreo fueron la estrategia principal para compensar el déficit en la alimentación. Sin embargo, el promedio de producción de leche fue diferente en 2009 y en los otros años fue semejante, ya fuera por unidad animal (17.4 , 14.6 y $14.9 \text{ kg vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$, $P<0.05$) o por unidad de área ($1,607.5$, $1,118.3$ y $1,047.0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$, $P<0.05$).

Figura 4. Carga animal (A): de vacas en ordeño (●) y secas (○), rendimiento de leche (B): por vaca (●) y unidad de área (○) para un hato de vacas Holstein y Jersey en pastoreo de alfalfa



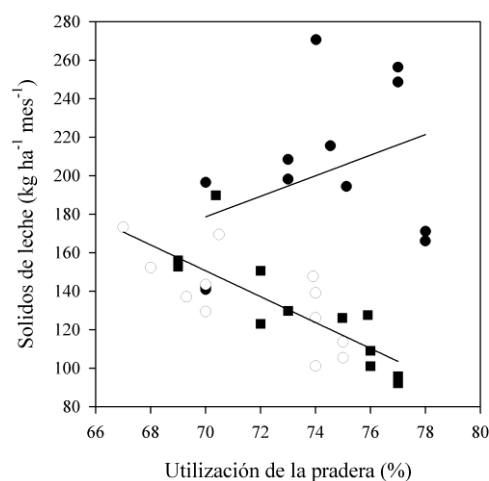
Las vacas lactantes se incorporaron estacionalmente, con picos en los meses de junio a agosto y disminuyendo sus números en diciembre a enero (Figura 4A). La magnitud en el rendimiento de leche por hectárea siguió al número de vacas lactantes. El rendimiento de leche por vaca fue menor en los meses de septiembre a noviembre ($13.1 \text{ kg vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$) en comparación con los demás meses del año ($16.5 \text{ kg vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$), siendo la diferencia consistente entre los años de estudio ($P < 0.05$). Aumentar el número de vacas buscando acoplar la disponibilidad de forraje a la demanda de nutrientes fue una estrategia, pero con pobre resultado para solucionar el déficit alimentario en los meses de otoño e invierno y ocasionando una caída en la producción de leche, más evidente en la productividad individual ($\text{kg leche vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$, Figura 4B).

Fue importante la correlación entre el rendimiento (leche, sólidos o grasa) con la concentración de PC (-0.41 , -0.39 y -0.37), fibra detergente neutro (FDN) (0.48 , 0.49 y 0.41) y la energía (-0.41 , -0.45 y -0.39) consumida en la pradera mensualmente. Al analizar el rendimiento de leche con modelos de regresión múltiple por eliminación progresiva, siendo las variables explicativas candidatas las relativas al: ambiente, la pradera y la composición del alimento se observó que la temperatura diurna, el consumo de energía mensual a partir de la pradera y el consumo de energía mensual del alimento concentrado fueron variables explicativas comunes en los modelos para leche, sólidos totales y grasa, estos modelos tuvieron una r^2 ajustada mayor a 0.9 ($P < 0.05$). Cuando las variables candidatas se limitaron a la composición del alimento entonces el rendimiento (leche, sólidos totales o grasa) se explicó principalmente por el consumo de energía mensual a partir de la pradera o del

alimento concentrado, pero también incluyeron a la concentración de PC y FDN; estos modelos tuvieron una r^2 ajustada menor a 0.84 ($P < 0.05$). En presencia de variables ambientales, las concentraciones de PC y FDN de la pradera no fueron significativas.

Una relación importante fue entre el nivel de utilización de la pradera y la producción de sólidos totales de leche (Figura 5). En el primer año de estudio el nivel de utilización de la pradera no afectó la producción de sólidos, esto fue debido a la buena disponibilidad de alimentos concentrados en ese año. Sin embargo, en los años 2010 y 2011, en ausencia de concentrados suficientes, al aumentar el nivel de utilización se observó un efecto negativo. Aumentando la MFO a niveles superiores a 2,000 kg ha⁻¹ y la MFR a 600 kg ha⁻¹ kg resultaría en un nivel de utilización (70 %), buscando un balance entre la producción animal y la de la pradera.

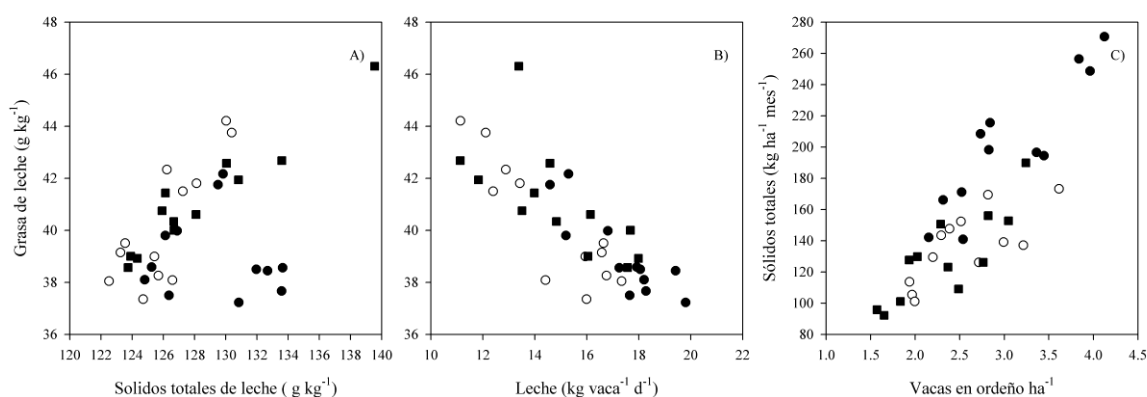
Figura 5. Relación entre tasa de utilización de la pradera y los sólidos de leche por hectárea en 2009 (●), 2010 (○) y 2011 (■). Durante 2010 y 2011 la suplementación fue baja



La cantidad de sólidos totales de leche aumentó conforme a la cantidad de grasa en la leche en los años 2010 y 2011, pero para el año 2009 la grasa no sobrepasó 43 g kg⁻¹ independientemente de mayores niveles de sólidos totales (Figura 6A). Los valores más altos de estas variables fueron en los meses de noviembre y diciembre en 2011, cuando el rendimiento de leche fue el más bajo durante el periodo de estudio (Figura 4B). En general, la cantidad de grasa en la leche disminuyó conforme aumentó la producción de leche (Figura 6B), pero la diferencia entre los años no fue clara, posiblemente por efectos estacionales de otras variables. No obstante, la cantidad de sólidos totales de leche producidos por hectárea fue proporcional al número de vacas por hectárea y los niveles de rendimiento más alto fueron en el 2009, debido principalmente al nivel de suplementación ofrecido (Figura 6B). El mayor

nivel de suplementación en 2009 resultó en mayor rendimiento de sólidos de leche por hectárea, aunque con menor proporción de grasa. En 2010 y 2011 el rendimiento de sólidos totales de leche no superó los 200 kg ha⁻¹ mes⁻¹ en la mayoría de los meses; este nivel de rendimiento debe valorarse en función de los costos económicos que implica la suplementación (Figura 5).

Figura 6. Relación entre características de la leche durante los años: 2009 (●), 2010 (○) y 2011 (■). Grasa y sólidos totales de la leche (A), grasa de la leche y rendimiento de leche (B), producción mensual de sólidos de leche y vacas en ordeño por hectárea (C)



Para los años de estudio el rendimiento de sólidos totales de leche (grasa, proteína y lactosa), fue de 2,409, 1,638 y 1,554 kg ha⁻¹ año⁻¹ y de grasa de leche de 727, 523 y 496 kg ha⁻¹ año⁻¹. En general, el rendimiento en este estudio cae en el rango del potencial de producción de sólidos totales de leche de 1,580 kg ha⁻¹ (ajustados a contenido de lactosa) y grasa de leche de 600 kg ha⁻¹ para praderas altamente productivas de la zona de Waikato en Nueva Zelanda⁽²¹⁾, la definición actual de sólidos totales en Nueva Zelanda no incluye a la lactosa⁽²²⁾. El rendimiento de leche anual de 19,290, 13,419 y 12,563 kg ha⁻¹ para los tres años estudiados fue acorde al planteamiento de producción pastoril basados en alfalfa y con suplementación estratégica en el orden de 10,000 L ha⁻¹ año⁻¹, lactancias de 7,000 a 7,500 L y carga animal de 2 vacas ha⁻¹⁽²³⁾.

Mejorar el esquema productivo reportado aquí depende del acople entre la producción de forraje y la demanda de alimento y, el apoyo estratégico del uso de suplementos alimenticios para resolver el déficit de MFO de la pradera. En este estudio, la alfalfa mostró un crecimiento estacional, en tanto las pariciones y la producción de leche se mantuvieron durante el año y no existió un periodo planeado sin producción donde las vacas se secan al mismo tiempo; como ocurre en los esquemas estacionales en pastoreo⁽²⁴⁾. De acuerdo con el modelo de fenología, existieron 173 días con una TAF mayor al promedio, dejando un periodo de 192

días donde la producción forrajera puede mejorarse atendiendo sus limitantes: temperatura, agua y nutrientes. Debido a los efectos del cambio climático, se pronostican inviernos menos fríos y noches más cálidas^(25,26); esperándose entonces, un mejor desempeño de la alfalfa de acuerdo con el modelo de regresión respecto a la temperatura ambiental. De noviembre a febrero se encontró la menor TAF y podría apoyarse una mayor TAF al aplicar estratégicamente nitrógeno como fertilizante⁽²⁷⁾ y, un manejo de riego adecuado para satisfacer la demanda por evaporación. Para apoyar mejor estas decisiones se necesitan datos de la humedad en el suelo y el nitrógeno mineralizable. Sin embargo, también en el periodo noviembre a febrero la concentración de PC en la alfalfa fue alta en relación a la necesidad de nutrimentos y sería necesario balancear la dieta con suplementos o promover el crecimiento de gramíneas en la pradera.

Las fluctuaciones en el rendimiento de leche sugieren que hay oportunidad para aumentarlo, dado que el rendimiento por hectárea no sigue precisamente al rendimiento individual, particularmente durante el periodo noviembre a febrero. Una estrategia sería enfocar la suplementación y mejor manejo de la pradera en ese periodo.

Conclusiones e implicaciones

De acuerdo con los resultados obtenidos queda clara la importancia de conocer el comportamiento productivo de la producción forrajera en términos de kg de MS acumulados por unidad de tiempo y superficie cosechada. En este estudio, la altura mínima de corte para evaluar el pastoreo fue de 10 cm, con el fin de mantener un margen de seguridad contra el sobrepastoreo y disminuir la defoliación de los rebrotes de alfalfa. A menor masa residual de forraje en la pradera también fue menor la masa disponible para el pastoreo y la tasa de acumulación del mes siguiente. A menor masa residual postpastoreo, disminuyó la energía metabolizable proveniente de la pradera, siendo importante compensarla con la adición de alimento suplementario. Un umbral mínimo para el manejo de la masa residual sería entre 400 y 500 kg de MS ha⁻¹ en función del periodo del año, particularmente de noviembre a febrero. En los meses cuando el porcentaje de utilización de la pradera fue mayor y la suplementación fue baja se observó una disminución en la producción por hectárea de sólidos totales de leche; la suplementación tuvo un efecto compensatorio. La temperatura nocturna tuvo un efecto positivo sobre la tasa de acumulación de forraje y lo mismo sucedió en los casos de la temperatura diurna sobre el rendimiento de leche o sólidos totales. Los desfases en los picos de producción de la pradera y del rendimiento de leche fueron importantes en este estudio. El modelo de producción de leche durante todo el año, la estacionalidad en la producción de la alfalfa y la presencia de ineficiencias en el manejo del pastoreo se pueden atender sobre todo considerando que en un estimado de 192 días se encontraron fuera de la temporada fenológica principal y con tasas de acumulación de MS inferiores al 50% del máximo. Se identificó la relevancia de la suplementación alimenticia para el ganado en

pastoreo de alfalfa y su uso estratégico durante periodos del año y en relación a los niveles de rendimiento de sólidos totales de leche. Finalmente, es necesario un estudio más profundo sobre las interacciones entre el microclima en un modelo pastoril de producción de leche usando alfalfa, sobre todo por el déficit en la precipitación pluvial y la justificación del riego ante otras opciones productivas.

Literatura citada:

1. Baltussen W, Achterbosch T, Arets E, de Blaeij A, Erlenborn N, Fobelets V, *et al.* Valuation of livestock eco-agri-food systems: poultry, beef and dairy. 1st ed. The Hague, The Netherlands: Wageningen University & Research; 2017.
2. Kragbæk Damborg V, Stødkilde-Jørgensen L, Jensen SK, Weisbjerg MR. Characterisation of protein and fibre in pulp after biorefining of red clover and perennial ryegrass. In: Höglind, M *et al.*, editors. Proc 26th General Meeting of the European Grassland Federation. Trondheim, Norway. 2016:366-368.
3. Arnott G, Ferris CP, O'Connell NE. A review of the welfare of dairy cows in continuously housed and pasture-based production systems. *Animal* 2017;(11):261-273.
4. Lemus-Ramírez V, García-Muñiz JG, Lugo-León SG, Valencia-Gutiérrez E, Villagrán-Vélez B. Desempeño de una pradera irrigada en clima templado, establecida para el pastoreo con bovinos lecheros. *Vet Méx* 2002;(33):11-26.
5. López-González F, Rosas-Dávila M, Celis-Álvarez MD, Morales-Almaraz E, Domínguez-Vara IA, Arriaga-Jordán CM. Milk production under grazing of different pasture grasses in small -scale dairy systems in the highlands of central Mexico. *J Livest Sci* 2017;(8):92-97.
6. Hodgson J, Da Silva SC. Sustainability of grazing systems: Goals, concepts and methods. In: Lemaire G, *et al* editors. Grassland ecophysiology and grazing ecology. 1st ed. Wallingford, UK: CAB International; 2000:1-13.
7. Chapman DF. Using ecophysiology to improve farm efficiency: Application in temperate dairy grazing systems. *Agriculture* 2016(6):17.
8. Kloster A, Zaniboni M. Manejo y utilización de pasturas de alfalfa en producción de carne. En: Basigalup DH editor. El cultivo de la Alfalfa en Argentina. 1era ed. Buenos Aires, Argentina: INTA;2007:279-301.
9. Moot DJ, Mills AM, Roux MM, Smith MC. Liveweight production of ewes and lambs grazing a dryland lucerne monoculture with or without barley grain supplementation. *J N Z Grassl* 2016;(78):35-40.

10. Popp JD, McCaughey WP, Cohen RDH, McAllister TA, Majak W. Enhancing pasture productivity with alfalfa: A review. *Can J Plant Sci* 2000;(80):513-519.
11. Cangiano CA, Castillo AR, Guerrero JN, Putnam DH. Alfalfa grazing management. In: Summers CG, Putnam DH editors. *Irrigated alfalfa management in Mediterranean and Desert zones*. Oakland, USA: University of California; 2008:1-17.
12. Montemayor-Trejo JA, Aguirre Aguiluz HW, Olague-Ramírez J, Román-López A, Rivera-González M, Preciado-Rangel P, *et al.* Uso del agua en la alfalfa (*Medicago sativa*) con riego por goteo subsuperficial. *Rev Mex Cienc Pecu* 2010;(1):145-156.
13. Cullen BR, Hill JO. A survey of the use of lucerne, butterfly pea and lablab in ley pastures in the mixed-farming systems of northern Australia. *Trop Grasslands* 2006;(40):24-32.
14. Villegas-Aparicio Y, Hernández-Garay A, Pérez-Pérez J, López-Castañeda C, Herrera-Haro JG, Enríquez-Quiroz JF, *et al.* Patrones estacionales de crecimiento de dos variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Téc Pecu Méx* 2004;(42):145-158.
15. Cosgrove GP, White JGH. Lucerne grazing management 1. Effect of grazing duration on herbage accumulation. *New Zeal J Agr Res* 1990;(33):615-620.
16. García E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koeppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. D.F., México: Instituto de Geografía Universidad Nacional Autónoma de México. 1981.
17. Hodgson J. *Grazing management: Science into practice*. London, UK: Longman Group LTD.; 1990.
18. Eklundh L, Jönsson P. TIMESAT for processing time-series data from satellite sensors for land surface monitoring. In: Ban Y editor. *Multitemporal Remote Sensing*. 1st ed. New York, USA: Springer International Publishing; 2016:177-194. 2016.
19. Tilley JMA, Terry RA. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Grass Forage Sci* 1963;(18):104-111.
20. Geenty KG, Rattray PV. The energy requirements of grazing sheep and cattle. In: Nicol AM, editor. *Livestock feeding on pasture*. Occasional Publication No 10. 1st ed. Hamilton, New Zealand: New Zealand Soc Anim Prod; 1987:39-53.
21. Dairy NZ. *New Zealand dairy statistics 2015-2016*. Hamilton, New Zealand: Livestock Improvement Corporation Limited & Dairy NZ Limited; 2016.
22. Dairy NZ. *Milk protein, fat and volume economic values*. Hamilton, New Zealand: New Zealand Animal Evaluation Limited; 2013.

23. Comerón EA, Romero LA. Utilización de la alfalfa por vacas lecheras en pastoreo. En: Basigalup DH editor. El cultivo de la alfalfa en Argentina. Buenos Aires, Argentina: INTA; 2007:303-331.
24. Holmes CW, Brookes IM, Garrick DJ, Mackenzie DDS, Parkinson TJ, Wilson GF. Milk production from pasture principles and practices. Palmerston North, New Zealand: Massey University; 2002.
25. SEMARNAT. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México quinta comunicación ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. México. 2012.
26. Herold N, Alexander L, Green D, Donat M. Greater increases in temperature extremes in low versus high-income countries. *Env Res Letters* 2017;(12):034007.
27. Ledgard SF, Steele KW, Feyter C. Influence of time of application on the fate of ¹⁵N - labelled urea applied to dairy pasture. *N Z J Agr Res* 1998;(31):87-91.