

1. INTRODUCCIÓN

La leche de vaca es uno de los alimentos más completos debido a su alto contenido de nutrientes entre los que se encuentran las proteínas, que contienen gran cantidad de aminoácidos esenciales, considerándose a nivel mundial como un alimento ideal y necesario para la alimentación humana (SAGARPA, 2004).

En México, la producción de leche es una de las ramas de la ganadería de mayor relevancia, ya que juega un papel fundamental dentro de la economía del sector primario e industrial; además, presenta un gran potencial de expansión. En 2005, esta industria tuvo una producción total de 9, 854,805 litros de leche, con un crecimiento anual de 0.7 % (SAGARPA, 2004). Sin embargo, no se cubre la demanda de producción, por lo que cada año tienen que importarse miles de toneladas de leche en polvo para satisfacer dicha demanda (Castro, 2003).

Además, aún cuando la industria lechera ocupa un lugar importante en nuestra economía, la mayor parte de la producción está basada en condiciones estabuladas, donde los costos de producción son muy altos. Ante esta problemática, los sistemas de producción lecheros basados en pastoreo son una alternativa, ya que no solo disminuyen dichos costos, sino que se obtiene un producto mas “limpio”, acorde con la demanda actual de productos de mayor inocuidad, además de la ventaja que representan las praderas en la preservación del ambiente al servir como cobertura vegetal, reducción de la erosión, captura de carbono y embellecimiento del paisaje. Sin embargo, los sistemas de pastoreo enfrentan el problema de bajo consumo de materia seca y, por tanto, de nutrientes, especialmente en vacas altas productoras, lo que hace necesario realizar una suplementación, actividad que podría resultar costosa, por lo que se requiere buscar estrategias de suplementación que no reporten costos elevados. A este respecto, se ha reportado que suplementar con maíz ensilado ofrece grandes beneficios tanto en la producción de leche como en la utilización de la pradera (Hernández-Mendo y Leaver, 2004; 2006) con la desventaja de la necesidad de infraestructura adecuada para conservar el ensilado, por lo que suplementar con maíz fresco picado podría ser una mejor opción. Sin embargo, existe poca o nula investigación reportada que discuta esta forma de utilización, a pesar de que en algunas explotaciones es una práctica común.

Por lo anterior, el presente estudio tiene como objetivo principal evaluar la respuesta productiva de vacas lecheras pastoreando una pradera de alfalfa-pasto ovido y suplementadas con maíz fresco picado

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Producción de leche en México

La producción de leche en México es la segunda actividad más importante dentro del sector pecuario (Valle y Álvarez, 1997), sólo después de la relacionada con la producción de carne de bovino, con un valor de casi el 25% del valor total la producción ganadera (Castro, 2003). El 73% de esta actividad se concentra en 9 estados, siendo los más importantes Jalisco, Durango, Coahuila, Chihuahua, Veracruz, Guanajuato y el estado de México (SAGARPA, 2004).

Desde la década de los 90s, la producción nacional y las importaciones de leche de vaca han aumentado linealmente, con lo que se ha logrado que la disponibilidad per cápita del producto sea mayor, pasando de 263 mL en 1995 a 323 mL en 2003 (SAGARPA, 2004). Además, México es el principal importador de leche descremada en polvo y el cuarto de leche entera en polvo (156 mil toneladas entre ambos tipos de leche), la cual se destina, principalmente, a la industria elaboradora de queso, yogur y otros derivados, así como a la industria rehidratadora, para la elaboración de leche fluida barata, accesible para la población de menores recursos (Castro, 2003).

SAGARPA (2004) clasifica los sistemas de producción de leche en especializado (tecnificado o intensivo), semi-especializado (semi-tecnificado o semi-intensivo), doble propósito (tropical) y familiar, con volúmenes de producción del 51, 21, 18 y 10%, respectivamente; siendo el sistema de producción de doble propósito el de menor competitividad debido al rezago técnico, a pesar de los bajos costos de producción, especialmente de alimentación, basados en pastoreo (Améndola, 2002).

El sistema especializado utiliza grandes volúmenes de insumos, muchos de ellos importados, y sus costos unitarios son altos, por lo que requieren elevados rendimientos de leche por vaca. El tipo de ganado utilizado es, generalmente, de la raza Holstein de alto valor genético. Los animales no pastorean y su alimentación se basa en el uso de concentrados con gran cantidad de grano, así como de forrajes de corte (Améndola, 2002; Castro, 2003). El manejo es altamente mecanizado y requieren de grandes cantidades de agua limpia tanto para consumo de los animales como para la limpieza de las instalaciones; además, debido a que los animales se

encuentran estabulados, hay gran cantidad de estiércol que debe ser eliminado, por lo que los costos de producción se incrementan aun más (Castro, 2003). Este tipo de sistema está distribuido en los estados de Durango, Coahuila, Aguascalientes, Jalisco, estado de México y Veracruz (Améndola, 2002). En promedio, produce de 4 a 6 mil litros de leche vaca⁻¹ año⁻¹ en una lactancia de 10 meses y, con tan solo 9% del hato total nacional (Valle y Álvarez, 1997), la aportación total de leche fresca es de 50.6% (SAGARPA, 2004).

El sistema semi-especializado posee menor productividad que el anterior, generalmente durante la época de invierno, siendo la alimentación de los animales a base de pastoreo de los residuos de las cosechas, utilización de sub-productos locales, concentrados a base de granos y forrajes. Mientras que en el sistema especializado la proporción de forraje:concentrado es 45:55, en el semi-especializado es de 67:33 (Améndola, 2002). La producción va de 1.6 a 2.8 mil litros de leche vaca⁻¹ año⁻¹ (Valle y Álvarez, 1997) y su aportación es de 21.3% del total nacional (SAGARPA, 2004).

El sistema de producción de leche familiar está conformado principalmente por campesinos, que aprovechan los recursos familiares, utilizando cultivos forrajeros y residuos de cosecha para la alimentación de sus animales, haciendo uso mínimo de alimentos concentrados y poca inversión en infraestructura. Los animales están estabulados o semiestabulados y, aunque utilizan animales de razas especializadas y los precios de producción son bajos, el rendimiento productivo es inferior que en un sistema especializado. Este sistema se encuentra distribuido en varios estados, principalmente en Jalisco, Michoacán, Guanajuato, Chihuahua, Puebla, estado de México e Hidalgo (Castro, 2003). Su producción es de 300 a 700 litros de leche vaca⁻¹ año⁻¹ (Valle y Álvarez, 1997), con un aporte del 9.8% a la producción nacional (SAGARPA, 2004).

En el sistema de doble propósito de manera simultánea se produce leche y se amamantan becerros, mismos que sirven para producción de carne; es un sistema practicado principalmente en zonas tropicales del país (Veracruz y Tabasco) donde la alimentación es en pastoreo de praderas nativas con mínima suplementación. La mayor parte del ganado es una cruce de Cebú con Pardo Suizo (Améndola, 2002),

que produce 580 litros de leche vaca⁻¹ año⁻¹ en una lactancia de 7 meses en promedio (Valle y Álvarez, 1997). Su contribución es del 18.3% del volumen total (SAGARPA, 2004), con el 65% del hato productor de leche (Valle y Álvarez, 1997).

2.2. Producción de leche en pastoreo y estabulación

Una de las limitaciones que tienen los sistemas de producción de leche, especialmente el estabulado, es el uso de grandes cantidades de granos y pastas de oleaginosas que el país no produce en cantidad suficiente y que tienen que importarse. Su precio varía de acuerdo con las reservas mundiales, el cual puede modificarse por aspectos climatológicos, como sucedió en 2002, con un aumento en el precio debido a una menor cosecha de maíz en los Estados Unidos (Castro, 2003). Por otro lado, los sistemas de producción de leche en pastoreo se caracterizan por una producción a menor costo, como el caso de Nueva Zelanda, quienes basan la alimentación de sus animales en el forraje propio de las praderas y ensilado de pasto, utilizando muy poco grano, especialmente si el precio de la leche es bajo, con lactancias de 280 días (McCall y Clark, 1999).

Aún cuando se reporta mayor producción de leche de vacas en confinamiento, alimentadas con una dieta con concentrados a base de granos y ensilado que en aquellas en pastoreo con nivel bajo de suplementación (38.1 vs. 28.5, respectivamente) (Bargo *et al.* 2002b), los costos de alimentación por kilogramo de leche producida son considerablemente más bajos cuando se minimiza la utilización de concentrados (Albarrán, 2002); aunado al hecho de que cuando el forraje es “cosechado” directamente por los animales, se eliminan los costos de conservación y alimentación (McCall y Clark, 1999), siendo este uno de los principales factores que están obligando a algunos ganaderos a adoptar el sistema de producción de leche en pastoreo en muchos países del mundo (Gloy *et al.*, 2002). En México, la producción de leche en pastoreo va de 12.6 a 18.1 kg (Arriaga *et al.*, 2000) y hasta 23 kg de leche vaca⁻¹ día⁻¹, dependiendo del tipo de pradera y de suplementación, así como de los días en lactancia de los animales; mientras que en estabulación es de 12.4 hasta más de 25 kg de leche vaca⁻¹ día⁻¹ (Améndola, 2002).

Otra ventaja importante del pastoreo se relaciona con el estado de salud de la vaca. Se han reportado menos casos de mastitis, aunque con condición corporal más baja cuando las vacas están en pastoreo (Washburn *et al.*, 2002), y menos problemas de daño en pezuñas (Hernández-Mendo *et al.*, 2007). Washburn *et al.* (2002) mencionan que el porcentaje de vacas con mastitis clínica fue mayor en vacas en estabulación que en aquellas en pastoreo (42.8% vs. 24.2%, respectivamente), y que el porcentaje de animales eliminados durante un proceso de investigación a causa de mastitis fue mayor en los estabulados que en los de pastoreo (6.6 vs. 1.7%, respectivamente). Esto último se debió básicamente a que las ubres de las vacas que pastoreaban estaban menos expuestas a los patógenos ambientales, principalmente a aquellos presentes en el estiércol. Sin embargo, la condición corporal de vacas en pastoreo fue menor que la de las vacas en estabulación (2.5 vs. 2.9, respectivamente), debido a la diferencia en el balance de energía, además de la mayor actividad física que tuvieron las primeras, tanto para trasladarse a la sala de ordeña como para alimentarse.

Por otro lado, la composición de la leche, como son los ácidos grasos, cambia con el tipo de alimentación de la vaca (Stockdale *et al.*, 2003; White *et al.*, 2001). En vacas en pastoreo, cuando se aumentó la cantidad de concentrado de 3 a 11 kg vaca⁻¹ d⁻¹, disminuyó considerablemente el porcentaje de grasa en la leche, de 4.2 a 3.2%, respectivamente (Stockdale *et al.*, 2003), aunque otros autores mencionan lo contrario, como White *et al.* (2001), quienes reportan un porcentaje ligeramente mayor de grasa en vacas en estabulación (con una dieta a base de ensilado de maíz y alfalfa, semilla de algodón y maíz molido) que en pastoreo (3.7 vs. 3.4%, respectivamente); sin embargo, el porcentaje de ácido linoleico conjugado y ácido linolénico, en relación al total de ácidos grasos, fue significativamente más alto en vacas en pastoreo que estabuladas (0.65 vs. 0.36% y 0.73 vs. 0.37%, respectivamente). La importancia de tales ácidos grasos se debe a que se les han atribuido diversos efectos benéficos en la salud del ser humano, como anticancerígeno, en la regulación de lípidos plasmáticos, en el desarrollo neuronal y la función visual, entre otros (Benatti *et al.*, 2004; Parodi, 1997).

Aunado a los beneficios mencionados anteriormente, los sistemas de pastoreo contribuyen a conservar la fertilidad del suelo, al reintegrarse directamente en él los nutrientes contenidos en la orina y las excretas de los animales, por lo que los costos relacionados con la limpieza y manejo de desechos son menores comparados con aquellos observados en los sistemas estabulados (Arriaga *et al.*, 2000; White *et al.*, 2001), minimizando el uso de fertilizantes químicos, y aportando una cubierta vegetal que reduce la erosión del suelo (Arriaga *et al.*, 2000).

2.3. Las praderas en la producción de leche

La producción de leche en pastoreo se basa, en muchos casos, en praderas mixtas, generalmente de gramíneas y leguminosas, las cuales presentan una proporción variable de hojas, tallos y material muerto, y una digestibilidad y concentración de nutrientes que varía con la edad de la planta y es distinta entre especies, existiendo también cambios entre estaciones (Hodgson y Brookes, 1999). Lemus *et al.* (2002) mencionan que la producción de materia seca en una pradera mixta es significativamente menor en invierno (1032 kg materia seca hectárea⁻¹) que en verano y otoño (1675 y 1724 kg materia seca hectárea⁻¹, respectivamente). En general, en estas dos últimas estaciones, el forraje consiste principalmente en hojas verdes, con una menor concentración de fibra y mayor digestibilidad de la materia seca (Hodgson y Brookes, 1999).

Aún cuando son frecuentes las praderas mixtas, se menciona que el número de especies presentes en ella tiene un mínimo efecto sobre la productividad del ganado (Tracy y Faulkner, 2006). Al respecto, Soder *et al.* (2006) observaron, que no existieron diferencias significativas en consumo de materia seca o producción de leche, en vacas al inicio de la lactancia que pastoreaban praderas mixtas con dos (*Dactylis glomerata* L. y *Trifolium repens* L.), tres (*Dactylis glomerata* L., *Trifolium repens* L. y *Cichorium intybus* L.), seis (*Dactylis glomerata* L., *Festuca arundinacea* Schreb., *Lolium perenne* L., *Trifolium pratense* L., *Lotus corniculatus* L., y *Cichorium intybus* L.), o nueve (*Dactylis glomerata* L., *Festuca arundinacea* Schreb., *Lolium perenne* L., *Trifolium pratense* L., *Lotus corniculatus* L., *Cichorium intybus* L., *Trifolium repens* L., *Medicago sativa* L., y *Poa pratensis* L.) especies, con promedio de 13.5 kg

de materia seca y 34.5 kg de leche vaca⁻¹ día⁻¹, respectivamente. Sin embargo, se pueden tener otros beneficios, entre ellos una menor invasión de malezas cuando hay mayor diversidad de especies presentes en la pradera (Sanderson *et al.*, 2005); siendo otros los factores, como el manejo del pastoreo y las condiciones climáticas, los que influyen más en la productividad de un sistema de pastoreo (Tracy y Faulkner, 2006).

Sin embargo, sí hay diferencias entre praderas de gramíneas únicamente, y asociaciones de gramíneas con leguminosas. Wu *et al.* (2001a) reportan que la producción de leche aumenta en más de 1 kg vaca⁻¹ día⁻¹, cuando los animales consumieron forraje de una pradera mixta con 26% de trébol (*Trifolium repens* L. y *Trifolium pratense* L.) y 63% de pastos (*Poa pratensis* L., *Elytrigia repens* L. y *Bromus inermis*), como especies predominantes, que cuando lo hicieron de una pradera de gramíneas. Esto se debió básicamente al mayor valor nutritivo que representa una pradera mixta y menor contenido de estructuras de las paredes celulares de la planta (fibra detergente neutra).

2.4. Consumo de materia seca por animales en pastoreo

De acuerdo con Hodgson y Brookes (1999), el consumo de forraje en los animales en pastoreo está determinada por distintos factores: 1) requerimientos nutricionales, que varían en función del peso vivo del animal, de la etapa de lactancia y gestación, entre otros, 2) la saciedad que está determinada por la distensión del tubo digestivo que, a su vez, está en función de la cantidad, digestibilidad y tasa de digestión y de pasaje del alimento y, 3) el comportamiento en pastoreo, el cual es afectado por una combinación de factores propios de la pradera y del animal. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el consumo es resultado de una interacción entre los factores antes mencionados.

2.4.1. Factores que afectan el consumo de materia seca

El consumo de materia seca es fundamental para el desempeño productivo de la vaca, ya que establece la cantidad de nutrientes disponibles en un animal (NRC, 2001). En un sistema de pastoreo la estimación consumo es más difícil que en uno

estabulado, ya que existen muchos factores que influyen en él, como la disponibilidad y digestibilidad del forraje, la suplementación, el llenado ruminal, el tipo de animal, y los factores ambientales, principalmente (Vazquez y Smith, 2000).

2.4.1.1. Factores dependientes de los animales

En general, el consumo de alimento está en función de la producción del animal, por lo que aquellos en etapa de lactancia y de crecimiento consumirán más alimento que el resto. El nivel de producción dentro de un grupo de animales con condiciones similares influye directamente en el nivel de consumo, de ahí que una vaca que produce 25 litros de leche al día consumirá más forraje que una que solo produce 15 litros (Hodgson, 1990). Hernández-Mendo y Leaver (2006) encontraron diferencias significativas en el consumo total de materia seca en vacas en pastoreo con diferentes niveles de producción de leche (consumo de 18.3 y 14.9 kg de materia seca vaca⁻¹ d⁻¹ con 34.5 y 22 kg de leche vaca⁻¹ d⁻¹, respectivamente), lo cual indica que en vacas con mayor producción de leche, el consumo de materia seca se incrementa.

En el ganado lechero, las variaciones en el consumo de alimento varían con el estado fisiológico de la vaca. El consumo más bajo se presenta poco después del parto; sin embargo, aún cuando éste aumenta con el inicio de la lactancia, el consumo más alto no siempre coincide con el pico de producción de leche y, por lo común, primero se alcanza la máxima producción y luego el máximo consumo. Por otro lado, también se ha observado que las vacas primíparas sólo alcanzan el 80% del consumo de alimento que las multíparas (Ingvarsen y Andersen, 2000). Al respecto, Kennedy *et al.* (2003), reportan que el número de parto de una vaca afecta el consumo de materia seca. Ellos encontraron consumos de 14.9, 17.7, y 20.9 kg de materia seca vaca⁻¹ d⁻¹ en vacas con 1, 2 y 3 partos, respectivamente; sin embargo, dicho consumo es similar entre ambos tipos de vacas en relación al peso vivo, ya que, en términos generales, las vacas primíparas son más ligeras que las multíparas (Johnson *et al.*, 2003).

Además, existe una gran cantidad de factores metabólicos involucrados en la regulación del consumo entre los que se encuentran nutrientes, metabolitos, hormonas reproductivas (estrógenos, progesterona), hormonas del estrés (factor liberador de corticotropina), leptina, insulina, péptidos intestinales (colecistoquinina), citocinas (factor de necrosis tumoral, interleucinas, interferones) y neuropéptidos (neuropéptido Y, galanina) (Ingvarsen y Andersen, 2000). También, el mérito genético de un animal influye en el consumo de materia seca, ya que vacas con alto mérito genético consumen más materia seca que aquellas con uno medio (Kennedy *et al.*, 2003). En una revisión de literatura realizado por Vazquez y Smith (2000), concluyeron que el consumo total de materia seca en vacas lecheras es del 2.8% de su peso vivo; sin embargo, ello está en función de los factores ya mencionados.

2.4.1.2. Factores dependientes de las praderas

Una de las limitantes para el desempeño productivo de los animales en pastoreo es el logro de un consumo adecuado de forraje, y los factores más importantes que afectan el nivel de consumo son la disponibilidad y calidad del forraje (Leaver, 1987). Bargo *et al.* (2002a) observaron que el consumo de materia seca de vacas en lactancia pastoreando una pradera mixta de *Bromus inermis* L., *Dactylis glomerata* L. y *Poa pratensis* L., fue mayor cuando la asiganción de forraje fue alta (40 kg materia seca vaca⁻¹ d⁻¹) que cuando fue baja (25 kg materia seca vaca⁻¹ d⁻¹), con consumos de 20.5 vs. 17.5 kg d⁻¹, respectivamente. Al disminuir la disponibilidad de forraje, el tamaño del bocado también se reduce y, aún cuando el tiempo de pastoreo y el número de bocados aumentan, el consumo de forraje es menor debido a que éste es resultado del tiempo de pastoreo, el número de bocados y el tamaño de éstos (Leaver, 1987).

El sistema de pastoreo también puede influir en el consumo de materia seca en las vacas. Pulido y Leaver (2003) reportan que el consumo de materia seca de forraje de pradera fue mayor en un sistema de pastoreo continuo que en uno rotacional (14.2 vs. 13.1 kg de materia seca vaca⁻¹ d⁻¹, respectivamente), a pesar de que la masa de forraje de este último era mayor (2080 vs.3570 kg de materia seca

ha⁻¹, respectivamente), sin embargo, mencionan que dicha disminución pudo deberse a un menor tiempo de pastoreo y al manejo de los animales al cambiar de potrero.

Por otro lado, Ruiz *et al.* (1995) demostraron que la digestibilidad de la fibra de un forraje influyó sobre el consumo de materia seca en vacas en lactancia. Observaron que el consumo de materia seca disminuyó linealmente cuando el porcentaje de fibra detergente neutro se incrementaba de 31 a 39%, sin importar el tipo de forraje. Los mismos autores demostraron que la digestibilidad de la fibra detergente neutra y ácida fue significativamente menor cuando se trataba de un ensilado de sorgo (42.6 y 38.3%, respectivamente) que de uno de maíz (56.9 y 55.2%, respectivamente), por lo que estas diferencias en la calidad de un ensilado deben ser consideradas, ya que influyen en la producción de leche.

Por su parte Wu *et al.* (2001a) reportaron que el tipo de forraje de una pradera también influye sobre el consumo y la producción de leche. El consumo de forraje de vacas en lactancia en una pradera mixta (gramíneas y leguminosas) fue ligeramente mayor (10.9 kg vaca⁻¹ d⁻¹) que el consumo de una pradera con únicamente gramíneas (10.2 kg vaca⁻¹ d⁻¹), reflejándose en la producción (20.4 vs. 19.1 kg leche vaca⁻¹ d⁻¹, respectivamente); además de que el contenido de fibra detergente neutra en la pradera mixta fue menor (47.5% de la materia seca) que en aquella de pasto (54.1% de la materia seca). Sin embargo, tal como se citó en la sección 2.3, Soder *et al.* (2006) no encontraron diferencias significativas en el consumo de materia seca o en producción de leche en vacas en praderas mixtas con 2, 3, 6, o 9 especies.

2.4.1.3. Factores dependientes del ambiente

De acuerdo con el NRC (2001), el consumo de materia seca de vacas en lactancia se afecta cuando la temperatura ambiental está fuera de la zona termo-neutral (entre 5 y 20 °C). West *et al.* (2003) reportan que existió una disminución lineal en el consumo de materia seca cuando la temperatura aumentó de 25 °C a 32 °C, con reducción de 20 a 15 kg de materia seca vaca⁻¹ día⁻¹. Sin embargo, este impacto en el consumo y la producción de leche puede reducirse con sistemas de ventilación y enfriamiento en las granjas (Arieli *et al.*, 2004). Además, otros factores

climáticos influyen en el consumo de un animal, tales como la humedad del ambiente, velocidad del viento, radiación y precipitación (Ames y Ray, 1983).

Por otro lado, se reporta que el cambio de un sistema de producción de leche estabulado a uno en pastoreo afecta negativamente el consumo de alimento y, por consiguiente, la producción de leche se disminuye en cantidad y en tiempo, haciendo que las lactancias sean más cortas (Wu *et al.*, 2001a).

2.5. Adición de suplementos: efecto en carga animal y tasa de sustitución

Cuando a un animal en pastoreo se le ofrece algún suplemento, el consumo de materia seca de forraje de la pradera normalmente disminuye, esto es, hay efecto sustitutivo. La tasa de sustitución (TS) es igual a 1 cuando el consumo total de materia seca del tratamiento con suplemento es el mismo que aquel sin suplemento. Cuando la tasa de sustitución es menor a 1, hay aumento en el consumo de materia seca de las vacas que recibieron un suplemento, lo cual puede influir en la producción de leche por vaca en respuesta al suplemento ofrecido (Bargo *et al.*, 2003a), aunado a que se mejora la utilización ruminal de nitrógeno y mayor síntesis de proteína microbiana (Bargo *et al.*, 2003b). Sin embargo, factores como la disponibilidad del forraje, cantidad y características físicas y químicas del suplemento, el estado de lactancia, el mérito genético del animal, entre otros factores animales, de la pradera y del mismo suplemento intervienen en la tasa de sustitución (Bargo *et al.*, 2003a).

Otro aspecto importante relacionado con el efecto de la suplementación es la carga animal (Tracy y Faulkner, 2006), la cual depende de la masa de forraje, su disponibilidad y características propias del animal (Sollenberger *et al.*, 2005). Por un lado, al disminuir el número de animales por hectárea, aumenta la disponibilidad de materia seca por animal, lo cual se refleja en un mayor número de kg de leche por vaca por día, disminuyendo, como consecuencia, los kg de leche por hectárea. Contrariamente, al aumentar el número de animales por hectárea, hay menos cantidad de materia seca disponible, menos kg de leche por vaca pero aumentan los kg de leche por hectárea (Améndola, 2002).

De ahí que si bien el objetivo principal de dar un suplemento a vacas en pastoreo es incrementar el consumo de materia seca y de energía, y con ello, aumentar la producción de leche por vaca, otros objetivos incluyen, incrementar la carga animal y la producción de leche por hectárea, mejorando el uso de la pradera con una carga animal más alta (Bargo *et al.* 2003a). Al respecto, Fike *et al.* (2003) demostraron que la producción de leche por hectárea aumenta de 82 a 119 kg cuando la carga animal se incrementa de 7.5 a 10 vacas, en una pradera de *Cynodon dactylon*, si son suplementadas con concentrado (0.33 kg/kg de leche al día), produciendo 61% más leche por hectárea. Esto sugiere que la intensificación en el sistema de producción se refleja en incrementos en la producción de leche por unidad de superficie (Leaver, 1981).

Sin embargo, a pesar del beneficio que tiene ofrecer un suplemento a vacas en pastoreo en la carga animal, en México, tales suplementos, generalmente a base de granos de cereales y de pastas de oleaginosas, son caros, convirtiéndose en el principal componente de los costos de alimentación en sistemas de producción de leche en pequeña escala (Arriaga *et al.*, 2000). De ahí la importancia de buscar y evaluar alternativas económicamente más viables, y que permitan, además, incrementar la carga animal y, en consecuencia, la producción del sistema.

2.6. Uso del maíz como suplemento para vacas en pastoreo

2.6.1. Generalidades

El maíz (*Zea mays*) es un cereal originario de América pero distribuido ampliamente en todo el mundo. Pertenece a la familia *Poaceae*, dentro de la ruta fotosintética de las plantas C_4 , lo cual indica que usa de manera eficiente el agua y tiene una tasa de fotosíntesis alta. Su hibridación es fácil de llevar a cabo y, por lo tanto, ha tenido un gran mejoramiento genético; de hecho, casi todos los cultivos son híbridos, resultados de cruzamientos dobles (White *et al.*, 1999). Sus usos son muy variados (alimento para humanos, forraje y grano para consumo animal y para la industria) debido principalmente a su gran distribución a nivel mundial, bajo precio comparado con otros cereales, gran diversidad de tipos de grano (maíz dentados,

maíz dulce, maíz ceroso), y amplia aplicación dentro de la industria (preparación de bebidas alcohólicas y licores) (Dowswell *et al.*, 1996).

2.6.2. El maíz como alimento animal

El maíz, como planta entera, es un forraje usado para el ganado bovino, búfalos y otros rumiantes. Cuando se compara con otros cultivos, el maíz los supera en rendimiento de materia seca por hectárea (Dowswell *et al.*, 1996). Como forraje en verde, tiene alta productividad, su nivel energético es elevado, pero su contenido en proteína y minerales es bajo (Núñez *et al.*, 2003); independientemente de la variedad, tiene un contenido alto de vitamina A, ya que ésta se concentra principalmente en las hojas y los tallos más que en los granos (Flores, 1975). Usado como este último, tiene un contenido de energía metabolizable alto, comparado con otros granos como la cebada; su principal desventaja radica en que el contenido de lisina es muy bajo (0.18-0.33% del maíz vs. 0.35-0.56% de la cebada) (White *et al.*, 1999). El rastrojo de maíz es aún más pobre en proteína y con un contenido de fósforo muy bajo, ya que este mineral se acumula principalmente en el grano (Flores, 1975).

2.6.2.1. Grano

A diferencia de las formas que se detallan más adelante y que son considerados como alimentos fibrosos, el grano de maíz se usa como una fuente de almidón y es de los más utilizados como suplemento para vacas productoras de leche en pastoreo (Bargo *et al.*, 2003a). Delahoy *et al.* (2003) encontraron que en vacas en lactancia pastoreando *Dactylis glomerata* y suplementadas a base de maíz molido el porcentaje de proteína en leche fue mayor, mientras que nitrógeno ureico en la leche fue menor que en vacas suplementadas con pulpa de remolacha y cascarilla de soya (3.23 y 14.9% vs. 3.19 y 15.4%, respectivamente); Además, la cantidad de ácidos grasos no esterificados en plasma fue menor en las vacas suplementadas con maíz molido que en las que recibieron el otro suplemento (141 vs. 166 meq/L, respectivamente); lo cual podría ser un indicativo de una menor movilización de grasa corporal.

Los suplementos a base de grano de maíz influyen en la producción y composición de la leche (Reis y Combs, 2000; Wu *et al.*, 2001b); por ejemplo, Reis y Combs (2000), reportaron que la producción de leche de vacas en pastoreo aumento de 21.8 a 30.4 kg de leche vaca día, pero el porcentaje de grasa disminuyó de 3.89 a 3.08% con 0 y 10 kg de suplemento de grano de maíz, respectivamente, en vacas en pastoreo. Por su parte, Wu *et al.* (2001b) mencionan aumento de la producción de leche vacas en pastoreo suplementadas con grano de maíz seco en trozos o molido con alta humedad (20.5 vs. 22.9 kg de leche vaca⁻¹ día⁻¹, respectivamente), debido a la mayor cantidad de energía metabolizable proporcionada por el maíz molido con alta humedad cuyo almidón es 20% más digestible a nivel ruminal, y tiene 16% más valor energético que el maíz seco en trozos, lo que sugiere que el procesamiento del grano influye sobre el comportamiento productivo de los animales. Sin embargo, Soriano *et al.* (2000) no encontraron diferencias significativas en la cantidad y calidad de leche producida usando grano de maíz molido, fino o grueso, como suplemento.

Por otro lado, la proporción de ácidos cambia conforme aumenta la cantidad de concentrado a base de cereales, entre ellos el ácido linoleico conjugado, el cual disminuye de 1.5 a 1.0 g por kg de leche con 0 y 7 kg de concentrado, respectivamente (Stockdale *et al.*, 2003). Este ácido graso se encuentra presente en los productos provenientes de rumiantes, debido a biohidrogenación incompleta dentro del rumen del ácido linoleico, llevado a cabo por bacterias de la especie *Butyrivibrio fibrisolvens* (Kim *et al.*, 2000), y al cual se le han atribuido propiedades anticancerígenas, antiaterogénicas, en el mejoramiento del sistema inmunológico y en la composición corporal (Pariza *et al.*, 2000).

2.6.2.2. Rastrojo

Existen pocos estudios reportados en los que se utilice un suplemento altamente fibroso, como el rastrojo de maíz, en vacas en pastoreo. Graf *et al.* (2005) no encontraron diferencias estadísticas significativas en el consumo total de materia seca, y en la cantidad y calidad de la leche en vacas en pastoreo sin suplemento vs. vacas en pastoreo suplementadas con rastrojo o con ensilado de maíz, con promedios de 14.3 kg en consumo de materia seca vaca⁻¹ día⁻¹, 18.3 kg de leche

vaca⁻¹ día⁻¹, 3.72% de grasa en leche y 3.08% proteína en leche, aunque sí se observan diferencias numéricas en el nitrógeno ureico de la leche de las vacas sin suplemento y con rastrojo vs. aquellas con ensilado de maíz. Dicho incremento es reflejo de las diferencias en el contenido de nitrógeno, el cual fue menor cuando se suplementó con ensilado de maíz.

2.6.2.3. *Ensilado*

El ensilado se elabora por fermentación de forraje con alto contenido de humedad, almacenado en condiciones anaeróbicas. Elaborado adecuadamente, puede almacenarse por tiempo indefinido, y es bien aceptado por los animales; aunque tiene la desventaja de requerir infraestructura para almacenarse (silo) y posee menos nutrientes si se compara con el material inicial (Church *et al.*, 2003).

Se ha reportado que la oferta de ensilado de maíz incrementa la producción de leche sólo cuando la disponibilidad de forraje es baja (Phillips, 1988). Hernández-Mendo y Leaver (2004; 2006) reportaron que la oferta de ensilado de maíz a vacas en pastoreo tuvo efectos benéficos solo cuando los animales pastorearon a menor altura de forraje, cuando la disponibilidad de forraje fue baja y no recibieron ningún otro suplemento.

Por otro lado, Holden *et al.* (1995) no encontraron efecto sobre la producción de leche o su composición, al ofrecer 2.3 kg de materia seca de ensilado de maíz a vacas en pastoreo. Tampoco Graf *et al.* (2005) encontraron diferencias estadísticas significativas en el consumo total de materia seca, ni en la cantidad y calidad de la leche de vacas en pastoreo sin suplemento vs. vacas en pastoreo con suplemento de heno o ensilado de maíz; sin embargo, observaron diferencias numéricas entre el consumo de materia seca, 13.5 vs. 15.7 kg de materia seca vaca⁻¹ día⁻¹, en vacas sin y con suplemento de heno vs. aquellas con uno de ensilado de maíz, respectivamente, así como también diferencias numéricas en la producción de leche, de 17.6 vs. 18.9 kg de leche vaca⁻¹ día⁻¹, entre vacas sin y con ensilado de maíz, respectivamente. Esto indica que la oferta de un suplemento puede incrementar el consumo de materia seca y la producción de leche en vacas en pastoreo.

Contrariamente, Améndola (2002) reporta que la producción de leche en vacas en pastoreo sin ensilado de maíz fue de $19.5 \text{ kg vaca}^{-1} \text{ d}^{-1}$, mientras que la de aquellas con 4.8 kg de materia seca de ensilado de maíz fue de $17.6 \text{ kg vaca}^{-1} \text{ d}^{-1}$; sin embargo, el autor discute que ello pudo deberse a la calidad superior y abundancia del forraje de la pradera.

2.6.2.4. Fresco

Aún cuando existe información sobre la calidad nutricional del maíz forrajero (Crasta *et al.*, 1997; Nuñez *et al.*, 2003), son prácticamente nulos los trabajos reportados en los cuales se haya evaluado el maíz fresco como alimento o suplemento en rumiantes. El forraje picado en verde es aquel que se corta y pica en el campo y se les ofrece a los animales en comederos. Una ventaja importante que posee este tipo de forraje es que conserva más nutrientes que otros métodos, como el henificado o ensilado (Church *et al.*, 2003). Al respecto, Darby y Lauer (2002), demostraron que el proceso de ensilado del maíz afecta la composición química del forraje, y su calidad es menor que la del forraje fresco; mencionan que el ensilado de maíz fue 15% menor en fibra detergente neutra, 48% más bajo en digestibilidad de la pared celular, 8% menor en digestibilidad verdadera *in vitro* y 7% menor en proteína cruda, pero 15% más alto en fibra detergente ácida que el forraje sin fermentar, diferencias atribuidas a la pérdida de materia seca que se presenta durante la fermentación del ensilado. Sin embargo, a pesar de que el maíz fresco ofrece mejor calidad de la materia seca, como alimento único no cubre los requerimientos nutricionales del animal, por lo que es recomendable ofrecerlo junto con algún forraje de mejor calidad (White *et al.*, 1999). En Estados Unidos, es común que el maíz sea pastoreado en la época seca del año, cuando el forraje de la pradera se reduce (Karsten *et al.*, 2003), aunque no hay reportes que indiquen su efecto en la producción animal.

Se considera al maíz como forraje de alta calidad si tiene más de 1.5 mcal/ kg de MS de ENI y menos de 50% de fibra detergente neutra. La energía neta de lactancia y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca están asociadas negativamente con la cantidad de fibra detergente neutra, fibra detergente ácida y lignina detergente

ácida, así como con los días de cosecha de la planta de maíz (Nuñez *et al.*, 2003), debido a que su digestibilidad disminuye conforme la concentración de lignina y de paredes celulares aumenta, durante la maduración de la planta (Jung y Casler, 2006).

3. JUSTIFICACIÓN

La industria lechera en México es una de las más importantes dentro del ramo de la ganadería; sin embargo, no satisface la demanda de producción nacional, por lo que se importan grandes volúmenes de leche en polvo; lo cual en parte se debe a que la producción de leche se basa en un alto grado en condiciones en las que los costos de producción por litro de leche son muy elevados. Una opción viable para disminuir dichos costos es adoptar un sistema de producción de leche en pastoreo, con mínima utilización de insumos, usando suplementos más accesibles que permitan incrementar la producción de leche por animal y por unidad de superficie. El maíz fresco picado es una alternativa, que pesar de ser una práctica común en varias explotaciones lecheras, no existen reportes sobre sus efectos en la producción de leche.

4. OBJETIVOS

4.1. General

Evaluar la respuesta productiva de vacas lecheras pastoreando una pradera de alfalfa-pasto ovillo, con un suplemento de maíz fresco picado.

4.2. Particulares

Evaluar la producción y composición de la leche cuando las vacas en pastoreo tienen acceso a maíz fresco como suplemento.

Estimar el consumo de forraje de la pradera y el consumo total de materia seca, así como el efecto sustitutivo que el maíz fresco picado como suplemento ocasiona.

Determinar la producción de leche por hectárea a partir de los cambios en carga animal por efecto de recibir el maíz fresco picado como suplemento.

Analizar el impacto económico que representa el suplementar con maíz fresco picado a vacas lactantes en pastoreo.

5. HIPÓTESIS

Suplementar con maíz fresco picado incrementa la eficiencia en la producción de leche de vacas lactantes en pastoreo, así mismo incrementa la producción por unidad de superficie al aumentar la carga animal dado el efecto sustitutivo en el consumo de materia seca del forraje de la pradera.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Localización y fecha

El estudio se llevó a cabo del 7 de agosto al 25 de octubre de 2006 en el Módulo de Producción de Leche en Pastoreo de la Universidad Autónoma Chapingo, en el estado de México, localizado a 19°29' latitud norte y 98°54' longitud oeste, a 2240 msnm. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, precipitación promedio de 620 mm y temperatura promedio anual de 18°C (García, 1988).

6.2. Animales

Se utilizaron 24 vacas Holstein multíparas con promedios iniciales de días en leche, peso vivo, producción de leche, edad y número de partos de 508.2 ± 259.4 d, 651.2 ± 52.56 kg, 12.91 ± 4.14 kg, 7.6 ± 1.74 años y 5.3 ± 1.65 partos, respectivamente.

6.3. Tratamientos

Los 24 animales fueron distribuidos homogéneamente en 6 grupos de 4 vacas cada uno, de acuerdo a la producción de leche. Posteriormente, los 6 grupos fueron asignados aleatoriamente a cada uno de los tres tratamientos en estudio, que fueron 0, 4 y 8 kg de materia seca de maíz fresco picado $\text{animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$. Durante el período 1, los grupos de vacas conservaron el tratamiento asignado. En el período 2, nuevamente se asignaron aleatoriamente los tratamientos a cada uno de los grupos, con la restricción de que no fuera el mismo que en el período previo. En el período 3, los grupos se sometieron al tratamiento que no recibieron en los dos periodos anteriores (Figura 1a). Así, cada grupo de vacas recibió los tres tratamientos en sucesión.

Figura 1a. Distribución de los tratamientos durante el periodo experimental. Los números indican tratamiento: 0, 4 y 8 kg de materia seca de maíz fresco picado $\text{animal}^{-1}\text{día}^{-1}$.

Período 1

Bloque norte	8	0	4	0	8	4	0	8	4
Bloque sur	0	8	4	0	8	4	4	0	8
	Potrero 1			Potrero 2			Potrero 3		

Período 2

Bloque norte	8	4	0	0	4	8
Bloque sur	0	4	8	8	0	4
	Potrero 1			Potrero 2		

Período 3

Bloque norte	4	8	0	8	4	0	8	4	0
Bloque sur	8	4	0	8	4	0	0	8	4
	Potrero 1			Potrero 2			Potrero 3		

6.4. Alimentación

Todas las vacas tuvieron un período de adaptación de 15 días antes de iniciar el período experimental, durante el cual recibieron el mismo tipo y la misma cantidad de concentrado y de maíz fresco picado, además de tener el mismo manejo. El pastoreo fue rotacional en una pradera mixta de alfalfa (*Medicago sativa*) y pasto ovilla (*Dactylis glomerata L.*), como especies predominantes, donde los animales tuvieron agua a libre acceso. Las vacas que no recibieron maíz fresco picado, regresaron al potrero inmediatamente después de la ordeña, la cual se realizó dos veces al día, de las 6:00 a 8:30, y de las 14:00 a 16:00 horas.

6.4.1. Pradera

Se utilizaron 6 hectáreas de pradera mixta, divididas en 12 potreros, los cuales a su vez fueron subdivididas en 6 subpotreros cada uno, 3 orientados al norte y 3 al sur (Figura 1a), que fueron pastoreados por cada uno de los 6 grupos de vacas. Además, usando un cerco eléctrico móvil, a las vacas se les ofreció forraje fresco, por lo menos dos veces al día; de acuerdo con una estimación visual de la cantidad de forraje residual, empleando como criterio de manejo una meta de cantidades de forraje residual similares en todos los lotes. Todas las vacas pastorearon el mismo potrero a un mismo tiempo y, cuando el forraje se agotaba en por lo menos uno de los subpotreros, los 6 grupos de vacas se movían en un potrero nuevo.

6.4.2. Maíz

El maíz utilizado fue la variedad San José, producido en la Universidad Autónoma Chapingo, y sembrado en el mismo módulo de producción de leche. Las fechas de siembra fueron 24 de abril, 2, 8 y 22 de mayo, y 12 de junio de 2006, con el objetivo de mantener constante su estado de madurez al momento de ofrecerlo a los animales. El maíz se cortó y picó diariamente antes de la ordeña de la mañana con la ayuda de un tractor y una cosechadora-picadora de tiro. La cantidad de maíz

fresco ofrecida dependía de su contenido de materia seca, que en promedio fue de 28% a lo largo del período experimental. El porcentaje de materia seca (MS) se obtuvo cada tercer día utilizando un horno de microondas, hasta tener un peso constante, como se describe a continuación: se tomó una muestra representativa de maíz justo después de ser cortado y picado, y se pesó en fresco en una báscula digital (Camry EK5050, capacidad de 5 kg); posteriormente se colocó dentro del horno de microondas, y se programaron ciclos de 4 minutos cada uno, después de los cuales se registraba el peso de la muestra de maíz. Este proceso se detenía cuando se llegaba a un peso constante y, por medio de una regla de tres ($MS, \% = (\text{peso constante} \times 100) / \text{peso fresco}$), se calculó el contenido de MS. La cantidad de maíz total diaria se ofreció en grupo, dos veces al día, la mitad después de cada ordeña, con base en el tratamiento asignado. El consumo individual por día se determinó dividiendo los kg de materia seca ofrecidos por grupo entre el número total de vacas, que fue de 4.

6.4.3. Concentrado

El concentrado se elaboró en la propia granja, se ofreció en dos tomas, durante cada ordeña, y se formuló considerando la cantidad de maíz fresco picado consumido y el consumo estimado de forraje de los potreros, de tal modo que la dieta total (maíz fresco picado + forraje de la pradera + alimento concentrado) fuera isoproteica, con un 17% de PC. La composición del concentrado, así como la composición química del forraje, maíz fresco picado y concentrado se muestran en los Cuadros 1 y 2 respectivamente. En el Cuadro 3 se describe la composición de las dietas totales de cada tratamiento (maíz fresco picado + forraje de la pradera + alimento concentrado).

Cuadro 1. Composición porcentual de los concentrados suministrados a vacas lecheras Holstein en pastoreo de acuerdo a los niveles de maíz fresco picado ofrecidos.

Ingrediente	Tratamiento		
	Maíz fresco picado (kg MS animal ⁻¹ día ⁻¹)		
	0	4	8
Sorgo molido	46.47	28.5	4.54
Maíz molido	45.79	24.94	3.82
Pasta de soya	0.00	36.82	80.01
Melaza	4.74	4.75	4.78
Ortofosfato de calcio	1.78	0.00	0.00
Calbonato de calcio	0.00	4.04	5.90
Sal ¹	0.95	0.95	0.96

¹ 40 g de sal (cantidad aproximada que cada vaca recibió diariamente) contenía la siguiente cantidad de minerales traza: 1.7 mg de Co, 10.2 mg de I, 170 mg de Mn, 5.1 mg de Se y 170 mg de Zn. La sal utilizada fue la misma para los tres tipos de concentrado, tratando de cubrir los requerimientos.

Cuadro 2. Composición química del forraje (pastoreo simulado), maíz fresco picado y concentrado ofrecido a vacas lecheras Holstein en pastoreo.

Fracción	Forraje	MFP ²	Concentrado ⁷		
			0	4	8
Materia seca, %	89.8	92.2	89.1	90.2	90.6
Materia orgánica, % de MS ¹	90.5	88.3	92.5	91.6	87.8
FDN ³ , % de MS	38.8	65.1	14.5	14.9	13.9
FDA ⁴ , % de MS	21.2	40.4	5.5	6.5	6.0
Proteína ⁵ , % de MS	28	8.1	9.3	29	40.8
Genizas, % de MS	9.5	11.7	7.5	8.4	12.2
DIVMS ⁶ , % de MS	74.7	62.7	81.1	80.0	84.9

¹MS: materia seca

²MFP: maíz fresco picado

³FDN: fibra detergente neutra

⁴FDA: fibra detergente ácida

⁵% proteína = % nitrógeno x 6.25

⁶DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la materia seca

⁷El composición del concentrado varía dependiendo el tratamiento, 0, 4, y 8 kg de MS de maíz fresco picado animal⁻¹ día⁻¹

Cuadro 3. Composición química de las dietas totales ofrecidas a vacas lecheras en pastoreo en los diferentes tratamientos. La dieta total incluyó forraje, maíz fresco picado y concentrado.

Ingrediente	Tratamiento		
	Maíz fresco picado (kg MS animal ⁻¹ día ⁻¹)		
	0	4	8
MS, %	89.5	90.7	90.9
PC, % MS	22.2	22.1	19.8
FDN, % MS	31.1	39.7	46.3
FDA, % MS	16.3	22.7	27.5
Ca, % MS ¹	1.2	1.2	1.1
P, % MS ¹	0.4	0.3	0.3
EM, Mcal/ kg MS ¹	2.67	2.59	2.47
EN _L , Mcal/ kg MS ¹	1.69	1.64	1.55

¹ Se estimaron a partir de datos del NRC para ganado lechero (2001).

6.5. Variables medidas

6.5.1. Forraje ofrecido y residual

La determinación del forraje ofrecido y residual se realizó un día antes de iniciar el pastoreo en cada potrero, dentro de la fase de toma de muestras de cada período y un día después de que los animales cambiaron de potrero, respectivamente. Para ello se usó una podadora de pasto (marca Trupper®), se cosechó forraje en dos franjas de aproximadamente 8 x 0.5 m en cada subpotrero de pastoreo, a una altura aproximada de 6 cm. El forraje cosechado se guardó en bolsas de plástico y se pesó en fresco, del cual se obtuvo una muestra de aproximadamente 300 g que se colocó dentro de una bolsa de papel, y se secó en una estufa convencional a 60°C por 48 h, y se guardó para su análisis posterior. Antes de cosechar el forraje, se registraron 10 alturas del forraje previamente identificado, usando un disco de 0.5 m². Ya cortada la franja, se colocó un cuadro de metal de 80x40 cm sobre la franja ya podada y se cortó a ras de suelo el forraje dejado por la podadora. Todo el forraje de tal área fue guardada directamente en bolsas de papel, se pesó y se secó en una estufa convencional a 60°C por 48 h, para

su análisis posterior. Con las dimensiones de cada subpotrero pastoreado, se determinó el área de pastoreo.

Se tomaron muestras de forraje de cada potrero mediante el método de pastoreo simulado (hand plucking) con el objetivo de tener muestras representativas del forraje realmente consumido por los animales. Esto se realizó un día antes del inicio de cada periodo de muestreo. Las muestras fueron secadas en una estufa convencional a 60 °C por 48 h, y guardadas para su posterior análisis químico.

6.5.2. Consumo de forraje

El consumo de forraje se determinó de dos maneras: a) a partir de las muestras de forraje obtenidas con la podadora, y b) mediante el uso de marcadores, utilizando óxido de cromo (Cr_2O_3) como marcador externo y cenizas insolubles en ácido (CIA) como marcador interno (Geerken *et al.*, 1987). En el primer caso, por diferencia entre el forraje ofrecido y el forraje residual de cada subpotrero, se estimó el consumo de forraje de cada grupo de vacas. En el segundo caso, el consumo de forraje se estimó individualmente. Durante los tres períodos experimentales, los animales recibieron 16 g de óxido de cromo (Cr_2O_3) en dos dosis de 8 g, en el alimento concentrado, durante la ordeña. Las heces se obtuvieron en cuatro días alternos durante los nueve días de obtención de muestras, directamente del recto del animal, se colocaron en bolsas de polipapel y se congelaron para su análisis correspondiente en el laboratorio. Para analizarlas, las heces se descongelaron a temperatura ambiente y se mezclaron las cuatro muestras de cada vaca y de cada período, para formar una sola muestra compuesta, la cual fue analizada. A las muestras de heces y a cada uno de los componentes de las dietas totales (forraje de la pradera, concentrado y maíz fresco picado) se les determinaron CIA. Primero, aplicando la fórmula descrita por Church (1988), se calculó la producción diaria de materia fecal, y finalmente el consumo individual de MS mediante la fórmula descrita por Geerken *et al.* (1987):

Dosis del marcador (g d⁻¹)

$$\text{Producción de fecal, MS (g d}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Dosis del marcador (g d}^{-1}\text{)}}{\text{Concentración del marcador en heces (g g}^{-1}\text{ MS)}}$$

El consumo de forraje de la pradera (g MS d⁻¹) de cada vaca se estimó con la fórmula que proponen Geerken *et al.* (1987):

$$\text{Consumo MS pradera (g d}^{-1}\text{)} = \frac{\{(CIA)_H \times PTH\} - [\{(CIA)_C \times CTC\} - \{(CIA)_M \times CTM\}]}{(CIA)_P}$$

Donde:

(CIA)_H = Concentración de cenizas insolubles en ácido (CIA) en heces (g kg⁻¹ MS)

PTH = Producción total de heces obtenida por la fórmula descrita anteriormente, usando Cr₂O₃ como marcador externo (g d⁻¹)

(CIA)_C = Concentración de CIA del concentrado (g kg⁻¹ MS)

CTC = Consumo total del concentrado (g)

(CIA)_M = Concentración de CIA en el maíz picado fresco (g kg⁻¹ MS)

CTM = Consumo total de maíz picado fresco (g d⁻¹)

(CIA)_P = Concentración de CIA en el forraje de la pradera (g g⁻¹ MS)

El consumo total de MS se determinó sumando la cantidad (en MS) de maíz fresco picado, de forraje de la pradera y del concentrado consumidos por vaca⁻¹ día⁻¹.

6.5.3. Producción individual de leche

La producción de leche se midió individualmente utilizando una báscula (True-test®, capacidad de 1.5 ton), en cinco de los nueve días de muestreo. La leche se pesó justo después de cada ordeña y, sumando la producción de la ordeña matutina y vespertina, se obtuvo la producción individual de leche por día.

6.5.4. Producción de leche por hectárea

La producción de leche por hectárea se obtuvo multiplicando la producción individual por la carga animal para cada tratamiento.

6.5.5. Composición de la leche

La composición de la leche (porcentaje de grasa, proteína y lactosa) se analizó utilizando un Milkoscan®, en el laboratorio de Leches de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. Las muestras se colectaron en los mismos días que se midió la producción de leche, en ambas ordeñas. Se colocaron en frascos nuevos de plástico (120 mL) y se mantuvieron en congelación hasta el día de su análisis, cuando se descongelaron a baño María. Una vez que se obtuvo el análisis de la leche de cada ordeña (de la mañana y de la tarde), el resultado se ajustó con base en la producción de leche correspondiente, utilizando un programa computacional en Excel.

6.5.6. Carga animal y tasa de sustitución

La carga animal se calculó por ciclo de pastoreo, considerando el área efectivamente pastoreada, el período de pastoreo y el período de descanso previo, de cada tratamiento, de la siguiente manera: $\text{carga animal} = ((\text{vacas ha}^{-1} \text{ de cada tratamiento} * \text{días de pastoreo del potrero}) / \text{ciclo de pastoreo})$. La tasa de sustitución se estimó por regresión lineal entre el consumo de forraje de la pradera y el consumo de MS del maíz fresco picado (Améndola, 2002).

Las vacas se pesaron al inicio y al final de cada período experimental (cada 19 d); así, el peso vivo final de un período se utilizó como peso vivo inicial del siguiente. Al término de la investigación, a todas las vacas se les realizó un diagnóstico de

gestación por medio de ultrasonido (Sonovet 600, Universal Medical System, Inc transductor transrectal de 7.5 Mhz).

6.6. Análisis de laboratorio

Los análisis de la composición química del forraje de la pradera, maíz fresco picado, concentrado y heces se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal del Programa de Ganadería del Colegio de Postgraduados. Una vez secas, todas las muestras se molieron usando un molino (marca Willey) con malla de 1 mm. Ya molidas, a las muestras de maíz fresco picado, forraje de la pradera (pastoreo simulado) y alimento concentrado se les realizaron las siguientes determinaciones:

- Materia seca (MS). Las muestras que parcialmente se habían secado a 60°C, se colocaron en una estufa a 100° durante 24 horas para presentar los resultados en base seca (AOAC, 1984).
- Fibra detergente neutra (FDN) y ácida (FDA). Se determinaron de acuerdo con la metodología establecida por Van Soest *et al.* (1991).
- Proteína cruda (PC). Se determinó multiplicando el porcentaje de nitrógeno total obtenido por el método de microKjeldahl (AOAC, 1984) por el factor 6.25.
- Cenizas. Las muestras utilizadas para la determinación de materia seca, posteriormente se colocaron en una mufla y se incineraron a 600°C (AOAC, 1984).
- Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS). Se realizó de acuerdo con la metodología descrita por Tilley y Terry (1963). Con las muestras de maíz fresco picado y forraje de la pradera se utilizó líquido ruminal proveniente de una vaca en pastoreo, adaptada a una dieta a base de forraje; mientras que con las muestras de concentrado, se usó líquido ruminal de un becerro estabulado adaptado a una dieta a base de concentrado y paja de avena.
- Cenizas insolubles en ácido. Se determinaron mediante la técnica de Van Keulen y Young (1977) para usarse como marcador interno (Geerken *et al.*,1987).

A las muestras de forraje de la pradera (ofrecido y residual) obtenidas con la podadora y el cuadro se les determinó:

- Cenizas. Las muestras utilizadas para la determinación de MS , posteriormente se colocaron en una mufla y se incineraron a 600 °C (AOAC, 1984)

A las muestras de heces:

- Materia seca (MS). Las muestras que parcialmente se habían secado a 60 °C, se colocaron en una estufa a 100 °C durante 24 horas para presentar los resultados en base seca (AOAC, 1984).
- Cenizas. Las muestras utilizadas para la determinación de MS , posteriormente se colocaron en una mufla y se incineraron a 600 °C (AOAC, 1984)
- Cromo. Se determinó para usarse como marcador externo mediante absorción atómica, según la técnica de Williams *et al.* (1962).
- Cenizas insolubles en ácido. Se determinaron mediante la técnica de Van Keulen y Young (1977) para usarse como marcador interno (Geerken *et al.*,1987).

6.7. Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño Cross-over (Conchran *et al.*, 1941), con tres tratamientos, cada uno de ellos con dos repeticiones (lotes), y cuatro vacas en cada uno, en tres períodos, con una duración de 19 días cada uno (10 días de adaptación y 9 días de toma de muestras).

La distribución de los tratamientos en los potreros se realizó de manera aleatoria e independiente en cada uno de ellos, tanto en el lado norte como en el lado sur.

Los datos se sometieron a un análisis de varianza. El modelo estadístico usado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + P_i + T_j + (P \times T)_{ij} + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable de respuesta

μ = Media general

P_i = Efecto del período, $i = 3$

T_j = Efecto del tratamiento, $j = 3$

$(P \times T)_{ij}$ = Efecto de la interacción entre el período y el tratamiento

E_{ijk} = Error experimental

Los resultados fueron analizados utilizando el procedimiento MIXED de SAS versión 8 (1999). El peso vivo inicial se usó como covariable en el análisis de la producción de leche individual y la composición de la leche.

7. ARTÍCULO CIENTÍFICO

RESPUESTA PRODUCTIVA DE VACAS LECHERAS EN PASTOREO AL MAÍZ FRESCO PICADO COMO SUPLEMENTO MAÍZ FRESCO PICADO COMO SUPLEMENTO A VACAS LECHERAS ANIMAL PERFORMANCE RESPONSE OF LACTATING GRAZING DAIRY COWS TO CHOPPED FRESH MAIZE AS SUPPLEMENT

Ramírez M.M.¹, O. Hernández.^{1*}, R.D. Améndola², G.D. Mendoza^{1,3}, E.J. Ramírez¹,
J.A. Burgueño⁴.

¹Programa de Ganadería-Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco, Km. 36.5 C.P.56230. Montecillo, Mpio. de Texcoco, México.

²Postgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Km 38.5, Carretera México-Texcoco C.P 56230, Mpio. de Texcoco, México.

³Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud C.P. 04965, Delegación Coyoacán, México D.F.

⁴Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y Trigo. Km 45, Carretera México-Veracruz C.P. 56130, El Batán, Mpio. de Texcoco, México.

*Autor para correspondencia: e-mail: ohmendo@colpos.mx

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de suplementar con maíz fresco picado (MFP) a vacas lecheras en pastoreo en la respuesta productiva. Se utilizaron 24 vacas Holstein multíparas. El pastoreo fue rotacional en una pradera mixta alfalfa-pasto ovillo. Se evaluaron tres tratamientos: 0, 4 y 8 kg de MS de MFP animal⁻¹día⁻¹. Todos los animales recibieron 3.8 kg de MS de alimento concentrado animal⁻¹ día⁻¹. Se utilizó un diseño reversible simple (cross-over) (tres tratamientos, dos repeticiones con cuatro animales cada uno), de 3 períodos, con una duración de 19 días cada uno (10 d de adaptación y 9 d de muestreo). No hubo diferencias significativas en producción individual ni en composición de la leche. El consumo de forraje de la pradera disminuyó ($P<0.0001$) de 8.4 a 5.2 y 3.1 kg de MS de forraje de pradera al aumentar el nivel de MFP de 0 a 4 y 8 kg de MS, respectivamente;

mientras que el consumo total de MS incrementó ($P<0.0001$) en aquellas vacas con un nivel de suplemento más alto, promediando 12.2, 12.9, y 14.8 kg de MS total con 0, 4 y 8 kg de MS de MFP, respectivamente. La tasa de sustitución (TS) de forraje de la pradera por MFP fue de 0.75 y 0.67 kg de forraje por kg de MFP con 4 y 8 kg de MS de MFP, respectivamente, consecuentemente, incrementó ($P<0.0001$) la carga animal (CA), de 3.8 a 6.2, y 8.8 vacas ha^{-1} al aumentar el MFP de 0 a 4 y 8 kg de MS de MFP, respectivamente, mientras que la producción de leche por hectárea incrementó ($P<0.0001$) de 39.3 a 64.5 y 95.5 kg de leche, respectivamente. Esto indica que por cada kg de MS de MFP, la CA aumenta 0.63 vacas ha^{-1} , y 0.75 kg de leche ha^{-1} . Estos resultados indican que suplementar con MFP a vacas en etapa final de lactancia no presentó beneficios en producción de leche individual, ni cambios en composición de la leche, pero sí incrementó la producción de leche por hectárea, como resultado de aumento en la CA.

Palabras clave: producción de leche, consumo de materia seca, carga animal.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of supplementing with fresh chopped maize (FCM) to grazing dairy cows on animal performance. Twenty four multiparous Holstein dairy cows were used in a rotational grazing system on a mixed alfalfa-orchard sward. Three treatments were evaluated: 0, 4, and 8 kg of DM of FCM $\text{cow}^{-1} \text{day}^{-1}$. Each cow received 3.8 kg of concentrate (DM basis). The experimental design was a cross-over (three treatments, two replicates with four animals each), with 3 periods lasting 19 days each (10 adaptation plus 9 sampling period). There were no differences on individual milk production nor on milk composition. Herbage dry matter intake decreased ($P<0.0001$) from 8.4 to 5.2 and 3.1 kg of DM when increasing FCM from 0 to 4 and 8 kg of DM, respectively; while total DM intake increased ($P<0.0001$) on those cows with the highest level of supplementation, averaging 12.2, 12.9, 14.8 kg of total DM at 0, 4, and 8 kg of DM of FCM, respectively. Substitution rate (SR) of pasture for FCM was 0.75 and 0.67 kg of pasture per kg of FCM with 4 and 8 kg of DM of FCM, respective. Consequently, stocking rate (STR) increased ($P<0.0001$) from 3.8, to 6.2, and 8.8 cows ha^{-1} , with 0,

4, and 8 kg of DM of FCM, respectively; and milk production per hectare increased ($P < 0.0001$) from 39.3 to 64.5 and 95.5 kg of milk with 0, 4, and 8 kg of DM of FCM, respectively. This means that STR increases $0.63 \text{ cows ha}^{-1}$, and $0.75 \text{ kg of milk ha}^{-1}$ when FCM is increased in one kg of DM. It is suggested that offering FCM as supplement to grazing dairy cows in their final lactation stage had no benefits in individual milk production or milk composition; but on milk production per hectare.

Key words: milk production, dry matter intake, stocking rate.

INTRODUCCIÓN

La producción de leche en condiciones estabuladas, generalmente tiene costos de producción muy altos comparados con los sistemas de producción basados en pastoreo, por lo que estos últimos son una alternativa viable para disminuir costos. Sin embargo, los sistemas de pastoreo enfrentan el problema del bajo consumo de materia seca, y si a esto se le suma la baja calidad del forraje, la producción disminuye dramáticamente. Ofrecer un suplemento a vacas en pastoreo podría aliviar este problema y, consecuentemente, incrementar la producción de leche.

Sin embargo, la suplementación conlleva a un efecto sustitutivo, pero en pastoreo trae la ventaja de incrementar la carga animal y, por ende, la producción por hectárea. Fike *et al.* (2003) demostraron que al aumentar la carga animal de 7.5 a 10 vacas, la producción de leche por hectárea aumenta de 82 a 119 kg, si se suplementa con concentrado. Este beneficio de incrementar la carga animal está en función de la cantidad y calidad de forraje disponible (Sollenberger *et al.*, 2005), así como de la cantidad y tipo de suplemento ofrecido, ya que de ello dependerá la tasa de sustitución (Bargo *et al.*, 2003).

Entre los alimentos más comúnmente ofrecidos como suplemento a vacas productoras de leche está el maíz ensilado (Bargo *et al.*, 2003). Resultados recientes han demostrado que la respuesta de vacas lecheras en pastoreo al ofrecerles maíz ensilado depende de las condiciones particulares del estudio. Por ejemplo, Hernandez-Mendo y Leaver (2004; 2006) reportaron que ofrecer ensilado de maíz a vacas en pastoreo tuvo efectos benéficos solo cuando los animales pastorearon a

menor altura de forraje, cuando la disponibilidad de forraje fue baja y no recibieron ningún otro suplemento; y mientras que Holden *et al.* (1995) no encontraron efecto en producción ni en composición de la leche al ofrecer 2.3 kg de MS de ensilado de maíz a vacas altas productoras, Améndola (2002) reportó que la producción de leche en vacas en pastoreo sin ensilado de maíz fue mayor ($19.5 \text{ kg vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$), que aquellas con 4.8 kg de materia seca de ensilado de maíz ($17.6 \text{ kg vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$), debido, probablemente, a la calidad superior y abundancia del forraje en la pradera. A pesar de estos resultados, dar maíz ensilado como suplemento a vacas lecheras en pastoreo ofrece la ventaja de incrementar la carga animal dado el efecto sustitutivo. Améndola (2002) reporta que la carga animal puede incrementarse de 2.1 a $3.6 \text{ vacas ha}^{-1}$, con 0 y 4.8 kg de materia seca de ensilado de maíz por $\text{vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$, aumentando, en consecuencia, la producción de leche por hectárea a una tasa de 0.79 kg extra de leche por cada kg de materia seca de ensilado de maíz ofrecido, a pesar de que la producción individual se redujo con el ensilado. El mismo autor reporta que tal incremento se debió a una alta tasa de sustitución, 1.36 kg de MS de forraje por kg de materia seca de ensilado; valor considerablemente superior que cuando se ofrecen suplementos a base de granos, que va de 0.11 a 0.5 kg de MS de forraje por kg de materia seca de suplemento (Bargo *et al.*, 2003).

A pesar de los beneficios que ofrece el suplementar con maíz ensilado, se tiene la desventaja de la necesidad de infraestructura adecuada para conservar el ensilado. Esto sugiere que utilizar maíz fresco picado como suplemento podría ser una mejor opción; sin embargo, existe poca o nula investigación que discuta esta forma de utilización, a pesar de que en algunas explotaciones es una práctica común. Una ventaja importante que posee este tipo de forraje en verde es que conserva más nutrientes que otros métodos, como el henificado o ensilado (Church *et al.*, 2003; Darby y Lauer, 2002). Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta productiva de vacas en lactancia pastoreando en una pradera mixta de alfalfa-pasto ovillo con un suplemento de maíz fresco picado.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo del 7 de agosto y al 25 de octubre de 2006 en el Módulo de Producción de Leche en Pastoreo de la Universidad Autónoma Chapingo, en el estado de México, localizado a 19°29' N, 98°54' O, y a 2240 m sobre el nivel del mar. El clima es templado subhúmedo, con lluvias en verano; precipitación y temperatura promedio de 620 mm y 18°C respectivamente (García, 1988).

Se utilizaron 24 vacas Holstein multíparas en lactancia con valor inicial promedio de días en leche, peso vivo, producción de leche, edad y número de parto, de 508 ± 259 , 651 ± 53 kg, 12.9 ± 4.1 kg, 7.6 ± 1.7 años y 5.3 ± 1.6 partos, respectivamente. Los animales fueron distribuidos homogéneamente en 6 grupos de 4 vacas cada uno, de acuerdo a la producción de leche. Aleatoriamente, tres grupos fueron asignados al lado norte o tres al sur de cada potrero, lado que conservaron durante el experimento. Posteriormente, los 6 grupos fueron asignados aleatoriamente a cada uno de tres tratamientos en estudio, que fueron 0, 4 y 8 kg de MS de MFP $\text{animal}^{-1}\text{día}^{-1}$. Durante el período experimental, el promedio de MS del maíz fresco picado fue de $28 \pm 4.7\%$. El pastoreo fue rotacional en una pradera mixta de alfalfa (*Medicago sativa*) y pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.), con agua a libre acceso. Las vacas que no recibieron maíz fresco picado, regresaron al potrero inmediatamente después de la ordeña, la cual se realizó dos veces al día, de las 6:00 a 8:30, y de las 14:00 a 16:00 horas. Diariamente se registró la hora de llegada a la sala de ordeña y la hora de salida de las corraletas de cada grupo de vacas, para determinar el tiempo en la pradera de cada una de ellos.

Todas las vacas tuvieron un período de adaptación, durante el cual recibieron el mismo tipo y la misma cantidad de concentrado y de maíz fresco picado, además de tener el mismo manejo, 2 semanas antes de iniciar el período experimental.

Se utilizaron 6 hectáreas de pradera, divididas en 12 potreros, los cuales fueron subdivididas en 6 subpotreros cada uno (3 orientados al norte y 3 al sur), y fueron pastoreados por cada uno de los 6 grupos de vacas previamente asignado de manera aleatoria, de tal modo que los tres tratamientos estuvieran presentes en los subpotreros del norte y sur. Se ofreció forraje fresco, por lo menos dos veces al día, usando un cerco eléctrico móvil, las áreas asignadas estuvieron en función del logro

de una masa de forraje residual similar en todos los subpotreros, de acuerdo con una estimación visual de la cantidad de forraje residual. Todas las vacas pastorearon el mismo potrero a un mismo tiempo y, cuando el forraje se agotaba en por lo menos uno de los subpotreros, los 6 grupos de vacas se movían a un potrero nuevo.

El maíz utilizado fue la variedad San José y se sembró en el mismo módulo de producción de leche. Las fechas de siembra fueron: 24 de abril, 2, 8 y 22 de mayo, y 12 de junio de 2006, con el objetivo de mantener constante su estado de madurez al momento de ofrecerlo a los animales. El maíz se cortó y picó diariamente antes de la ordeña de la mañana con la ayuda de un tractor y una cosechadora-picadora de tiro. La cantidad de maíz fresco ofrecida dependía de su contenido de MS, la cual se obtenía cada tercer día utilizando un horno de microondas, hasta tener un peso constante, como se describe a continuación: se obtuvo una muestra representativa de maíz justo después de ser cortado y picado, se pesó en fresco en una báscula digital (Camry EK5050, capacidad de 5 kg); posteriormente se colocó dentro del horno y se programaron ciclos de 4 minutos cada uno, después de los cuales se registraba el peso de la muestra de maíz. Este proceso se detenía cuando se llegaba a un peso constante y, por medio de una regla de tres ($MS, \% = (\text{peso constante} \times 100) / \text{peso fresco}$) se obtuvo la MS. La cantidad de maíz total diaria se ofreció, en grupo, dos veces al día, la mitad después de cada ordeña, con base en el tratamiento asignado.

El concentrado se ofreció en dos tomas, la mitad después de cada ordeña, y se formuló considerando la cantidad de maíz fresco picado ofrecido y el consumo estimado de forraje de los potreros, de tal modo que la dieta total (MFP + forraje de la pradera + alimento concentrado) fueran isoproteicas (17% de PC). La composición del concentrado, y la composición química del forraje, maíz fresco picado y concentrado se muestran en los Cuadros 1 y 2 respectivamente. En el Cuadro 3 se describe la composición de las dietas totales de cada tratamiento (maíz fresco picado + forraje de la pradera + alimento concentrado).

Cuadro 1. Composición porcentual de los concentrados suministrados a vacas lecheras Holstein en pastoreo de acuerdo a los niveles de maíz fresco picado ofrecidos.

Ingrediente	Tratamiento		
	Maíz fresco picado (kg MS animal ⁻¹ día ⁻¹)		
	0	4	8
Sorgo molido	46.47	28.5	4.54
Maíz molido	45.79	24.94	3.82
Pasta de soya	0	36.82	80.01
Melaza	4.74	4.75	4.78
Ortofosfato de calcio	1.78	0	0
Carbonato de calcio	0	4.04	5.90
Sal ¹	0.95	0.95	0.96

¹ 40 g de sal (cantidad aproximada que cada vaca recibió diariamente) contenían la siguiente cantidad de minerales traza: 1.7 mg de Co, 10.2 mg de I, 170 mg de Mn, 5.1 mg de Se y 170 mg de Zn. La sal utilizada fue la misma para los tres tipos de concentrado.

Cuadro 2. Composición química del forraje (pastoreo simulado), maíz fresco picado y concentrado ofrecido a vacas lecheras Holstein en pastoreo.

Fracción	Forraje	MFP ²	Concentrado ⁷		
			0	4	8
MS, %	89.8	92.2	89.1	90.2	90.6
Materia orgánica, % de MS ¹	90.5	88.3	92.5	91.6	87.8
FDN ³ , % de MS	38.8	65.1	14.5	14.9	13.9
FDA ⁴ , % de MS	21.2	40.4	5.5	6.5	6.0
Proteína ⁵ , % de MS	28	8.1	9.3	29	40.8
Cenizas, % de MS	9.5	11.7	7.5	8.4	12.2
DIVMS ⁶ , % de MS	74.7	62.7	81.1	80.0	84.9

¹MS: materia seca

²MFP: maíz fresco picado

³FDN: fibra detergente neutra

⁴FDA: fibra detergente ácida

⁵% proteína = % nitrógeno x 6.25

⁶DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la materia seca

⁷El composición del concentrado varía dependiendo el tratamiento, 0, 4, y 8 kg de MS de maíz fresco picado animal⁻¹ día⁻¹

Cuadro 3. Composición química de las dietas totales ofrecidas a vacas lecheras en pastoreo en los diferentes tratamientos. La dieta total incluyó forraje, maíz fresco picado y concentrado.

Ingrediente	Tratamiento		
	Maíz fresco picado (kg MS animal ⁻¹ día ⁻¹)		
	0	4	8
MS, %	89.5	90.7	90.9
PC, % MS	22.2	22.1	19.8
FDN, % MS	31.1	39.7	46.3
FDA, % MS	16.3	22.7	27.5
Ca, % MS ¹	1.2	1.2	1.1
P, % MS ¹	0.4	0.3	0.3
EM, Mcal/ kg MS ¹	2.67	2.59	2.47
EN _L , Mcal/ kg MS ¹	1.69	1.64	1.55

¹ Se estimaron a partir de datos del NRC para ganado lechero (2001).

La determinación del forraje ofrecido y residual se realizó un día antes de iniciar el pastoreo en el potrero, dentro de la fase de toma de muestras de cada período y un día después de que los animales cambiaron de potrero de la siguiente manera: usando una podadora de pasto (marca Trupper®), se cosechó forraje en dos franjas de aproximadamente 8 x 0.52 m en cada subpotrero de pastoreo, a una altura aproximada de 6 cm; se guardó en bolsas de plástico y se pesó en fresco, del cual se obtuvo una muestra que se colocó dentro de una bolsa de papel, y se secó en una estufa de laboratorio a 60°C por 48 h; después se guardó para su análisis posterior. Antes de cosechar el forraje, se registraron 10 alturas del forraje previamente identificado, usando un disco de 0.5 m². Ya cortada la franja, se colocó un cuadro de metal de 80 x 40 cm sobre la franja ya podada y se cortó a ras de suelo el forraje residual dejado por la podadora. Todo el forraje de tal área fue guardada directamente en bolsas de papel, se pesó y se secó en una estufa convencional a 60°C por 48 h, para su análisis posterior. Con las dimensiones de cada subpotrero pastoreado, se determinó el área de pastoreo.

Un día antes del inicio de cada periodo de pastoreo se tomaron muestras de forraje de cada potrero mediante el método de hand plucking (pastoreo simulado). Las muestras fueron secadas en una estufa de laboratorio a 60°C por 48 h, y guardadas para su posterior análisis químico.

El consumo de forraje se determinó mediante el uso de marcadores, utilizando óxido de cromo (Cr_2O_3) como marcador externo y cenizas insolubles en ácido (CIA) como marcador interno (Geerken *et al.*, 1987). Durante los tres periodos experimentales, los animales recibieron 16 g de óxido de cromo (Cr_2O_3) en dos tomas de 8 g, en el alimento concentrado, durante la ordeña. Se tomaron muestras de heces durante en cuatro de los nueve días de obtención de muestras, en días alternos, directamente del recto del animal, que se colocaron en bolsas de polipapel y se congelaron para su análisis correspondiente en el laboratorio. Para analizarlas, las heces se descongelaron a temperatura ambiente y se mezclaron las cuatro muestras de cada vaca y de cada periodo, para formar una sola compuesta, la cual fue analizada. A las muestras de heces y a cada uno de los componentes de las dietas totales (forraje de la pradera, concentrado y maíz fresco picado) se les determinaron cenizas insolubles en ácido (CIA). Aplicando la fórmula descrita por Church (1988), se calculó la producción diaria de materia fecal, y finalmente el consumo individual de MS mediante la formula descrita por Geerken *et al.* (1987):

$$\text{Producción de fecal, MS (g d}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Dosis del marcador (g d}^{-1}\text{)}}{\text{Concentración del marcador en heces (g g}^{-1}\text{ MS)}}$$

El consumo de forraje de la pradera (g MS d^{-1}) de cada vaca se estimó con la fórmula que proponen Geerken *et al.* (1987):

$$\text{Consumo MS pradera (g d}^{-1}\text{)} = \frac{\{(CIA)_H \times PTH\} - \{(CIA)_C \times CTC\} - \{(CIA)_M \times CTM\}}{(CIA)_P}$$

Donde:

$(CIA)_H$ = Concentración de cenizas insolubles en ácido (CIA) en heces (g kg^{-1} MS)

PTH = Producción total de heces obtenida por la fórmula descrita anteriormente, usando Cr_2O_3 como marcador externo (g d^{-1})

$(CIA)_C$ = Concentración de CIA del concentrado (g kg^{-1} MS)

CTC = Consumo total del concentrado (g)

$(CIA)_M$ = Concentración de CIA en el maíz picado fresco (g kg^{-1} MS)

CTM = Consumo total de maíz picado fresco (g d^{-1})

$(CIA)_P$ = Concentración de CIA en el forraje de la pradera (g g^{-1} MS)

La tasa de sustitución se estimó a partir de una regresión lineal entre el consumo de forraje y el consumo de maíz fresco picado.

La producción de leche se midió individualmente utilizando una báscula (True-test®, capacidad de 1.5 ton), en cinco de los nueve días de muestreo, justo después de cada ordeña. La composición de la leche (porcentaje de grasa, proteína y lactosa) se analizó utilizando un Milkoscan®, en el Laboratorio de Leches de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. Las muestras se colectaron en los mismos días que se midió la producción de leche, en ambas ordeñas. Se colocaron en frascos nuevos de plástico (120 mL) y se mantuvieron en congelación hasta el día de su análisis, cuando se descongelaron a baño María. Una vez que se obtuvo el análisis de la leche de cada ordeña (de la mañana y de la tarde), el resultado se ajustó con base en la producción de leche correspondiente, utilizando un programa computacional en Excel.

El análisis químico del forraje de la pradera, maíz fresco picado, concentrado y heces se realizó en el Laboratorio de Nutrición Animal del Programa de Ganadería del Colegio de Postgraduados. A las muestras de maíz fresco picado, forraje de la

pradera (pastoreo simulado) y alimento concentrado se les determinó: materia seca (MS) (AOAC, 1984), fibra detergente neutro (FDN) y ácido (FDA) (Van Soest *et al.*, 1991), proteína por el método de microkjeldahl (AOAC, 1984), cenizas (AOAC, 1984) y digestibilidad *in vitro* (Tilley y Terry, 1963). A las muestras de forraje de la pradera (ofrecido y residual) obtenidas con la podadora se le determinó únicamente cenizas (AOAC, 1984), y a las de heces, materia seca (MS), cenizas (AOAC, 1984) y cromo, mediante absorción atómica (Williams *et al.*, 1962). A todas las muestras, excepto las obtenidas con la podadora, se les determinaron CIA (Van Keulen y Young, 1977) como marcador interno (Geerken *et al.*, 1987).

Las vacas se pesaron al inicio y al final de cada período experimental (cada 19 d). El peso vivo final de un período se utilizó como peso vivo inicial del siguiente. Al término de la investigación, a todas las vacas se les realizó un diagnóstico de gestación por medio de ultrasonido (Sonovet 600, Universal Medical System, Inc. Transductor de 7.5 Mhz).

Se utilizó un diseño cross-over (Conchran *et al.*, 1941), el cual tuvo tres tratamientos, cada uno de ellos con dos repeticiones (lotes), y cuatro vacas en cada uno, en tres períodos, con una duración de 19 días cada uno (10 días de adaptación y 9 días de toma de muestras). Previo al inicio del primer período, todas las vacas tuvieron una etapa de adaptación general de 14 días al maíz fresco picado.

Se tomaron muestras y mediciones de ocho potreros en los tres períodos experimentales, únicamente de aquellos pastoreados durante la etapa de toma de muestras (tres potreros en cada uno de los períodos 1 y 3, y dos en el período 2). La distribución de los tratamientos en los potreros se realizó de manera aleatoria e independiente en cada uno de ellos, tanto en el lado norte como en el lado sur. Durante el período 1, los grupos de vacas conservaron el tratamiento asignado; en el período 2, nuevamente se asignaron aleatoriamente los tratamientos a cada uno de los grupos, con la restricción de que no fuera el mismo que en el período previo; en el período 3, los grupos se sometieron al tratamiento que no recibieron en los dos periodos anteriores. Así, cada grupo de vacas recibió los tres tratamientos en sucesión.

Los datos se sometieron a un análisis de varianza, y el modelo estadístico usado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + P_i + T_j + (P \times T)_{ij} + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable de respuesta

μ = Media general

P_i = Efecto del período, $i = 3$

T_j = Efecto del tratamiento, $j = 3$

$(P \times T)_{ij}$ = Efecto de la interacción entre el período y el tratamiento

E_{ijk} = Error experimental

Las variables de respuesta analizadas fueron: producción de leche individual y por hectárea, composición de la leche, consumo de MS total, consumo de forraje de pradera, tasa de sustitución y carga animal. Los resultados fueron analizados utilizando el procedimiento MIXED de SAS versión 8 (1999). El peso vivo inicial se usó como covariable en el análisis de la producción de leche individual y la composición de la leche.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Consumo de materia seca y tasa de sustitución

El consumo de forraje de la pradera y el consumo total de MS fueron afectados con el nivel de maíz fresco picado, observándose que el consumo de forraje de la pradera disminuyó pero el consumo total incrementó al ofrecer maíz fresco picado. En el Cuadro 4 se observa que el consumo de forraje de la pradera disminuyó 38.9 y 62.6% ($P < 0.0001$) al aumentar el nivel de maíz fresco picado a 4 y 8 kg, respectivamente; mientras que el consumo total de MS fue mayor en 22.2 y 15.4% en aquellas vacas con un nivel de suplemento de 8 kg vs. aquellos de 0 y 4 kg de MS de maíz fresco picado, respectivamente ($P < 0.0001$).

No obstante que hubo mayor consumo de MS total en las vacas alimentadas con 8 kg de MS de maíz fresco picado, no se reflejó un incremento significativo de la producción de leche o en peso vivo, aspecto que se discute más adelante.

Cuadro 4. Consumo de materia seca por vacas lecheras en pastoreo suplementadas a diferentes niveles de maíz fresco picado.

Tratamiento kg MS ¹ de MFP ²	Consumo de materia seca (kg animal ⁻¹ d ⁻¹)			
	Maíz fresco picado	Concentrado	Forraje de la pradera	Consumo total
0	0	3.8	8.4 _a	12.2 _a
4	4	3.8	5.2 _b	13.0 _a
8	8	3.8	3.1 _c	14.8 _b
EE ³			0.34	0.36

^{a,b,c} Letras diferentes en una columna indican diferencias estadísticas ($P < 0.0001$)

¹MS, materia seca

²MFP, maíz fresco picado

³EE, Error estándar

Por otro lado, el aumento en el consumo total de MS, con maíz fresco picado, pudiera deberse al tipo de ingredientes de cada uno de los concentrados. Por ejemplo, a diferencia del tratamiento sin maíz fresco picado, los tratamientos con 4 y 8 kg de MS de maíz fresco picado vaca⁻¹ d⁻¹, incluían pasta de soya para tratar de igualar el porcentaje de proteína con respecto al tratamiento sin maíz fresco picado, la cual se ha visto que, debido a su alto porcentaje de proteína, estimula el consumo de MS por animales (Mulligan *et al.*, 2004).

Además, la fracción de FDN, considerada como uno de los principales constituyentes de la dieta involucrados en el llenado del rumen y, por ende, en el consumo de MS (NRC, 2001), no fue el mismo para los diferentes tratamientos, incrementándose al aumentar la cantidad de maíz fresco picado ofrecido a las vacas (31.1, 39.7, y 46.3 % de FDN de las dietas con 0, 4, y 8 kg de MS de MFP vaca⁻¹ d⁻¹), lo cual no afectó negativamente el consumo total de MS. Contrariamente, Ruiz *et al.* (1995) indicaron que el consumo de MS y la producción de leche disminuyen linealmente cuando la FDN de la dieta se incrementa de 31 a 39% (las dietas con maíz fresco picado aquí ofrecidas contenían más de 39% de FDN). Mertens (1985;

citado por Vazquez y Smith, 2000) establece que el consumo de MS se relaciona con la capacidad de consumo de FDN, la cual es de alrededor del 1.2% del peso vivo del animal, aunque Vazquez y Smith (2000) reportan que puede ser hasta de 1.78% del peso vivo, cuando se ofrece un suplemento de forraje a vacas en pastoreo. En esta investigación, el consumo de FDN, como porcentaje del PV, fue menor a 1.05%; por lo que otros factores, como los que aquí se mencionan, afectaron el consumo total de MS.

El consumo total de MS aquí reportado es similar a lo encontrado por otros autores (Vazquez y Smith, 2000). Sin embargo, aun cuando el consumo total de MS fue mayor con el suplemento de maíz, éste es menor a lo reportado por Améndola (2002), usando el mismo tipo de animales en las mismas condiciones, con la diferencia de ofrecer un suplemento de ensilado de maíz. Este autor encontró consumo total de MS de 15.9 vs. 14.4 kg vaca⁻¹ d⁻¹, y de forraje de pradera de 13.6 vs. 8.2 kg vaca⁻¹ d⁻¹ con 0 o 4 kg de MS vaca⁻¹ d⁻¹, respectivamente. Es posible que el nivel de producción de leche de las vacas experimentales influyera en el bajo consumo total de MS, si consideramos que la producción de leche fue, en promedio, de 10 kg vaca⁻¹ día⁻¹, como reportó Hernández-Mendo y Leaver (2006), quienes encontraron un consumo total de MS de 18.3 vs. 14.9 kg vaca⁻¹ d⁻¹ para vacas en pastoreo con 34.5 y 22 kg de leche vaca⁻¹ d⁻¹. El hecho de incrementar el consumo total de MS y disminuir el consumo de forraje de la pradera, es un claro indicativo de que existió un efecto sustitutivo que, en este estudio, fue de 0.67 kg de MS de forraje de la pradera por cada kg de MS de maíz fresco picado. Se menciona que el tipo de suplemento influye en la tasa de sustitución, y que los que son a base de forraje, como lo es el maíz fresco picado, disminuyen el consumo de MS de forraje de la pradera más que los que son concentrados. Con ensilado de maíz se reporta una tasa de sustitución de 0.84 a 1.02 (Bargo *et al.*, 2003) hasta 1.2 a 1.36 kg de MS de forraje de pradera por kg de MS de ensilado de maíz (Holden *et al.*, 1995; Améndola, 2000). Estos valores son superiores a lo que se menciona en esta investigación, pero mayor que lo reportado para un suplemento concentrado, que va desde 0.11 (Bargo *et al.*, 2003) hasta 0.55 (Bargo *et al.*, 2002) kg de MS de forraje de pradera por kg de MS de concentrado. Sin embargo, no siempre la tasa de sustitución es mayor con

los suplementos a base de forrajes, ya que se ha reportado que ésta puede ser similar usando suplementos tanto de heno como de grano (Bargo *et al.*, 2003). La disponibilidad de forraje es un factor que interviene en la tasa de sustitución, que es mayor cuando la disponibilidad del forraje es alta, como lo describen Bargo *et al.* (2002), quienes mencionan que cuando la disponibilidad de forraje es baja (de 7.6 a 22.2 kg de MS vaca⁻¹ día⁻¹), la tasa de sustitución es, en promedio de 0.19 kg de MS de forraje de pradera por kg de MS de concentrado; mientras que cuando la disponibilidad es alta (de 24 a 42.3 kg de MS vaca⁻¹ día⁻¹), la tasa de sustitución es de 0.58 kg de MS de forraje de pradera por kg de MS de concentrado. En este estudio, la disponibilidad de forraje fue, en promedio, de 33.9 ±1.99 kg de MS vaca⁻¹ día⁻¹, y la tasa de sustitución de 0.67 kg de MS de forraje de pradera por kg de MS de maíz fresco picado, lo cual concuerda con lo mencionado anteriormente.

Producción de leche individual y composición de la leche

La producción individual y composición de la leche se presentan en el Cuadro 5. No hubo diferencias significativas entre tratamientos, resultados que concuerdan con otros en los que se ofreció ensilado de maíz a vacas en pastoreo (Fike *et al.*, 2002; Holden *et al.*, 1995). Aunque no hubo diferencias estadísticas, suplementar con maíz fresco picado a un nivel de 4 y 8 kg de MS vaca⁻¹ d⁻¹, hubo incrementos ($P < 0.98$) de 2.0 y 1.7 % la producción de leche, respectivamente. Pareciera ser que este incremento en producción de leche es mínimo, sin embargo, al hacer las conversiones en producción leche por hectárea, las diferencias son mayores, aspecto que se discute más adelante. El nivel de producción de leche en esta investigación se encuentra por debajo de lo reportado en la mayoría de los trabajos de vacas en pastoreo, que es de 19.1 kg vaca⁻¹ d⁻¹ sin ningún suplemento, hasta 29.9 kg vaca⁻¹ d⁻¹ con suplemento a base de concentrado (Bargo *et al.*, 2002). Esto puede deberse, parcialmente, a los días en lactancia de las vacas al inicio del experimento de 508 días, en promedio; mientras que las vacas de los estudios consultados (Delahoy *et al.*, 2003; Holden *et al.*, 1995; Kolver y Muller, 1998) tenían de 59 a 216 días en lactancia al inicio del experimento. Este avanzado estado de lactancia de las vacas experimentales rebasa dramáticamente el número de días que

dura comúnmente una lactancia, que es de 305, donde un mes después del parto, se alcanza el pico de producción de leche; posteriormente disminuye de manera lenta y gradual hasta que finalmente cesa (Brinsko, 1999). Dicho comportamiento se observó en este estudio, al disminuir ($P < 0.05$) la producción de leche de 11.85 a 8.75 kg de leche por vaca⁻¹ día⁻¹, del primer al tercer periodo de evaluación.

Cuadro 5. Medias de producción y composición de la leche de vacas en pastoreo con acceso a diferentes niveles de maíz fresco picado.

Tratamiento de MFP ²	kg MS ¹	Producción de leche (kg animal ⁻¹ d ⁻¹)	Grasa, %	Proteína, %	Lactosa, %
0		10.2	3.3	3.3	4.2
4		10.4	3.2	3.3	4.4
8		10.4	3.2	3.3	4.3
EE ³		0.79	0.10	0.55	0.89

¹MS, materia seca

²MFP, maíz fresco picado

³EE, Error estándar

Bargo *et al.* (2003) mencionan que durante la etapa temprana de la lactancia se destinan más nutrientes para la producción de leche, mientras que en la etapa tardía, los nutrientes se destinan a ganancia de peso del animal, y que el efecto de un suplemento concentrado en la producción de leche es nulo, situación que pudo estar ocurriendo al ofrecer maíz fresco picado a las vacas experimentales, cuyo estado de lactancia era muy avanzado.

Por otra parte, es importante mencionar que el 42% de las vacas aquí utilizadas tenían más de 4 meses de gestación al final del periodo experimental, lo cual, junto con los días en lactancia, pudo influir en su baja producción láctea. Durante la gestación, el animal destina los nutrientes para la formación y crecimiento del feto, y poco para producción, siendo de 2.3 Mcal vaca⁻¹ día⁻¹ el requerimiento de energía fetal en una vaca Holstein con 250 días de gestación (Ingvarsen y Andersen, 2000). Roche (2003) menciona que la producción de leche disminuye 0.8 kg vaca⁻¹ d⁻¹ después de 147 días de gestación y 33 semanas en lactancia. Esto

puede deberse a un tipo de regulación en el reparto de nutrientes denominado homeostasis, el cual se define como “aquellos cambios metabólicos coordinados para apoyar un estado fisiológico”, que en este caso es la gestación, período durante el cual la utilización de nutrientes maternos son para el desarrollo del feto, el crecimiento de la membranas fetales, el útero grávido, y la glándula mamaria, especialmente durante el último tercio de la gestación y, en su caso, al inicio de la lactancia (Ingvarsen y Andersen, 2000).

Por otro lado, el porcentaje de grasa, proteína, y lactosa tampoco varió ($P>0.05$). Resultados similares han sido reportados en otras investigaciones llevadas a cabo en pastoreo y con un suplemento a base de grano de maíz (Pulido *et al.*, 2002; Wilkerson *et al.*, 1997), y con ensilado de maíz (Améndola, 2002; Holden *et al.*, 1995). Esto indica que la calidad de la leche no es afectada por suplementar con maíz fresco picado.

Es interesante observar que a pesar de la diferencia en el consumo de MS (Cuadro 4), la respuesta en producción de leche fue nula, a pesar de que con mayor cantidad de maíz fresco picado en la dieta, el consumo de energía fue mayor (Cuadro 6). De acuerdo al consumo de energía y a la energía en leche (NRC, 2001), se esperaba una producción de leche de al menos 16 litros vaca¹ d¹. Sin embargo, no fue así, por las razones antes discutidas; además pudieron estar afectando otros factores que no son tomados en cuenta, como las características propias del animal, del alimento y del ambiente, los cuales, unidos, influyen en el consumo de alimento y la respuesta productiva del animal.

Cuadro 6. Producción de leche esperada, considerando las Mcal consumidas vaca⁻¹ día⁻¹ y las Mcal por litro de leche¹.

Tratamiento kg MS ² de MFP ³	Consumo, Mcal vaca ⁻¹ día ⁻¹	Producción de leche esperada, litros vaca ⁻¹ día ⁻¹
0	37.5	15.6
4	38.9	16.4
8	43.8	18.1

¹Las Mcal por litro de leche son 2.4, 2.38, y 2.42, para los tratamientos 0, 4, y 8 kg de MS de MFP, respectivamente, dependiendo del % de grasa en leche.

²MS, materia seca

³MFP, maíz fresco picado

Fuente: NRC (2001).

Por otro lado, aún cuando el concentrado ofrecido se formuló de tal manera que la dieta total tuviera 17% de PC, el resultado obtenido por el programa del NRC (2001), muestra que las dietas totales (maíz fresco picado + forraje + concentrado) tenían 22.2, 22.1 y 19.8% de PC, con 0, 4, y 8 kg de materia seca de maíz fresco picado, lo cual es superior al porcentaje de proteína recomendado para vacas Holstein, que es de 14%, para vacas con 90 días en lactancia y produciendo 25 kg de leche al día (NRC, 2001). En dietas con alto contenido de proteína, la excreción de nitrógeno es alta, especialmente por vía urinaria, el cual se convierte en un potente contaminante del aire y del agua. Esto indica que aún cuando se menciona que hay mayor producción de leche con porcentajes de proteína más altos, su consumo en exceso, reduce su eficiencia de utilización, ya que hay más proteína de la que el animal fisiológicamente puede utilizar (Mulligan *et al.*, 2004). Y esto pudo influir en los resultados en los resultados aquí reportados.

Carga animal y producción de leche por hectárea

El consumo de maíz fresco picado como suplemento trajo como consecuencia disminución en el consumo de forraje de la pradera y, por tanto, un incremento significativo ($P < 0.0001$) en la carga animal (Cuadro 7). Con el aumento de la carga animal, aún cuando la producción individual de leche no cambió, se incrementó la producción de leche por hectárea con el nivel de maíz fresco picado, aumentando más de 25 y 56 kg de leche ha^{-1} cuando se ofrecieron 4 y 8 kg de MS $vaca^{-1} día^{-1}$, respectivamente. Este incremento en la producción por hectárea por efecto de la carga animal es reportado por otros autores (Amendola, 2002). Por su parte y utilizando un suplemento concentrado, Fike *et al.* (2003) mencionan que la producción de leche por hectárea se incrementa 61% con solo aumentar de 7.5 a 10 la carga animal, y que ésta puede ser igual a 10 cuando el forraje tiene un máximo crecimiento y la producción individual de leche es moderada. En este estudio se encontró que la producción de leche por hectárea aumentó 0.75 kg extra de leche por cada kg de MS de maíz fresco picado ofrecido (Figura 1), resultado muy similar a 0.79 kg reportado por Améndola (2000), usando ensilado de maíz, o 0.80 kg reportado por Fike *et al.* (2003) usando concentrado. Esto indica que,

independientemente de los efectos en la producción individual de leche, el uso de suplementos incrementa los kg de leche producidos por hectárea.

Cuadro 7. Carga animal y producción de leche por hectárea con vacas en pastoreo con diferentes niveles de maíz fresco picado.

Tratamiento kg MS ¹ de MFP ²	Variables	
	Carga animal, vacas ha ⁻¹	Producción de leche por ha, Kg de leche ha ⁻¹ día ⁻¹
0	3.8 _a	39.3 _a
4	6.2 _b	64.5 _b
8	8.8 _c	95.5 _c
EE ³	0.53	6.61

^{a,b,c} Letras diferentes en una columna indican diferencias estadísticas ($P < 0.0001$)

¹MS: materia seca

²MFP: maíz fresco picado

³EE: Error estándar

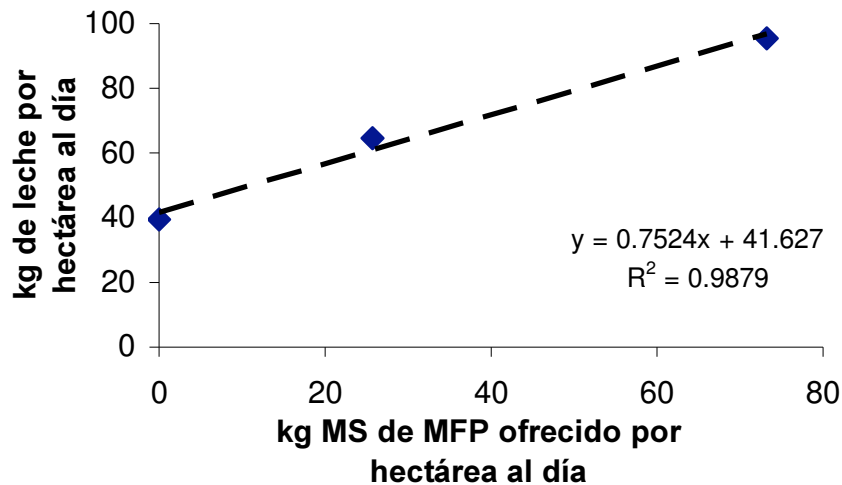


Figura 1. Efecto de suplementar con maíz fresco picado en la producción diaria de leche por hectárea en vacas en pastoreo.

La carga animal incrementó $0.63 \text{ vaca}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ por cada kg de MS de maíz fresco picado ofrecido (Figura 2), este aumento fue superior a lo obtenido por Améndola (2000), quien reporta que la carga animal aumentó $0.4 \text{ vaca}^{-1} \text{ ha}$ por kg de MS de ensilado de maíz consumido; sin embargo, la carga animal que este autor reporta (2.10 y $3.61 \text{ vacas ha}^{-1}$, con 0 y 4.8 kg de MS de ensilado de maíz) fue considerablemente menor a la de este trabajo con maíz fresco picado.

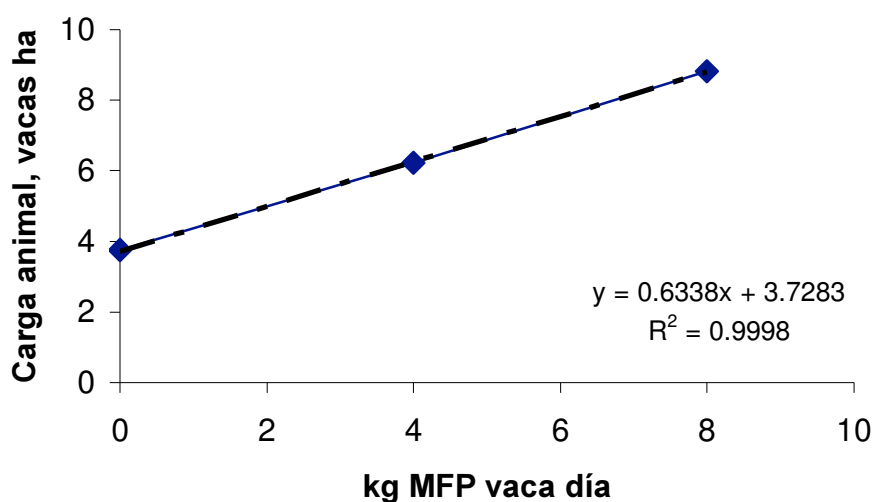


Figura 2. Efecto del suplemento de maíz fresco picado en la carga animal en vacas en pastoreo.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en que se desarrolló el estudio, suplementar con maíz fresco picado no ofreció beneficios en la producción individual ni la composición de la leche, pero sí favoreció un mayor consumo total de MS y menor consumo de forraje de la pradera. Suplementar con maíz fresco picado incrementó considerablemente la carga animal y, por tanto, la producción de leche por hectárea, aún cuando la tasa de sustitución fue moderada. Esto sugiere que es factible incrementar la eficiencia productiva mediante un buen manejo de la pradera.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)-México por la beca otorgada para realizar los estudios de Maestría, y a la Universidad Autónoma Chapingo-Mexico, a través del Módulo de Producción de Leche en Pastoreo por el apoyo brindado para la realización de esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Amendola R. D. 2002. A dairy system based on forages and grazing in temperate México. Chapingo University. Animal Science Department. México. PhD thesis Wageningen University, The Netherlands. 269 pp.
- AOAC. 1984. Official Methods of Analysis. 5^a ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, USA, 957 pp.
- Bargo F., L. D. Muller, J. E. Delahoy, and T. W. Cassidy. 2002. Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows grazing at two pasture allowance. *Journal of Dairy Science*, 85: 1777-1792.
- Bargo F., L. D. Muller, E. S. Kolver, and J. E. Delahoy. 2003. Invited review: Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. *Journal of Dairy Science*, 86: 1-42.
- Brinsko P.S. 1999. La glándula mamaria. p. 542-560. In J.G. Cunningham (ed) *Fisiología veterinaria*. Traducción al español de Fuentes H.V. y Planas G.H. 2^a ed. McGraw-Hill Interamericana, México.
- Church D.C. 1988. Fecal composition, mathematics of digestion balances and markers. p. 39-57. *In* D.C. Church (ed) *The Ruminant Animal Digestive: Physiology and Nutrition*. Prentice Hall, Englewood Clifs, New Jersey USA,
- Church D.C., W.G. Pond, y K.R. Pond. 2003. Alimentos para animales. p. 329-370. *In* *Fundamentos de nutrición y alimentación de animales*. Traducción al español: Pérez C. L. Editorial Limusa, México.
- Conchran W.G., K.M. Autrey and C.Y. Cannon. 1941. A double change over designs for Dairy Cattle feeding experiments. *Journal of Dairy Science*, 24:937-42

- Darby H.M. and J.G. Lauer. 2002. Harvest date and hybrid influence on corn forage yield, quality, and preservation. *Agronomy Journal*, 94:559-566.
- Delahoy E.J., L.D. Muller, F. Bargo, T.W. Cassidy, and L.A. Holden. 2003. Supplemental carbohydrate sources for lactating dairy cows on pasture. *Journal of Dairy Science*, 86: 906-915.
- Fike J.H. C.R. Staples, L.E. Sollenberger, J.E. Moore, and H.H. Head. 2002. Southeastern pasture-based dairy systems: housing, posilac, and supplemental silage effects on cow performance. *Journal of Dairy Science*, 85: 866-878.
- Fike J.H., C.R. Staples, L.E. Sollenberger, B. Macoon, and J.E. Moore. 2003. Pasture forages, supplementation rate, and stocking rate; effects on dairy cow performance. *Journal of Dairy Science*, 86:1268-1281.
- García E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. Enriqueta García de Miranda, México D.F., 217 pp.
- Geerken C.M., D. Calzadilla, y R. González. 1987. Aplicación de la técnica de dos marcadores para medir el consumo de pasto y la digestibilidad de la ración de vacas en pastoreo suplementadas con concentrado. *Pastos y forrajes*, 10: 266-273.
- Hernandez-Mendo O. and Leaver D. 2004. Effect of replacing time available for grazing with time available for eating maize silage and soyabean meal on milk yield and feeding behaviour in dairy cows. *Grass and Forage Science*, 59: 318-330.
- Hernandez-Mendo O. and Leaver J. D. 2006. Production and behavioural responses of high- and low-yielding dairy cows to different periods of access to grazing or to a maize silage/soyabean meal diet fed indoors. *Grass and Forage Science*, 61: 335-346.
- Holden L.A., L.D. Muller, T. Lykos, and T.W. Cassidy. 1995. Effect of corn silage supplementation on intake and milk production in cows grazing pasture. *Journal of Dairy Science*, 78: 154-160.
- Ingvartsen K.L. and J.B. Andersen. 2000. Integration of metabolism and intake regulation: a review focusing on periparturient animals. *Journal of Dairy Science*, 83:1573-1597.

- Kolver S.E. and L.D.Muller. 1998. Performance and nutrient intake of high producing Holstein cows consuming pasture or total mixed ration. *Journal of Dairy Science*, 81: 1403-1411.
- NRC. 2001. Nutrient requirement of dairy cattle. 7th revised edition. National Research Council, National Academy Press. Washington D.C., USA. pp 381.
- Mulligan F.J., P. Dillon, J.J. Callan, M.Rath, and F.P. O'Mara. 2004. Supplementary concentrate type affects nitrogen excretion of grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 87:3451-3460.
- Pulido, R. G., S. Espindola, A. Laverne, y H. Uribe. 2002. Suplementación con maíz molido o roleado al vapor y comportamiento productivo de vacas lecheras en pastoreo primaveral. *Archivos de Zootecnia*, 51: 397-400.
- Roche J. R. 2003. Effect of pregnancy on milk production and bodyweight from identical twin study. *Journal of Dairy Science*, 86: 777-783.
- Ruiz T.M., E. Bernal., and C.R. Staples. 1995. Effect of dietary neutral detergent fiber concentration and forage source on performance of lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 78:305-319.
- SAS Institute. 1999. SAS User's Guide: Statistics. 8th ed. Sas Inst. Inc., Cary, NC, USA.
- Sollenberger L.E., J.E. Moore, V.G. Allen, and C.G.S. Pedreira. 2005. Reporting forage allowance in grazing experiments. *Crop Science*, 45: 896-900.
- Tilley, J.M. and R.A. Terry. 1963. A two-stage technique for the in vitro digestion of forages crops. *Journal of British Grassland and Society*, 18:104-111.
- Van Keulen J., and B.A. Young. 1977. Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *Journal of Animal Science*, 44:282-287.
- Van Soest P.J., J.B. Robertson, and B.A Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Symposium: carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 74:3583-3597.
- 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.

Wilkerson A.V., B.P. Glenn, and K.R. McLeod. 1997. Energy and nitrogen balance in lactating cows fed diets containing dry or high moisture corn either rolled or ground form. *Journal of Dairy Science*, 80: 2487-2496.

Williams, C.H., D.J. David, and O. Lisma. 1962. The determination of chromic oxide in faeces samples by atomic absorption spectrophotometers. *Journal of Agriculture Science*, 59: 381-382.

8. IMPACTO ECONÓMICO Y CONSIDERACIONES FINALES

El aspecto económico es un rubro importante en todo sistema de producción, por lo que en esta sección se discute el impacto económico que el ofrecer maíz fresco picado (MFP) significó en la implementación del sistema de producción de leche cuando se usó dicho maíz como suplemento. Es importante enfatizar que no han sido tomados en cuenta los costos de depreciación del ganado, maquinaria, salarios, luz, agua, ni medicamentos; únicamente se está considerando el gasto por concepto de alimentación, es decir, maíz fresco picado + concentrado + forraje de la pradera.

El costo estimado del maíz fresco picado fue \$0.71 por kg de MS, considerando que la tonelada de maíz fresco picado fue de \$200.00, y dado que a los animales se les ofreció como kg de MS, y el maíz tenía 28% de MS en promedio, entonces se consideró que una tonelada en fresco tenía 280 kg de MS.

El costo por kg de concentrado cambia con el tratamiento (Cuadro 8), siendo más alto en aquellos que incluyen el maíz fresco picado, debido a que en estos tratamientos se utilizó pasta de soya para igualar el porcentaje de proteína en la dieta total (maíz fresco picado + concentrado + forraje de la pradera).

El costo por concepto de forraje de la pradera asciende a \$0.52 por kg de MS, el cual se deriva del costo total por establecimiento de la pradera (\$8473) y por la producción estimada de MS en 4 años (16240 kg de MS), tiempo aproximado que persiste la pradera.

El costo por concepto del maíz fresco picado y de forraje de la pradera se incrementan al aumentar su consumo de MS en los respectivos tratamientos. Al sumar el costo por consumo de maíz fresco picado, concentrado y forraje de la pradera, el resultado es considerablemente mayor en los tratamientos que incluyen maíz fresco picado. Sin embargo, debido a que la carga animal incrementa y, por lo tanto, también la producción de leche por hectárea, el ingreso por hectárea es mayor cuando se ofrece maíz fresco picado, a pesar de que la producción de leche individual no cambió entre tratamientos, y que el costo de alimentación por hectárea es 1.9 y 3.8 veces mayor cuando se ofrecen 4 y 8 kg de MS de maíz fresco picado que cuando no se ofrece (Cuadro 8).

Cuadro 8. Costos (en pesos) por hectárea por concepto de alimentación y producción de leche de vacas en pastoreo con diferentes niveles de un suplemento de maíz fresco picado.

Variable	Tratamiento		
	kg de MS ¹ de MFP ² vaca ⁻¹ día ⁻¹	0	4
Costo de concentrado, kg	2.45	2.82	3.97
Consumo de concentrado ⁴ , kg vaca ⁻¹ día ⁻¹	4.2	4.2	4.2
Costo de MFP, kg de MS	0.71	0.71	0.71
Consumo de MFP, kg de MS vaca ⁻¹ día ⁻¹	0	4	8
Costo de forraje de pradera, kg de MS	0.52	0.52	0.52
Consumo de forraje de pradera, kg de MS vaca ⁻¹ día ⁻¹	8.4	5.2	3.1
Costo consumo de concentrado, vaca ⁻¹ día ⁻¹	10.29	11.84	16.67
Costo consumo de MFP, vaca ⁻¹ día ⁻¹	0	2.84	5.68
Costo consumo de forraje de pradera, vaca ⁻¹ día ⁻¹	4.37	2.70	1.61
Costo consumo total, vaca ⁻¹ día ⁻¹	14.66	17.38	23.96
CA ³ , vacas ha	3.75	6.22	8.82
Costo consumo total, ha ⁻¹ día ⁻¹	54.98	108.10	211.33
Litros de leche, vaca ⁻¹ día ⁻¹	10.23	10.43	10.35
Litros leche ha, kg ⁻¹ d ⁻¹	38.36	64.88	91.29
Precio por litro leche	4.2	4.2	4.2
Ingreso por venta leche, ha ⁻¹ día ⁻¹	161.11	272.50	383.42
Ingreso neto, ha	106.13	164.40	172.09

¹MS, materia seca

²MFP, maíz fresco picado

³CA, carga animal

⁴El concentrado está expresado tal y como se ofreció

Si además consideramos que durante la investigación se utilizaron 6 hectáreas de pradera y si la carga animal obtenida fue 3.75, 6.22 y 8.82 vacas⁻¹ hectárea⁻¹, con los tratamientos 0, 4, y 8 kg de MS vaca⁻¹ día⁻¹, entonces, en esa misma extensión de tierra, es posible tener 15 y 30 vacas más con 4 y 8 kg de MS de maíz fresco picado, respectivamente (Cuadro 9). Esto indica que a pesar de que el costo de alimentación aumenta, también aumentan los litros de leche producidos en

un día, obteniendo mayores ingresos por concepto de la venta de la leche. Es interesante observar que la diferencia en el ingreso entre ofrecer 4 y 8 kg de MS de maíz fresco picado, es de apenas \$46 al día en las 6 hectáreas, indicando en primera instancia, que daría lo mismo ofrecer 4 u 8 kg de MS de maíz fresco picado. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que, para fines de esta investigación, la cantidad de pasta de soya de cada uno de los dos concentrados ofrecidos con estos niveles de maíz fresco picado fue distinta. Es decir, mientras que con 4 kg de MS de maíz fresco picado, el concentrado tenía 37% de pasta de soya (equivalente a 1.55 kg vaca⁻¹ día⁻¹), con 8 kg de MS de maíz fresco picado, tenía 80% de la misma pasta de soya (equivalente a 3.36kg vaca⁻¹ día⁻¹). Esto trae graves problemas económicos, ya que al ser la pasta de soya un ingrediente caro, el costo por kg de concentrado se incrementó considerablemente, sugiriéndose por tanto, buscar otras fuentes de proteína a menor costo.

Cuadro 9. Costos (en pesos) por concepto de alimentación y producción de leche de vacas en pastoreo con diferentes niveles de un suplemento de maíz fresco picado, en 6 hectáreas de pradera

Variable	Tratamiento		
	Kg de MS ¹ de MFP ² vaca ⁻¹ día ⁻¹		
	0	4	8
No. vacas	22.5	37.32	52.92
Costo consumo, día ⁻¹	329.85	648.62	1267.96
Litros leche, kg ⁻¹ día ⁻¹	230.18	389.25	547.72
Ingreso por venta leche, día ⁻¹	966.76	1634.85	2300.42
Ingreso neto ³ , día ⁻¹	636.91	986.23	1032.46
Ingreso neto, mes ⁻¹	19107.3	29586.9	30973.8

¹MS, materia seca

²MFP, maíz fresco picado

³Ingreso neto = ingreso por venta de leche, día – costo dieta, día

La recomendación que de este análisis resulta, es disminuir la cantidad de pasta de soya en el concentrado, no sólo para disminuir los costos de alimentación, sino también para bajar el porcentaje de proteína de la dietas totales, el cual fue alto en los tres tratamientos (22% con 0 y 4 kg, y 20% con 8 kg de MS de maíz fresco picado), especialmente si consideramos la baja producción de leche a nivel individual. Por lo anterior, se puede afirmar que, aunque no se realizó un análisis económico profundo, debido a que se necesitaba una base de datos mayor, ofrecer maíz fresco picado es económicamente viable, ya que es posible producir más litros de leche por hectárea, por efecto de un incremento en la carga animal. Este beneficio sería aún mayor, si se usaran animales en los primeros estadios de producción.

9. LITERATURA GENERAL CITADA

- Albarrán P. B. 2002. Evaluación de la inclusión de ensilado de maíz y alimento concentrado en la alimentación de vacas lecheras en pastoreo en sistemas de producción de leche en pequeña escala en el valle de Toluca, México. Tesis de maestría. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Amendola R. D. 2002. A dairy system based on forages and grazing in temperate México. Chapingo University. Animal Science Department. México. PhD thesis Wageningen University, The Netherlands. 269 pp.
- Ames D.R., and D.E. Ray. 1983. Environmental manipulation to improve animal productivity. *Journal of Animal Science*, 57:209-220.
- AOAC. 1984. Official Methods of Analysis. 5^a ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, EE.UU
- Arieli A., G. Adin, and I. Bruckental. 2004. The effect of protein intake on performance of cows in hot environmental temperatures. *Journal of Dairy Science*, 87: 620-629.
- Arriaga J.C., O.A. Espinoza, P.B. Albarrán, y O.O. Castelán. 1999. Producción de leche en pastoreo de praderas cultivadas: una alternativa para el Altiplano Central. *Ciencia Ergo Sum*, 6: 290-300.
- Bargo F., L. D. Muller, J. E. Delahoy, and T. W. Cassidy. 2002a. Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows grazing at two pasture allowance. *Journal of Dairy Science*. 85: 1777-1792.
- Bargo F., L. D. Muller, J. E. Delahoy, and T. W. Cassidy. 2002b. Performance of high producing dairy cows with three different feeding systems combining pastures and atotal mixed rations. *Journal of Dairy Science*. 85: 2948-2963.
- Bargo F., L.D. Muller, E.S. Kolver, and J.E. Delahoy. 2003a *Invited review*: production and digestión of supplemented dairy cows on Pasture. *Journal of Dairy Science*, 86: 1-42.
- Bargo F. G.A. Varga, L.D. Muller, and E.S. Kolver. 2003b. Pasture intake and substitution rate effects on nutrient digestion and nitrogen metabolism during continuous culture fermentation. *Journal of Dairy Science*, 86:1330-1340.

- Benatti P., G. Peluso, R. Nicolai, and M. Calvani. 2004. Polyunsaturated fatty acids: biochemical, nutritional and epigenetic properties, *Journal of the American Collage of Nutrition*, 23: 281-302.
- Brinsko P.S. 1999. La glándula mamaria. p. 542-560. In J.G. Cunningham (ed) *Fisiología veterinaria. Traducción al español de Fuentes H.V. y Planas G.H. 2ª ed. McGraw-Hill Interamericana, México.*
- Castro C.L. 2003. Perspectivas de la red de leche de bovino en México 2003. FIRA-Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. Dirección de Análisis de Cadenas Productivas y Servicios Técnicos Especializados. México.
- Church D.C. 1988. Fecal composition, mathematics of digestion balances and markers. p. 39-57. *In* D.C. Church (ed) *The Ruminant Animal Digestive: Physiology and Nutrition.* Prentice Hall, Englewood Clifs, New Jersey USA,
- Church D.C., W.G. Pond, y K.R. Pond. 2003. Alimentos para animales. p. 329-370. *In* *Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. Traducción al español: Pérez C. L. Editorial Limusa, México.*
- Conchran W.G., K.M. Autrey and C.Y. Cannon. 1941. A double change over designs for Dairy Cattle feeding experiments. *Journal of Dairy Science*, 24:937-42.
- Crasta O.R., W.J. Cox, and J.H. Cherney. 1997. Factors affecting maize forage quality development in the northeastern USA. *Agronomy Journal*, 89: 251-253.
- Darby H.M., and J.G. Lauer. 2002. Harvest date and hybrid influence on corn forage yield, quality, and preservation. *Agronomy Journal*, 94: 559-566.
- Delahoy E.J., L.D. Muller, F. Bargo, T.W. Cassidy, and L.A. Holden. 2003. Supplemental carbohydrate sources for lactating dairy cows on pasture. *Journal of Dairy Science*, 86: 906-915.
- Dowswell C.R., R.L. Paliwal, and R.P. Cantrell. 1996. *Maize in the third world.* Westview press. p. 1-33.
- Flores M. 1975. *Bromatología Animal.* Editorial Limusa. México, D.F. pp 683.
- Fike J.H. C.R. Staples, L.E. Sollenberger, J.E. Moore, and H.H. Head. 2002. Southeastern pasture-based dairy systems: housing, posilac, and supplemental silage effects on cow performance. *Journal of Dairy Science*, 85: 866-878.

- Fike J.H., C.R. Staples, L.E. Sollenberger, B. Macoon, and J.E. Moore. 2003. Pasture forages, supplementation rate, and stocking rate; effects on dairy cow performance. *Journal of Dairy Science*, 86:1268-1281.
- Flores M. J. 1975. *Bromatología animal*. Editorial Limusa. México. p. 245-249.
- García E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Enriqueta García de Miranda, México D.F., 217 pp.
- Geerken C.M., D. Calzadilla, y R. González. 1987. Aplicación de la técnica de dos marcadores para medir el consumo de pasto y la digestibilidad de la ración de vacas en pastoreo suplementadas con concentrado. *Pastos y forrajes*, 10: 266-273.
- Gloy B.A., L.W. Tauer, and W. Knoblauch. 2002. Profitability of grazing versus mechanical forage harvesting on New York dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 85:2215-2222.
- Graf M.C., M. Kreuzer, and F. Dohme. 2005. Effects of supplemental hay and corn silage versus full-time grazing on ruminal pH and chewing activity of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 88: 711-725.
- Hernandez-Mendo O. and Leaver D. 2004. Effect of replacing time available for grazing with time available for eating maize silage and soyabean meal on milk yield and feeding behaviour in dairy cows. *Grass and Forage Science*, 59(4): 318-330.
- Hernandez-Mendo O. and Leaver J. D. 2006. Production and behavioural responses of high- and low-yielding dairy cows to different periods of access to grazing or to a maize silage/soyabean meal diet fed indoors. *Grass and Forage Science*, 61: 335-346.
- Hernandez-Mendo O., M.A.G. von Keyserlingk, D.M. Veyra, and D.M. Weary. 2007. Effects of pasture on lameness in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 90:1209-1214.
- Hodgson J. 1990. *Grazing management Science into practice*. Longman, Scientific & Technical. United Kingdom.

- Hodgson J. and I. Brookes. 1999. Nutrition of grazing animals. p. 117-132. *In* White J. and Hodgson J. (ed). New Zealand Pasture and crop science. Oxford University Press. Oxford, United Kingdom.
- Holden L.A., L.D. Muller, T. Lykos, and T.W. Cassidy. 1995. Effect of corn silage supplementation on intake and milk production in cows grazing pasture. *Journal of Dairy Science*, 78: 154-160.
- Huber J.T., and L. Kung. 1981. Protein and nonprotein utilization in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 64:1170-1195
- Ingvarsen K.L. and J.B. Andersen. 2000. Integration of metabolism and intake regulation: a review focusing on periparturient animals. *Journal of Dairy Science*, 83:1573-1597.
- Johnson C.R., D.L. Lalman, M.A. Brown, L.A. Appeddu, D.S. Buchanan, and R.P. Wettemann. 2003. Influence of milk production potential on forage dry matter intake by multiparous and primiparous Brangus females. *Journal of Animal Science*, 81: 1837-1846.
- Jung H.G. and M.D. Casler. 2006. Maize stean tissue: impact of development on cell wall degradability. *Crop Science*, 46:1801-1806.
- Karsten H.D., G.W. Roth, and L.D. Muller. 2003. Evaluation of corn at two stages of development for grazing heifers. *Agronomy Journal*, 95: 870-877.
- Kennedy J., P. Dollon, L.Delaby, P.Faverdin, G.Stakelum, and M. Rath. 2003. Effect of genetic merit and concentrate supplementation on grass intake and milk production with Holstein Fresian dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 86: 610-621.
- Kim Y.J., R.H. Liu, D.R. Bpnd, and J.B. Russell. 2000. Effect of linoleic acid concentration on conjugated linoleic acid production by *Butyrivibrio fibrisolvens* A38. *Applied and Enviromental Microbiology*, 66:5226-5230.
- Kolver S.E. and L.D.Muller. 1998. Performance and nutrient intake of high producing Holstein cows consuming pasture or total mixed ration. *Journal of Dairy Science*, 81: 1403-1411

- Leaver J.D. 1981. The contribution of grass and conserved forages to the nutrient requirements for milk production. In: W. Haresing (editor), *Recent Advances in Animal Nutrition*, Butterworths, London, pp. 71-78.
- Leaver J.D. 1987. The potencial to increase production efficiency from animal-pasture systems. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 47:7-12.
- Lemus R.V., J.G. García-Muñíz, S.G. Lugo L., E. Valencia G., y B. Villagrán V. 2002. Desempeño de una pradera irrigada en clima templado, establecida para el pastoreo con bovinos lecheros. *Veterinaria México* 33: 11-26.
- McCall D.G., and D.A. Clark. 1999. Optimized dairy grazing systems in the Northeast United States and New Zealand. II. System analysis. *Journal of Dairy Science*, 82: 1808-1816.
- Mulligan F.J., P. Dillon, J.J. Callan, M.Rath, and F.P. O'Mara. 2004. Supplementary concentrate type affects nitrogen excretion of grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 87:3451-3460.
- NRC. 2001. Nutrient requeriment of dairy cattle. 7th revised edition. Nacional Research Council, Nacional Academy Press. Washington D.C., U.S.A.
- Núñez H.G., E.F. Contreras, y R.F. Contreras. 2003. Características agronómicas y químicas importantes en híbridos de maíz para forraje con alto valor energético. *Técnica Pecuaria México*, 41: 37-48.
- Pariza M.W., Y. Park, and M.E. Cook. 2000. Mechanisms of action of conjugated linoleic acid: evidence and speculation. *Society for Experimental Biology and Medicine*, 223:8-13.
- Parodi P.W. 1997. Cows' milk fat components as potencial anticarcinogenic agents. *Journal of Nutrition*, 127: 1055-1060.
- Phillips C.J.C. 1988. The use of conserved forage as supplement for grazing dairy cows. *Grass and Forage Science*, 43:215-230.
- Pulido, R. G., S. Espindola, A. Laverne, y H. Uribe. 2002. Suplementación con maíz molido o roleado al vapor y comportamiento productivo de vacas lecheras en pastoreo primaveral. *Archivos de Zootecnia*, 51: 397-400.

- Pulido R. and J.D. Leaver. 2003. Continuous and rotational grazing of dairy cows- the interactions of grazing system with level of milk yield, sward height and concentrate level. *Grass and Forage Science*, 58:265-275.
- Reis B.R. 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.
- Roche J.R. 2003. Effect of pregnancy on milk production and bodyweight from identical twin study. *Journal of Dairy Science*, 86: 777-783.
- Ruiz T.M., E. Bernal., and C.R. Staples. 1995. Effect of dietary neutral detergent fiber concentration and forage source on performance of lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 78:305-319.
- SAGARPA. 2004. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Situación actual de la producción de leche de bovino en México. Coordinación General de Ganadería. México. <http://www.sagarpa.gob.mx/Dgg>.
- Sanderson M.A., K.J.Soder, L.D. Muller, K.D. Klement, R.H. Skinner and S.C. Goslee. 2005. Forage mixture productivity and botanical composition in pastures grazed by dairy cattle. *Agronomy Journal*, 91: 1465-1471.
- SAS Institute. 1999. SAS User's Guide: Statistics. 8th ed. Sas Inst. Inc., Cary, NC, USA.
- Soder K.J., M.A. Sanderson, J.L. Stack, and L.D. Muller. 2006. Intake and performance of lactating cows grazing diverse forage mixtures. *Journal of Dairy Science*, 89: 2158-2167.
- Sollenberger L.E., J.E. Moore, V.G. Allen, and C.G.S. Pedreira. 2005. Reporting forage allowance in grazing experiments. *Crop Science*, 45: 896-900.
- Soriano D.F., C.E. Polan, and C.N. Miller. 2000. Milk production and composition, rumen fermentation parameters, and grazing behaviour of dairy cows supplemented with different forms and amounts of corn grain. *Journal of Dairy Science*, 83: 1521-1529.
- Stockdale R., G. Walker, W. Wales, D. Dalley, A. Birkett, Z. Shen, and P. Doyle. 2003. Influence of pasture and concentrates in the diet of grazing dairy cows on the fatty acid composition of milk. *Journal of Dairy Research*, 70: 267-276.

- Tilley, J.M. and R.A. Terry. 1963. A two-stage technique for the in vitro digestion of forages crops. *Journal of British Grassland and Society*, 18:104-111.
- Tracy B.F. and D.B. Faulkner. 2006. Pasture and cattle responses in rotationally stocked grazing systems sown with differing levels of species richness. *Crop Science*, 46: 2062-2068.
- Valle del M.C. y A.G. Álvarez. 1997. La producción de leche en México en la encrucijada de la crisis y los acuerdos del TLCAN. <http://136.142.158.105/LASA97/delvrialvarez.pdf>.
- Van Keulen J., and B.A. Young. 1977. Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *Journal of Animal Science*, 44:282-287.
- Van Soest P.J., J.B. Robertson, and B.A Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Symposium: carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 74:3583-3597.
- 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.
- Washburn S.P., S.L. White, J.T. Green, Jr., and G.A. Benson. 2002. Reproduction, mastitis, and body condition of seasonally calved Holstein and Jersey cows in confinement or pasture systems. *Journal of Dairy Science*, 85:105-111.
- West J.W., B.G. Mullinix, and J.K. Bernard. 2003. Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake and milk yield of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 86:232-242.
- White S.L., J.A. Bertrand, M.R. Wade, S.P. Washburn, J.T. Green, and T.C. Jenkins. 2001. *Journal of Dairy Science*, 84:2295-2301.
- White J., J. Millner, and D.J. Moot. 1999. Nutrition of grazing animals. In: White J. and Hodgson J. , editors. *New Zealand Pasture and Crop Science*. Oxford University Press. Oxford, United Kingdom. p 117-132.
- Wilkerson A.V., B.P. Glenn, y K.R. McLeod. 1997. Energy and nitrogen balance in lactating cows fed diets containing dry or high moisture corn either rolled or ground form. *Journal of Dairy Science*, 80: 2487-2496.

- Williams C.H., D.J. David, and O. Lisma. 1962. The determination of chromic oxide in faeces samples by atomic spectrophotometry. *Journal of Agricultural Science (Camb.)*, 59: 381-382.
- Wu Z., V.R. Kanneganti, L.J. Massingill, M.C. Wiltbank, R.P. Walgenbach, and L.D. Satter. 2001a. Milk production of fall-calving dairy cows during summer grazing of grass or grass-clover pasture. *Journal of Dairy Science*, 84: 1166-1173.
- Wu Z., L.J. Massingill, R.P. Walgenbach, and L.D. Satter. 2001b. Cracked dry or finely ground high moisture shelled corn as a supplement for grazing cows. *Journal of Dairy Science*, 84:2227-2230.

10. APÉNDICE

10.1. Ejemplo de consumo de forraje de pradera estimado con marcadores

En el presente experimento, el consumo de forraje se estimó utilizando la técnica de dos marcadores, con óxido de cromo (Cr_2O_3) como marcador externo y cenizas insolubles en ácido (CIA) como marcador interno (Geerken *et al.*, 1987). Para calcular la producción diaria fecal, se usó la fórmula que Church (1988) describe.

A cada vaca se le suministraron 16 g de óxido de cromo (Cr_2O_3), que es la forma en la que proporciona, pero la cantidad real de cromo otorgado a cada una de ellas fue de $10.9472 \text{ g día}^{-1}$. Para obtener este dato, fue necesario realizar las siguientes operaciones, tomando en cuenta la masa atómica de los dos elementos que componen el óxido de cromo: 52.01 para el cromo y 16.00 para el oxígeno:

Óxido de cromo (Cr_2O_3):

$$2\text{Cr} = 2 \times 52.01 = 104.02$$

$$3\text{O} = 3 \times 16.00 = 48.00$$

$$\text{Masa molecular} = 152.02$$

Conociendo la masa molecular del óxido de cromo, y la masa atómica de cada uno de sus componentes, ya multiplicados por sus respectivos coeficientes (2 para el cromo y 3 para el oxígeno), obtenemos el porcentaje de cada uno de ellos en el compuesto, utilizando una regla de tres:

$$\% \text{ en el compuesto} = ((\text{masa atómica del elemento} \times 100) / \text{masa molecular})$$

Sustituyendo:

$$\% \text{ de Cr} = ((104.02 \times 100) / 152.02) = 68.42$$

$$\% \text{ de O} = ((48.00 \times 100) / 152.02) = 31.58$$

Por último, para obtener la cantidad real de cromo suministrado a cada vaca, nuevamente se realiza una regla de tres, ahora considerando la cantidad diaria de óxido de cromo suministrado a cada vaca y el porcentaje de cromo en dicho compuesto:

$$\text{Cr, g día}^{-1} = ((\% \text{ de Cr en el Cr}_2\text{O}_3 \times \text{cantidad de Cr}_2\text{O}_3 \text{ ofrecido vaca día}^{-1}) / 100)$$

Sustituyendo:

$$\text{Cr, g vaca}^{-1} \text{ día}^{-1} = ((68.42 \times 16) / 100) = 10.9472$$

La concentración del marcador en heces en una vaca fue de 21.9 µg/ml, lo que equivale a 0.00219 g g⁻¹ de MS de heces, por lo que ahora ya se puede calcular la producción fecal, de acuerdo con la fórmula descrita por Church (1988):

$$\text{Producción de MS fecal, g día}^{-1} = \frac{\text{Dosis del marcador, g día}^{-1}}{\text{Concentración del marcador, g g}^{-1} \text{ de MS fecal}}$$

Sustituyendo:

$$\text{Producción de MS fecal, g día}^{-1} = \frac{10.9472 \text{ g día}^{-1}}{0.00219 \text{ g g}^{-1} \text{ de MS fecal}}$$

$$\text{Producción de materia fecal, g día}^{-1} = 4998.72$$

El consumo de forraje de la pradera (g MS día⁻¹) de cada vaca se estimó con la fórmula que proponen Geerken *et al.* (1987):

$$\text{Consumo MS pradera (g día}^{-1}\text{)} = \frac{\{(CIA)_H \times PTH\} - [\{(CIA)_C \times CTC\} - \{(CIA)_M \times CTM\}]}{(CIA)_P}$$

Donde:

(CIA)_H = Concentración de cenizas insolubles en ácido (CIA) en heces (g kg⁻¹ MS)

PTH = Producción total de heces obtenida por la fórmula descrita anteriormente, usando Cr₂O₃ como marcador externo (g día⁻¹)

(CIA)_C = Concentración de CIA del concentrado (g kg⁻¹ MS)

CTC = Consumo total del concentrado (g)

(CIA)_M = Concentración de CIA en el maíz picado fresco (g kg⁻¹ MS)

CTM = Consumo total de maíz picado fresco (g día⁻¹)

(CIA)_P = Concentración de CIA en el forraje de la pradera (g g⁻¹ MS)

La concentración de cenizas insolubles en ácido se determinó de acuerdo a la técnica de Van Keulen y Young (1977), tanto de las heces como de cada uno de los alimentos que consumieron las vacas (concentrado + maíz fresco picado + forraje de la pradera).

Sustituyendo:

$$\text{Cons MS pradera (g día}^{-1}\text{)} = \frac{\{(83.19) \times 4998.72\} - [\{(1.5) \times 1595.28\} - \{(29.86) \times 4000\}]}{(52.54)}$$

$$\text{Cons MS pradera (g día}^{-1}\text{)} = 5710.84$$