



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

“RESPUESTA PRODUCTIVA DE VACAS LECHERAS EN PASTOREO  
DE PASTIZALES NATIVOS A LA SUPLEMENTACIÓN CON UN  
CONCENTRADO EXPERIMENTAL, EN COMPARACIÓN CON UN  
CONCENTRADO BALANCEADO COMERCIAL EN UN SISTEMA DE  
PRODUCCIÓN DE LECHE EN PEQUEÑA ESCALA EN EL ESTADO DE  
HIDALGO”

# TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

P R E S E N T A:  
**OMAR NARVÁEZ URIBE**

**ASESORES:**

**Dr. CARLOS MANUEL ARRIAGA JORDÁN**  
**Dr. FELIPE LÓPEZ GONZÁLEZ**  
**Dr. ERNESTO MORALES ALMARÁZ**

**REVISORES:**

M. en C. Luis Roberto García Winder  
M. en C. Arturo Víctor Gómez González



Toluca, México, Febrero de 2020.

## **RESUMEN**

El objetivo de este trabajo fue evaluar y comparar el uso de un concentrado experimental a base de pasta de canola y mazorca de maíz molida más el pastoreo de pastizales nativos contra un concentrado comercial más el pastoreo de pastizales nativos para la alimentación de vacas lecheras de un sistema de producción de leche a pequeña escala, identificando el valor nutritivo de ambas dietas y su impacto en la producción y composición química de la leche así como el impacto en los costos de producción. Se utilizaron 10 vacas multíparas con un rendimiento de leche promedio de 12 kg. Las diez vacas fueron divididas en dos grupos de cinco vacas cada uno, bajo un diseño experimental doble reversible ABA x BAB. A un grupo de vacas se le suministró un concentrado experimental (CEXP) compuesto por 35 % de canola y 65 % de mazorca molida el cual contiene aproximadamente un 17% de proteína cruda (6 kg/vaca), al otro grupo se le suministró un concentrado comercial comúnmente utilizado en la región con un 18% de proteína cruda (6 kg/vaca). Ambos grupos pastorearon dos pastizales nativos con una duración de 4.5 horas por pastizal. Se evaluó la altura, masa herbácea composición química del pastizal y digestibilidad In vitro. Se midió el rendimiento y composición de la leche, peso vivo y condición corporal de las vacas. Además, se calcularon los costos de alimentación y los ingresos por litro de leche vendido. No existieron diferencias estadísticas significativas ( $P>0.05$ ) en ninguna de las variables evaluadas para los pastizales. No hubo diferencias estadísticas significativas ( $P>0.05$ ) en rendimiento, composición química de la leche, peso y condición corporal. Sin embargo el contenido de grasa de la leche para el TxA fue mayor con 36.13 g/l contra 35.26 g/l del TxB. Los costos de alimentación fueron menores para el TxA y el ingreso por venta leche fue mayor también para el TxA. Se concluye que el uso del CEXP, aunado a la utilización de pastizal nativo como un recurso forrajero; permitió disminuir los costos de alimentación, así como permitir un mayor ingreso por la venta de leche para la UP con relación a la dieta tradicional de concentrado comercial.

## INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA .....	ii
RESUMEN.....	iii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1 Escenario internacional de la producción de leche de bovino .....	3
2.2 Panorama de la producción de leche bovina en México .....	4
2.3 Sistemas de producción de leche en pequeña escala.....	5
2.4 Pastizales Nativos .....	7
2.5 Uso de los Pastizales Nativos como recurso para la alimentación del ganado bovino.....	10
2.6 Suplementación con concentrados a vacas lecheras en pastoreo .....	13
3. JUSTIFICACIÓN.....	17
4. HIPÓTESIS.....	18
5. OBJETIVOS.....	19
5.1 Objetivo general .....	19
5.2 Objetivos específicos.....	19
6. MATERIAL.....	20
6.1 Material biológico.....	20
6.1.1 Animales .....	20
6.1.2 Tratamientos .....	21
6.1.3 Pastizales .....	21
6.1.4 Material de campo.....	22
6.1.5 Material de laboratorio.....	22
7. MÉTODO .....	23
7.1 Medición de la altura del pastizal e identificación de especies.....	23
7.2 Masa herbácea.....	23
7.3 Composición química de los alimentos .....	24

7.3.1 Determinación del contenido de proteína cruda (PC).....	24
7.3.2 Estimación de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA).....	25
7.3.3 Determinación del contenido de cenizas .....	25
7.4 Evaluación de la digestibilidad <i>in vitro</i> .....	25
7.5 Estimación del contenido de energía metabolizable.....	25
7.6 Rendimiento de leche .....	26
7.7 Análisis de la composición química de la leche .....	26
7.8 Evaluación de la condición corporal de las vacas .....	26
7.9 Costos de producción .....	27
7.10 Análisis estadístico .....	27
8. LÍMITE DE ESPACIO .....	29
9. LÍMITE DE TIEMPO.....	30
10. RESULTADOS .....	31
10.1 Descripción de los pastizales .....	31
10.2 Altura del pastizal .....	32
10.3 Masa herbácea .....	32
10.4 Análisis bromatológico de los alimentos .....	32
10.4.1 Pastizal nativo .....	32
10.4.2 Concentrados .....	33
10.5 Rendimiento productivo de las vacas .....	34
10.6 Composición química de la leche .....	35
10.7 Condición corporal.....	36
10.8 Análisis económico.....	37
10.8.1 Costos de alimentación .....	37
10.8.2 Ingresos por venta de leche .....	38
11. DISCUSIÓN.....	39
11.1 Altura del pastizal .....	39
11.2 Masa herbácea.....	39

11.3	Análisis bromatológico de los pastizales .....	39
11.3.1	Proteína cruda.....	39
11.3.2	Fibra detergente neutro y Fibra detergente ácido .....	40
11.3.3	Digestibilidad in vitro .....	40
11.4	Rendimiento productivo de las vacas .....	41
11.5	Composición química de la leche .....	42
11.5.1	Grasa .....	42
11.5.2	Proteína.....	43
11.6	Condición corporal.....	44
11.7	Análisis económico.....	44
12.	CONCLUSIONES .....	46
14.	LITERATURA CITADA .....	47

## **INDICE DE CUADROS, GRAFICAS Y FIGURAS**

Cuadro 1. Entidades Federativas más importantes en participación (%) en la producción de leche en México .....	5
Cuadro 2. Principales Gramíneas del Estado de Hidalgo .....	12
Cuadro 3. Secuencia de los tratamientos bajo un diseño doble reversible.....	21
Cuadro 4. Gramíneas identificadas en los pastizales experimentales .....	31
Cuadro 5. Altura de los pastizales .....	32
Cuadro 6. Masa herbácea .....	32
Cuadro 7. Análisis nutricional de los pastizales evaluados.....	33
Cuadro 8. Análisis nutricional de los concentrados utilizados en el experimento ..	34
Cuadro 9. Rendimiento de leche promedio por tratamiento.....	34
Cuadro 10. Cantidad promedio de grasa en leche por tratamiento .....	35
Cuadro 11. Cantidad promedio de proteína en leche por tratamiento .....	36
Cuadro 12. Índice de condición corporal promedio de las vacas por tratamiento ..	37
Cuadro 13. Costos de alimentación por tratamiento.....	37
Cuadro 14. Costo por kilogramo de leche producida por tratamiento .....	38
Cuadro 15. Ingresos de la producción de leche por tratamiento.....	38
Cuadro 16. Comparación entre los resultados de grasa y proteína por tratamiento con lo estipulado por la NMX-F-700, COFOCALEC-2004 .....	42
Figura 1. Extensión y distribución de los pastizales en México .....	8
Figura 2. Conjunto de datos vectoriales de Uso de suelo y Vegetación del estado de Hidalgo.....	8
Gráfica 1. Comportamiento de la producción de leche por secuencia.....	31
Gráfica 2. Comportamiento de la cantidad de grasa por secuencia de tratamientos.....	32

## **1. INTRODUCCIÓN**

La producción de leche en México se lleva a cabo en tres sistemas: el sistema a gran escala localizado principalmente en el centro-norte del país, la lechería tropical ubicada en las costas, y el sistema a pequeña escala en el altiplano (Espinoza *et al.*, 2005).

Estos sistemas de producción desde el punto de vista tecnológico, agroecológico y socioeconómico, incluyendo la gran diversidad de climas regionales y características de tradiciones y costumbres de las poblaciones; hacen muy heterogénea la producción de leche de bovino del país. Sin embargo, dicha producción lechera es la tercera actividad más importante dentro de la rama de la industria de alimentos del país (Secretaría de Economía, 2012; Hernández *et al.*, 2013).

Dichos sistemas a pequeña escala tienen diversas estrategias de alimentación para el ganado, entre los cuales se encuentra el pastoreo de pastizales nativos principalmente durante la época de lluvias, uso de praderas cultivadas para pastoreo o para corte y acarreo, además el uso de rastrojos y más recientemente de ensilado de maíz y otros forrajes, además de alimentos concentrados balanceados comerciales (Alfonso *et al.*, 2012; Rayas *et al.*, 2012; Cuevas *et al.*, 2007).

Los pastizales son particularmente adecuados para la alimentación del ganado bovino, así como de otras especies pecuarias y de hecho la mayor parte de la superficie correspondiente a este tipo de vegetación se dedica a tal propósito (Rzedowski, 2006). Sin embargo, el pastizal por sí solo no puede cubrir los requerimientos nutricionales de las vacas lecheras, por lo que se tiene que hacer uso de suplementos concentrados, los cuales se pueden adquirir como alimentos balanceados comerciales a muy alto costo o mezclas de concentrados energéticos

y proteicos que pueden ser elaborados en la unidad de producción (Alfonso *et al.*, 2012; Chamberlain y Wilkinson, 2002).

En este sentido, surge la intención de desarrollar un trabajo de investigación mediante el cual sea posible identificar y comparar la contribución de los alimentos balanceados comerciales y los concentrados preparados sobre la producción y composición química de la leche de vacas que pastorean pastizales nativos, a través de evaluar la calidad nutritiva de estos, en una unidad de producción representativa del sistema de producción de leche en pequeña escala de la región suroeste del Estado de Hidalgo.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Escenario internacional de la producción de leche de bovino**

En las últimas décadas el consumo mundial de leche y sus derivados se ha ido incrementando principalmente en los países en desarrollo.

Se estima que la población mundial consume anualmente cerca de 500 millones de toneladas en equivalente leche en diversas presentaciones para alimento humano. El 85% corresponde a leche de vaca y el resto a otras especies (búfala 11%, cabra 2% y otras 2%).

Los países desarrollados tienden a una ligera disminución de sus consumos per-cápita (Holanda 329 kg, EUA 254 kg, Nueva Zelanda 210 kg). Actualmente consumen en promedio el equivalente a 200 kg de leche por habitante al año.

En los países en desarrollo el consumo per-cápita tiende a incrementarse por arriba del crecimiento demográfico. Hoy día está muy por debajo de los 188 kg recomendado por FAO (China 8 kg, Indonesia 5 kg, Perú 55 kg, México 97 kg, Brasil 128 kg). Actualmente, el promedio de consumo por habitante es de 44 kg, menos de la cuarta parte de la cantidad recomendada (Secretaría de Economía, 2012).

La demanda de leche y productos lácteos en los países en desarrollo está creciendo como consecuencia del aumento de los ingresos, el crecimiento demográfico, la urbanización y los cambios en los regímenes alimentarios. La creciente demanda de leche y productos lácteos ofrece a los productores (y a otros actores de la cadena láctea) de las zonas periurbanas de alto potencial productivo una buena oportunidad para mejorar sus medios de vida mediante el aumento de la producción (OCDE-FAO, 2017).

## **2.2 Panorama de la producción de leche bovina en México**

En México la producción de leche de bovino es muy heterogénea desde el punto de vista tecnológico, agroecológico y socioeconómico, incluyendo la gran variedad de climas regionales y características de tradiciones y costumbres de las poblaciones. Sin embargo, la industria de productos lácteos es la tercera actividad más importante dentro de la rama de la industria de alimentos en México, y depende de la disponibilidad de la leche nacional su crecimiento (Secretaría de Economía, 2012).

Al cierre de 2017, la producción de leche de bovino alcanzó 11 mil 807 millones de litros, mostrando un incremento de 1.7% (199 millones 156 mil litros) con respecto al 2016 (SIAP-SAGARPA, 2017).

La producción de leche de bovino en México se realiza mediante tres sistemas, el de gran escala ubicado principalmente en el centro-norte del país, la lechería tropical localizada en las costas y la lechería en pequeña escala en el altiplano. El sistema de producción en pequeña escala es de gran importancia, ya que de acuerdo con Espinoza *et al.* (2007), estos sistemas representan el 78.6% de las unidades de producción de leche especializadas que corresponden a hatos con 3<sup>a</sup> 35 vacas de ordeño.

La producción lechera en México se desarrolla en todo su territorio, pero durante el periodo de 2015 a 2017 se concentró en cuatro Estados, los cuales contribuyeron conjuntamente con el 50% de la producción nacional en este período, dichos estados son: Jalisco, Coahuila, Durango y Chihuahua (LACTODATA, 2018). Siguiendo en orden de importancia de los principales Estados productores de leche en el país y en dicho periodo, se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Entidades Federativas más importantes en participación (%) en la producción de leche en México (LACTODATA, 2018)

<b>Entidad</b>	<b>Participación (%) en la producción 2015-2017</b>
<b>Jalisco</b>	19.2
<b>Coahuila de Zaragoza</b>	11.9
<b>Durango</b>	10.0
<b>Chihuahua</b>	9.1
<b>Guanajuato</b>	7.0
<b>Veracruz de Ignacio de la Llave</b>	6.2
<b>Puebla</b>	3.9
<b>México</b>	3.9
<b>Aguascalientes</b>	3.5
<b>Chiapas</b>	3.7
<b>Hidalgo</b>	3.6
<b>Querétaro de Arteaga</b>	3.3

### 2.3 Sistemas de producción de leche en pequeña escala

Los sistemas de producción de leche en pequeña escala pueden definirse como aquellas unidades de producción que cuentan con un máximo de 35 vacas y un mínimo de 3 más sus reemplazos; a su vez, se encuentran establecidos en superficies de tierra pequeñas y emplean en su mayoría mano de obra familiar (Espinoza *et al.*, 2007; SAGARPA e INIFAP, 2010). El ganado utilizado es principalmente de la raza Holstein con cruces con Pardo suizo y criollo (Bernal *et al.*, 2007).

Los animales lecheros se alimentan de hierba, residuos de cultivos y forraje cultivado. No se proporciona alimentación suplementaria más que cuando resulta viable (FAO, 2018). Sin embargo en México, específicamente en el centro del país, la suplementación con concentrados es parte del sistema de alimentación, y en ocasiones superando las cantidades recomendadas, especialmente durante la época de sequía (Arriaga *et al.*, 2002) Por otro lado, el pastoreo es la base de la alimentación en estas regiones, específicamente en el estado de Hidalgo donde el 69.9% de los productores basa su sistema de alimentación en el pastoreo (Cuevas *et al.*, 2007).

La venta de leche proporciona ingresos para la familia, que se complementan o no con otros generados por diversas actividades dentro de la unidad de producción o fuera de ésta, en trabajos asalariados en la ciudad, además de evitar la migración de los productores a las ciudades y a Estados Unidos de América (Espinoza *et al.*, 2005).

Es importante destacar que los altos costos de alimentación del ganado es uno de los principales problemas que enfrentan los sistemas de producción de leche en pequeña escala, principalmente por la compra de concentrados comerciales y forrajes externos a la unidad de producción, representando hasta el 70% de los costos de alimentación (Espinoza *et al.*, 2007). Aunque hay trabajos sobre estrategias de alimentación a bajo costo que han mostrado la viabilidad y sustentabilidad de dichos sistemas de producción de leche en el Estado de México (Arriaga *et al.*, 2002) y nulos en Hidalgo, los trabajos han sido enfocados al pastoreo de praderas y a la producción y conservación de forrajes cultivados, pero no hay información suficiente sobre la importancia de los pastos nativos como fuente de alimentación del ganado bovino productor de leche; a pesar de que los pastizales nativos son para muchas unidades de producción una de las fuentes de alimentación del ganado más importante, principalmente en la temporada de lluvias (Cuevas *et al.*, 2007).

## **2.4 Pastizales Nativos**

Son ecosistemas en los cuales se incluyen biocenosis diversas, tanto en su composición vegetal; dominada por gramíneas como a sus condiciones ecológicas y en los que las actividades humanas se ven limitadas al pastoreo de ganado y aprovechamiento de recursos leñosos (Rzedowski, 2006).

Estas biocenosis vegetales, se dan entre gramíneas (principal) y especies de tréboles u otras leguminosas anuales, malezas de hoja ancha, hierbas anuales y específicamente en la región oeste y suroeste del estado de Hidalgo, los arbustos, arboledas (encino y fresno principalmente), suculentas (maguey) y cactáceas; también son parte importante de los pastizales en el papel de protección o recurso trófico, en especial durante la época de escases de herbáceas (Rzedowski, 2006; Rebollo y Gómez 2003; INEGI y Gobierno del Estado de Hidalgo, 2017).

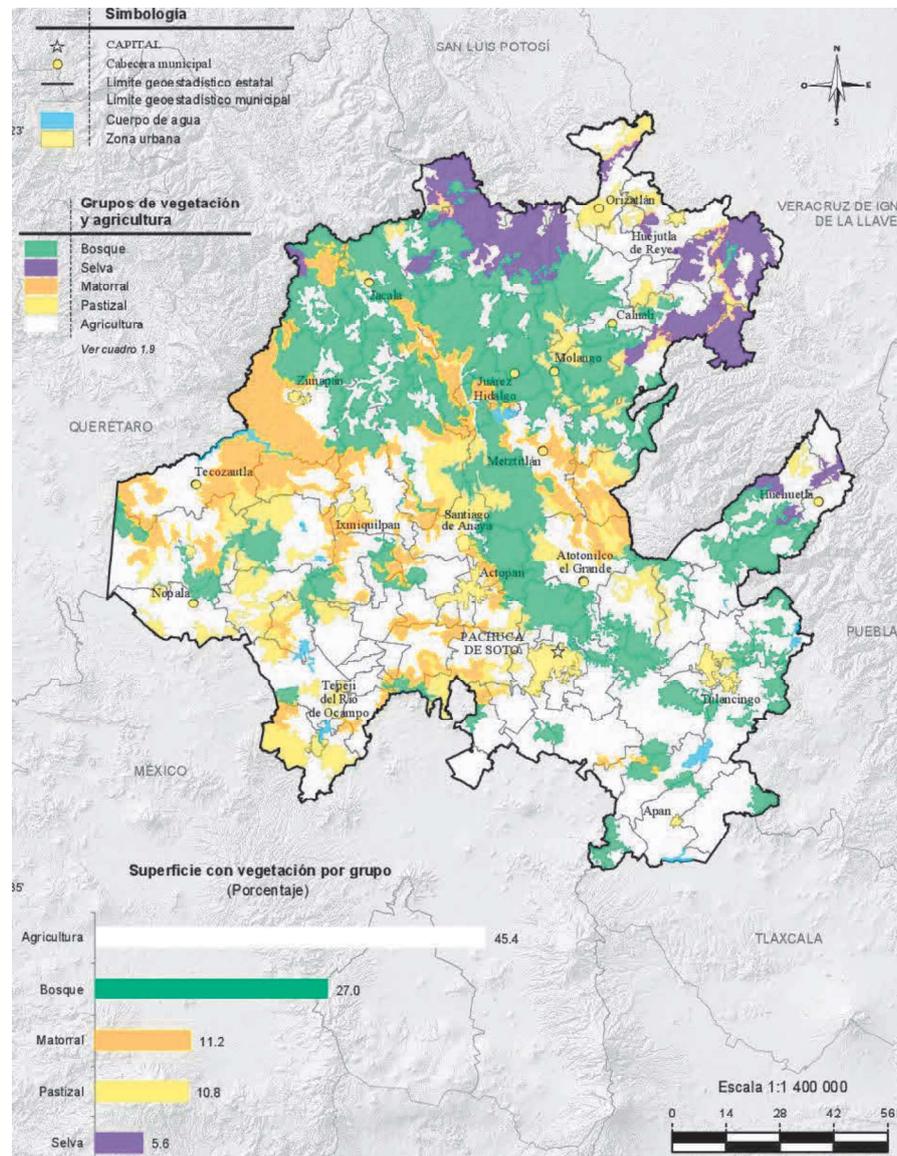
Estos pastizales de acuerdo con datos de CONABIO (2012) ocupan el 6.1% del territorio nacional (118, 320 km<sup>2</sup>). Distribuyéndose principalmente en los estados de Chihuahua, Coahuila, Sonora, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí y Jalisco, y en menor proporción en Guanajuato, Tamaulipas, Hidalgo y Estado de México como se muestra en la Figura 1. Mientras que en el estado de Hidalgo los pastizales ocupan el 10.8 % del territorio estatal indicándose en la figura 2 (INEGI y Gobierno del Estado de Hidalgo, 2017).

*Respuesta productiva de vacas lecheras en pastoreo de pastizales nativos a la suplementación con un concentrado experimental, en comparación con un concentrado balanceado comercial en un sistema de producción de leche en pequeña escala en el estado de Hidalgo.*

**Figura 1. Extensión y distribución de los pastizales en México (CONABIO, 2012)**



**Figura 2. Conjunto de datos vectoriales de Uso de suelo y Vegetación del estado de Hidalgo (INEGI y Gobierno del Estado de Hidalgo, 2017).**



De acuerdo con Rzedowski (2006) las áreas cuya cubierta vegetal está dominada por gramíneas (como el caso del pastizal), son de gran importancia, pues constituyen el medio natural más propicio para el aprovechamiento pecuario.

Como lo destacan Cuevas *et al.* (2007), los pastizales nativos son para muchas unidades de producción una de las fuentes de alimentación del ganado más importante, principalmente en la temporada de lluvias, siendo el 69.9% de los sistemas de producción de leche los que aprovechan esta fuente de alimentación.

## **2.5 Uso de los Pastizales Nativos como recurso para la alimentación del ganado bovino**

Los productores de leche en pequeña escala utilizan como estrategia de alimentación para el ganado, el aprovechamiento de forrajes de calidad como el pasto (cultivado y nativo); permitiendo así disminuir los costos de producción y aportando un forraje con un alto valor nutricional para los animales (Fadul *et al.*, 2013; Sainz *et al.*, 2017). El uso de pastos cultivados ha demostrado ser una excelente fuente de alimentación para los bovinos lecheros, principalmente para los productores de leche a pequeña escala, la gran limitante es la disposición de terreno para la siembra de los pastos (Espinoza *et al.*, 2005). Estos pastos se utilizan bajo sistemas de pastoreo o bajo sistemas de corte y acarreo, teniendo producciones de leche similares pero reduciendo costos de alimentación en el sistema de pastoreo (Pincay *et al.*, 2016).

Sin embargo, el pastoreo de pastizales nativos es una práctica de alimentación común para los productores de leche a pequeña escala, principalmente durante la época de lluvias (Cuevas *et al.*, 2007; Rayas *et al.*, 2012).

De acuerdo con Rzedowski (2006), los pastizales nativos son particularmente adecuados para su aprovechamiento por el ganado bovino mediante el pastoreo. Al estar dominados por gramíneas, estos pastizales representan un medio natural para el aprovechamiento pecuario. Sainz (2014) menciona que el pastoreo de pastizal nativo en el noroeste del Estado de México es un recurso forrajero que permite la producción de leche a costos muy similares a la producción con pastoreo de praderas cultivadas y resulta más económico que la producción en

estabulación, gracias a que los pastos nativos aunado a la suplementación con una cantidad baja de concentrados, permite que la producción de leche se mantenga en una tasa normal de descenso.

Sin embargo, a pesar de lo común que es la práctica del pastoreo de pastizales nativos en el estado de Hidalgo, existe información insuficiente sobre el aporte del pastoreo a la producción, composición botánica y la importancia económica sobre el sistema de alimentación del ganado productor de leche a pequeña escala, sobre todo en el suroeste del estado.

Referente a la composición Sánchez *et al.* (2012) muestran un listado de 126 especies de pastos nativos e introducidos (algunos de los cuales son encontrados en los pastizales nativos) pertenecientes a la familia *Poaceae* en el estado de Hidalgo y dentro de los cuales como principal fuente forrajera se mencionan en el Cuadro 2, además de mostrar el estatus (nativo o introducido) y el potencial forrajero de los mismos basándose en los trabajos de Rojo y Valdés (1996) y de INEGI y Gobierno del Estado de Hidalgo (2017).

**Cuadro 2. Principales Gramíneas del Estado de Hidalgo (Adaptado de INEGI y Gobierno del Estado de Hidalgo 2017; Sánchez et al., 2012; Rojo y Valdés, 1996; Vibrans, 2009).**

Nombre científico	Nombre común	Estatus (Nativo o introducido*)	Potencial forrajero
<i>Aristida hintonii</i>	Tres barbas	Nativo	Regular
<i>Bothriochloa laguroides</i>	Cola de zorra	Nativa	Regular
<i>Bouteloua gracilis</i>	Navajita	Nativa	Excelente
<i>Bromus carinatus</i>	Cebadillo	Nativa	Bueno
<i>Cynodon dactylon</i>	Zacate bermuda	Introducida	Bueno
<i>Cynodon plectostachyum</i>	Estrella africana	Introducida	Bueno
<i>Digitaria badia</i>	Sin nombre	Nativa	Regular
<i>Eleusine multiflora</i>	Pata de ganso	Introducida	Planta invasora
<i>Panicum hallii</i>	Panizo aserrín	Nativa	Excelente
<i>Poa anua</i>	Zacate azul	Introducida	Regular

A pesar de la calidad de los pastos mencionados anteriormente, hay muchas otras especies que conforman el pastizal, y las cuales la información es escasa, sin embargo, se puede deducir la importancia de los pastos nativos como elementos forrajeros útiles en la alimentación del ganado doméstico, aunque es indispensable el estudio de sus propiedades nutritivas para determinar las posibilidades de su uso para la alimentación de los hatos lecheros. Por otro lado,

las gramíneas (pastos) no son los únicos componentes del pastizal. Las gramíneas corresponden entre el 70% y 80%, le siguen la familia de las ciperáceas con un 7% a un 20% dependiendo de la altitud y en menor medida tenemos a las leguminosas de ciclo primavera-verano con un 3% al 8 % (Fernández *et al.*, 1993), y específicamente en la región oeste y suroeste del estado de Hidalgo, los arbustos, arboledas (encino y fresno principalmente), suculentas (maguey) y cactáceas (nopal), son parte de los pastizales (Rzedowski, 2006; Rebollo y Gómez, 2003; INEGI y Gobierno del Estado de Hidalgo, 2017).

## **2.6 Suplementación con concentrados a vacas lecheras en pastoreo**

Considerando que las vacas pueden comer solo cierta cantidad cada día, los forrajes solos no pueden suministrar la cantidad requerida de energía y proteína necesaria para el mantenimiento y producción del animal. Esto debido principalmente a factores como la diversidad vegetal en las zonas de pastoreo así como el estado de madurez de la planta, el tiempo de pastoreo entre otros. El propósito de agregar concentrados a la ración de la vaca lechera es el de proveer una fuente de energía y proteína para suplementar los forrajes y cumplir con los requisitos del animal (Chamberlain y Wilkinson, 2002; McDonald *et al.*, 2010). En el caso de vacas en pastoreo, esta suplementación puede ser optimizada cuando se puede determinar la relación de la respuesta en kg de leche por kg de concentrado aportado en las condiciones en las que pastan los animales (González *et al.*, 2004). Esta suplementación debe hacerse teniendo en cuenta los ingredientes del concentrado, así como el porcentaje que este ocupará dentro de la dieta, con la finalidad de no interferir con el pastoreo, así como para evitar problemas de salud a la vaca y no interferir con la fermentación de la microbiota ruminal (Freer *et al.*, 2007).

Usualmente un concentrado se puede definir como un alimento el cual tiene un alto contenido energético y una baja cantidad de fibra, en cuanto al contenido de proteína, estos pueden ser altos o bajos dependiendo del tipo de concentrado.

Los granos de cereales como maíz, sorgo, cebada, etc., contienen <12% de proteína cruda, pero sin embargo las harinas o pastas de semillas de oleaginosas como soya, canola, algodón, girasol, etc., (llamados concentrados proteicos) pueden contener hasta >50% de proteína cruda (McDonald *et al.*, 2010).

Estos concentrados se pueden encontrar en el mercado como alimentos balanceados comerciales o se pueden adquirir tanto los granos de cereales como las pastas de semillas de oleaginosas para realizar mezclas en la misma unidad de producción (con la asesoría técnica adecuada) que cumplan con los requerimientos de los animales que el forraje por sí mismo no puede cubrir (Martínez y Arriaga, 2014)

Un concentrado energético muy común usado en México es el maíz principalmente molido y rolado. El maíz molido puede ser únicamente el grano o la mazorca completa (grano, olote y hoja). Cuando se utiliza la mazorca molida la calidad energética disminuye y la cantidad de fibra aumenta, debido al olote y a la hoja, no obstante sigue siendo un suplemento de gran calidad energética para las vacas lecheras, además de disminuir los costos de alimentación; la única limitante es el bajo contenido proteico. El alto contenido de fibra hace de este concentrado un alimento muy seguro con un mínimo riesgo de provocar acidosis ruminal (Heuzé *et al.*, 2016).

Este recurso es ampliamente utilizado por los sistemas de producción de leche en pequeña escala, ya que puede ser producido en la misma unidad de producción (si se dispone de terreno para la siembra) o adquirido a un bajo costo, sin embargo, la principal limitante es el bajo contenido proteico por lo que una alternativa es combinarlo con un concentrado proteico como las pastas de semillas

de oleaginosas o con forraje de alta calidad como praderas para pastoreo o corte y acarreo (Velarde *et al.*, 2019). Sin embargo, pocos productores tienen acceso a praderas de alta calidad como aquellas que contienen una combinación de gramíneas y leguminosas (Rye grass y trébol blanco principalmente), por lo que el recurso forrajero más utilizado es el pastoreo de pastizales nativos, pero dichos pastizales no son de alto contenido proteico, llegando a 12% de acuerdo con lo reportado por Sainz *et al.* (2017), y cuyo contenido disminuye con el paso del tiempo y con la maduración de las plantas. Por lo que la implementación de un concentrado proteico como las pastas de semillas de oleaginosas puede ser una opción para mejorar la calidad proteica del suplemento concentrado.

Una de estas pastas es la pasta de canola o colza, es el sub-producto de la extracción del aceite de la semilla de canola mediante solventes (principalmente) o por presión mecánica. Este concentrado es rico en proteína y ha ganado popularidad como concentrado para vacas lecheras como sustituto de la pasta de soya, a pesar de que no posee un contenido de proteína tan alto como la soya, se ha demostrado que la proteína de la pasta de canola es más digestible, resultando en una mayor absorción de aminoácidos dando lugar a un incremento en la proteína excretada en la leche. Por otro lado la pasta de canola tiene un alto valor energético debido a la presencia de residuos de aceite (mayor cantidad en la pasta obtenida por presión), por lo que los porcentajes de inclusión de otros concentrados energéticos se reducirían, disminuyendo costos (Heuzé *et al.*, 2018; Auld *et al.*, 2016). Además, los residuos de aceite de la pasta de canola tienen un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados, los cuales tienen efectos benéficos en las dietas humanas (leche y carne) y en las dietas animales (Blair, 2011).

Como se mencionó anteriormente, la pasta de canola ha ganado popularidad como suplemento para vacas lecheras, en gran parte por su alto valor nutricional, así como un menor costo, con relación a otras pastas de oleaginosas como la

pasta de soya. Huhtanen *et al.* (2011) comparando dietas a base de pasta de soya contra pasta de canola observaron un incremento en el consumo de materia seca y un incremento en la producción de leche de las vacas alimentadas con pasta de canola. Auld *et al.* (2014) evaluaron la inclusión de pasta de canola a dietas parcialmente mezcladas (PMR por sus siglas en inglés) para vacas en pastoreo contra una PMR cuya fuente proteica se basaba en grano de trigo rolado, observando un incremento en la producción de leche así como un incremento en la composición química, específicamente en grasa y proteína de la leche.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

El pastoreo de pastizales nativos en México y específicamente en el suroeste del estado de Hidalgo, es una de las bases de la alimentación del ganado bovino lechero en los sistemas de producción familiar o a pequeña escala (Rayas *et al.*, 2012; Cuevas *et al.*, 2007). Sin embargo, existe poca información sobre la utilización de los pastizales nativos para el ganado lechero, así como el aporte nutricional de los mismos, específicamente en el suroeste del estado de Hidalgo.

Algunos trabajos realizados en el Valle de Toluca muestran resultados sobre la composición botánica, rendimiento de masa herbácea, materia seca y algunos componentes químicos de los pastizales, sin profundizar en el manejo y el papel que éstos desempeñan.

Así mismo la suplementación con concentrados es otro gran pilar del sistema de alimentación (Arriaga *et al.*, 2002), sin embargo, la mayoría de estos son comprados ya como un alimento balanceado en los diferentes distribuidores de alimento para ganado. Por lo que el efecto de la suplementación con concentrados a vacas que pastorean pastizales nativos ha sido muy poco estudiado y por tanto la información es escasa.

Tomando en cuenta los antecedentes previamente descritos, en este estudio se pretende aportar información acerca de la calidad de los pastizales nativos, así como su contribución a la respuesta productiva de vacas lecheras, además de buscar una alternativa a los concentrados comerciales, realizando la elaboración con ingredientes fáciles de conseguir en la región y que representen un bajo costo.

#### **4. HIPÓTESIS**

No existen diferencias significativas en la respuesta productiva y composición química de la leche de vacas lecheras en pastoreo de pastizales nativos suplementadas con un concentrado experimental y un concentrado comercial.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1 Objetivo general**

Evaluar la contribución del pastizal nativo y la suplementación con concentrado experimental a base de pasta de canola y mazorca molida en contraste con la dieta clásica de pastizal nativo más concentrado comercial en la respuesta productiva de vacas lecheras.

### **5.2 Objetivos específicos**

- Conocer las características y el efecto de la pasta de canola en la alimentación de bovinos lecheros de acuerdo con lo encontrado en las fuentes de consulta.
- Analizar la composición química de los pastos nativos y de ambos concentrados, para identificar su valor nutritivo.
- Registrar y comparar la producción de leche de las vacas por cada una de las dietas.
- Evaluar y contrastar la composición química de la leche de las vacas en ambos tratamientos.
- Comparar los costos de producción y los ingresos por venta de leche entre ambas dietas.

## **6. MATERIAL**

### **6.1 Material biológico**

#### **6.1.1 Animales**

Se utilizaron 10 vacas multíparas de raza Holstein, con un promedio de 145 días en lactación con un rendimiento inicial de 12 litros/vaca/día, sin alteraciones productivas o sanitarias, pertenecientes a un productor en pequeña escala del Rancho Buenavista, en la localidad de Dañu, perteneciente al municipio de Nopala de Villagrán, en el suroeste del estado de Hidalgo.

Las diez vacas fueron divididas en dos grupos de cinco vacas cada uno, de acuerdo al rendimiento inicial de leche y el tercio de lactación, bajo un diseño experimental doble reversible ABA x BAB. A un grupo de vacas se le suministró un concentrado experimental compuesto por 35 % de canola y 65 % de mazorca molida el cual contiene un 17% de proteína cruda y 12.3 MJ EM/kg MS, al otro grupo se le suministró un concentrado comercial comúnmente utilizado en la región con un 18% de proteína cruda y 12 MJ EM/kg MS, como lo marca la etiqueta del concentrado. El experimento tuvo una duración de 36 días, divididos en tres periodos de 12 días cada uno, de los cuales 9 fueron de adaptación a la dieta y los últimos tres días de toma de muestras de leche y medición de condición corporal, similar al reportado por (Miguel *et al.*, 2014).

Las vacas fueron ordeñadas dos veces al día a las 6:00 y 17:00 horas. Las vacas se mantuvieron con acceso a agua *ad libitum*.

Las variables incluyeron: producción de leche y condición corporal al inicio y al final de cada periodo experimental. Se tomaron muestras de leche los últimos tres días de cada periodo experimental para determinar las características fisicoquímicas de la leche.

### **6.1.2 Tratamientos**

Se utilizó un concentrado experimental (C. E.), compuesto por: 35 % de canola y 65 % de mazorca molida, además de un concentrado comercial (C. C.), por lo tanto, los tratamientos fueron: TxA= C. E., TxB=C. C., más pastoreo a libre acceso. Dichos tratamientos consistieron en: TxA= 6 kg del concentrado experimental + 9 horas de pastoreo, TxB= 6 kg del concentrado comercial + 9 horas de pastoreo; para ambos tratamientos, el concentrado se suministró dos veces al día después de cada ordeño y las 9 horas de pastoreo se realizaron de las 8:00 a las 17:00 horas. La cantidad de concentrado se asignó de acuerdo a los requerimientos de las vacas, utilizando la AFRC (1993) para realizar los cálculos.

Usando un diseño experimental doble reversible como se mencionó anteriormente, los tratamientos quedaron de la siguiente manera:

Cuadro 3. Secuencia de los tratamientos bajo un diseño doble reversible.

<b>Grupo de vacas</b>	<b>Secuencia</b>	<b>Periodo 1</b>	<b>Periodo 2</b>	<b>Periodo 3</b>
Grupo 1	<b>ABA</b>	TxA	TxB	TxA
Grupo 2	<b>BAB</b>	TxB	TxA	TxB

### **6.1.3 Pastizales**

Se utilizaron dos pastizales nativos los cuales son pastoreados cuatro horas y media cada uno dentro de las 9 horas totales de pastoreo al día. Ambos pastizales poseen composiciones botánicas muy variadas. Dichos pastizales se definieron como magueyal (Pastizal 1) y potrero (pastizal 2). Entre los pastizales hay diferencias marcadas en su composición botánica, salvo en el pasto.

Ambos pastizales no habían tenido manejo y la intervención del productor se limitaba a la introducción del ganado para pastorear.

#### **6.1.4 Material de campo**

- Cuadrante de metal de 0.25 m x 2.0 m
- Medidor de altura de pasto del tipo plato ascendente
- Tijeras de esquila
- Bolsas de plástico
- Bolsas de papel
- Bascula tipo reloj
- Medidor de composición química de leche por ultrasonido (Lacti-check)
- Frascos de plástico de 100 mL
- Probeta de 100 mL
- Material de oficina

#### **6.1.5 Material de laboratorio**

Las muestras de pasto y concentrado recolectadas fueron procesadas en el laboratorio de análisis de alimentos y forrajes del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) de la Universidad Autónoma del Estado de México, utilizando el material y reactivos necesarios para realizar el análisis químico de acuerdo a los procedimientos establecidos y en los equipos del laboratorio.

## **7. MÉTODO**

### **7.1 Medición de la altura del pastizal e identificación de especies**

La altura del pastizal se midió con el medidor tipo plato ascendente, el cual consiste en una placa de aluminio que se desliza sobre una varilla graduada en centímetros. La varilla queda en contacto con el suelo y el plato queda suspendido por la altura y densidad del pasto (Hodgson, 1994).

Se tomaron 25 medidas de la altura en zigzag en cada uno de los pastizales utilizados cada 12 días.

La identificación de las especies encontradas en los potreros se realizó de manera visual y posteriormente se hizo una comparación con el Catálogo de las gramíneas malezas nativas e introducidas de México de Sánchez *et al.* (2012).

### **7.2 Masa herbácea**

La masa herbácea se define como la cantidad de forraje en una pradera o pastizal expresada en kilogramos (o toneladas) de materia seca o materia orgánica, cortada sobre una altura determinada (usualmente el nivel del suelo) presente por unidad de superficie (ha) en un momento dado (Allen *et al.*, 2011).

Para poder determinar este parámetro se cortó el pasto cada 12 días usando un cuadrante de metal de 0.25 m x 2.0 m que fue colocado al azar dentro de cada pastizal. Se cortaron 5 cuadrantes por muestreo por pastizal (30 cuadrantes totales).

El pasto cortado se almacenó en bolsas de plástico identificadas con el número de cuadrante, así como a que pastizal y a qué periodo de muestreo pertenecían, las muestras fueron refrigeradas y al día siguiente se llevaron al área de preparación de muestras del ICAR para ser pesadas con una balanza digital, hecho esto se metieron las muestras en bolsas de papel estraza para ser deshidratadas a 60° C

hasta obtener peso constante y así poder determinar la proporción de materia seca, evaluando con esto los rendimientos por hectárea.

### **7.3 Composición química de los alimentos**

Cada 12 días se recolectaron muestras de pasto por pastizal mediante pastoreo simulado, esto consiste en cortar manualmente el pasto a una altura similar a la que las vacas lo hacen cuando pastorean. El pasto colectado se procesó de la misma forma que las muestras usadas para estimar la masa herbácea, y posteriormente se realizaron determinaciones de proteína cruda, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido y cenizas.

Para el caso de los concentrados se tomaron muestras cada 12 días de ambos concentrados. Con una pala individual (para cada concentrado) se tomó una muestra y se colocó en bolsas de plástico identificadas con el periodo y el tipo de concentrado. Después fueron llevadas las muestras al área de preparación de muestras del ICAR para ser pesadas en fresco con una balanza digital, hecho esto se metieron en bolsas de papel estraza para ser deshidratadas a 60° C hasta obtener peso constante y así poder determinar la proporción de materia seca y la composición química.

#### **7.3.1 Determinación del contenido de proteína cruda (PC)**

Se realizó la determinación del nitrógeno mediante el método Kjeldahl, el cual consiste en la descomposición total de los compuestos orgánicos mediante una digestión con ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentrando y catalizando para formar sulfato de amonio (NH<sub>4</sub>SO<sub>4</sub>), el cual posteriormente desprende el amonio (NH<sub>4</sub>) con la adición de hidróxido de sodio (NaOH); el amonio (NH<sub>4</sub>) se recibirá en ácido bórico (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) y se titulará con ácido clorhídrico valorado (HCL 0.1N). El contenido de nitrógeno se multiplicará por 6.25 para determinar la cantidad de PC.

### **7.3.2 Estimación de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA)**

Las fracciones de fibra se determinaron de acuerdo con el método de Van Soest *et al.*, (1966). En el método se utilizan detergentes que se combinan con la proteína para hacerla soluble y se utiliza también un agente quelante (EDTA) para remover los metales pesados y los iones alcalinos contaminantes. Al hervir la muestra con un detergente neutro se solubiliza el contenido celular y la pectina dejando un residuo que es la pared celular que contiene la celulosa, hemicelulosa y lignina (FDN). Por ebullición posterior con detergente ácido se hidroliza la hemicelulosa que se encuentra libre y aquella que está combinada con lignina, dejando la celulosa y la lignina (FDA). La oxidación de lignina se realiza con ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) al 72% dejando sólo la celulosa y cenizas como residuo.

### **7.3.3 Determinación del contenido de cenizas**

Para este análisis se colocaron las muestras de pastos y concentrados en charolas individuales de aluminio para su incineración en una mufla a 550 °C por tres horas, posteriormente se pesó el contenido de las charolas para determinar el contenido de cenizas.

### **7.4 Evaluación de la digestibilidad *in vitro***

Para esta determinación se utilizó la técnica desarrollada por Van Soest *et al.* (1966). Este procedimiento consiste en una incubación de los alimentos con líquido ruminal durante 48 h a 39°C, seguida del tratamiento del residuo obtenido con una solución neutro-detergente durante 1 h a 100°C, y los valores obtenidos se consideran una estimación de la digestibilidad real de los alimentos.

### **7.5 Estimación del contenido de energía metabolizable**

La energía metabolizable (EM) se estimó a partir de la ecuación propuesta por Standing committee on Agriculture and Resource Management, Ruminants Subcommittee (1990):

$$ME (MJ/kg DM) = 0.156 \times in\ vitro\ digestibility - 0.535$$

## **7.6 Rendimiento de leche**

Durante los 36 días del experimento se registró la producción de cada una de las 10 vacas. Se utilizó una báscula tipo reloj con una capacidad de 20 kg, para el pesado de la leche del ordeño de la mañana y de la tarde.

## **7.7 Análisis de la composición química de la leche**

Para determinar la composición química de la leche se tomaron muestras individuales de los dos ordeños (mañana y tarde) de las vacas cada 9 días durante 3 días, a partir del inicio del estudio. Al final del ordeño de cada vaca, con un cucharón de acero inoxidable se mezcló la leche dentro de la cubeta para homogeneizar el contenido y la muestra fue tomada desde el fondo de la cubeta para después depositarla en frascos de plástico de 100 mL previamente identificados con el ID de la vaca, ordeño (mañana o tarde) y la fecha. Las muestras se analizaron el mismo día que fueron tomadas una vez que la leche estuviera a temperatura ambiente. Se realizaron alícuotas de la leche de cada vaca de acuerdo a la cantidad de leche producida en cada ordeño.

Finalmente se determinó el contenido de grasa, proteína de leche y la cantidad de sólidos no grasos por medio de un medidor LactiCheck.

## **7.8 Evaluación de la condición corporal de las vacas**

Los sistemas para medir la condición corporal de las vacas, se basa en la evaluación visual y táctil de la grasa corporal y masa muscular sobre las costillas, zona lumbar, maslo de la cola y cuartos traseros del animal (McNamara, 2011). El sistema más utilizado es aquel propuesto por Lowman *et al.* (1976) que consiste en una escala de calificación de 5 puntos. Esta escala que va del 1 al 5, donde 1 es una vaca con una severa baja condición corporal que en términos prácticos se refiere a una vaca “emaciada. Una calificación de 3 corresponde a una puntuación ideal para una vaca lechera. Por último una calificación de 5 corresponde a una vaca “obesa” (Phillips, 2018).

De acuerdo con lo anterior, la condición corporal de las vacas se evaluó cada 12 días a partir del inicio del estudio y el puntaje se registró identificado con el nombre de la vaca.

### **7.9 Costos de producción**

Se utilizó la metodología de presupuestos parciales para estimar los costos y retornos (Alfonso *et al.*, 2012), considerando los costos y retornos por concepto de alimentación

Para el caso de la pasta de canola y el concentrado comercial, dichos alimentos fueron comprados en la región, y para el caso de la mazorca de maíz, esta es obtenida en la misma unidad de producción, sin embargo, se le asignó un precio de oportunidad considerando los precios del mercado local.

A los pastizales se le asignó un costo de oportunidad, basándose en los precios en los que el productor renta sus otros pastizales. Se le asignó un precio de \$500.00 pesos mensuales, esto dividido entre los 30 días del mes da un costo de \$16.4 pesos, mismos que al dividirlos entre las 5 vacas de cada tratamiento que pastaron los pastizales, da un costo de \$3.2 pesos por animal por día. Se consideró entonces que por cada vaca se asignara ese costo de oportunidad, ya que en vez de rentar los pastizales, se están usando como recurso propio.

### **7.10 Análisis estadístico**

Las variables animales, se analizaron mediante un diseño experimental doble reversible, cuyo modelo matemático es el siguiente:

$$Y_{ijkh} = \mu + s_i + c_{j(i)} + t_k + p_h + e_{ijkl}$$

Dónde:

- $\mu$ = Media general
- $s_i$ = Efecto debido a la secuencia  $i = 1, 2$

- $c_{j(i)}$ = Efecto debido a la vaca dentro de la secuencia  $j(i)= 1, 2, \dots 10$ .
- $t_k$ = Efecto debido al tratamiento  $k = 1, 2$
- $p_h$ = Efecto debido al periodo  $h = 1, 2, 3$ .
- $e_{ijkl}$ = Variación residual

Cuando se detecten diferencias significativas se utilizará la prueba de tukey a un nivel de significancia  $P < 0.05$ .

Para las variables de producción de forraje, disponibilidad, composición química y altura de las praderas se utilizó un diseño de parcelas divididas recomendado por Stroup *et al.* (1993) para experimentos en finca donde las repeticiones son limitadas.

Los resultados se analizaron mediante un análisis de varianza con el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ijk} = \mu + T_j + E_j + p_k + T_{pijk} + e_{ijk}$$

Dónde:

$Y_{ijk}$ = Variable respuesta

$\mu$  =Media general;

$T$  =Efecto de Tratamientos (Parcela Mayor)  $i = 1, 2$

$E$  =Término residual para las Parcelas Mayores

$p$ =Efecto de los periodos experimentales (Parcela Menor)  $j=1, 2, 3$

$Tp$ =Efecto de la interacción entre los tratamientos y periodo experimental

$e$  =Término residual para las Parcelas Menores

## **8. LÍMITE DE ESPACIO**

El estudio se realizó en una unidad de producción de leche en pequeña escala llamada Rancho Buenavista; dicha unidad de producción se encuentra en la comunidad de Dañu, la cual pertenece al municipio de Nopala de Villagrán en el suroeste del Estado de Hidalgo, en los límites con el Estado de México y el Estado de Querétaro.

Geográficamente el municipio se encuentra entre los paralelos 20° 08' y 20° 20' de latitud norte; los meridianos 99° 30' y 99° 51' de longitud oeste. Alcanzando una altitud entre 2200 y 3000 msnm. El clima que posee es considerado como templado subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 14 °C, registrando las más bajas en los meses de noviembre a enero y que llegan a ser menores a 0 °C, ocasionando heladas. El rango de precipitación oscila entre 500-800 mm anuales (Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, 2009)

El hato de la unidad de producción se integra por 10 vacas en lactación, 1 toro, 2 novillos, 2 terneras chicas, 1 becerra, 1 caballo de trabajo y 12 ovinos, estos dos últimos no pastorean en los pastizales donde lo hacen las vacas, y los novillos, las terneras y la becerra se mantienen en estabulación. El toro es el único que pastorea con las vacas.

La unidad de producción cuenta con 1, 140,000 m<sup>2</sup> (114 hectáreas totales), de las cuales 91.5 hectáreas corresponden a pastizales nativos; de este total de terreno se divide en 4 pastizales, dos para el pastoreo de la unidad de producción y los otros dos son rentados a un productor vecino.

Los pastizales de estudio tienen la siguiente extensión territorial:

- Pastizal 1 (Magueyal): 11.76 has.
- Pastizal 2 (Potrero): 18.86 has.

## **9. LÍMITE DE TIEMPO**

El trabajo de campo se realizó en un periodo de 36 días (del 4 de junio al 10 de julio de 2017), dentro de la temporada de lluvias; y el trabajo de laboratorio se realizó durante los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre de 2017.

## 10. RESULTADOS

### 10.1 Descripción de los pastizales

Ambos pastizales nativos que se utilizaron para el pastoreo de las vacas, presentan una composición botánica similar con respecto a los pastos, sin embargo, presentan diferencias en cuanto a las demás especies vegetales que los conforman.

El principal componente son pastos de la familia *Graminae*, de los cuales se pudieron identificar de manera visual, con ayuda del Catálogo de las gramíneas malezas nativas e introducidas de México de Sánchez *et al.* (2012)

Cuadro 4. Gramíneas identificadas en los pastizales experimentales.

Especie	Pastizal 1	Pastizal 2
<i>Bouteloua gracilis</i>	X	X
<i>Bromus carinatus</i>	X	X
<i>Cynodon dactylon</i>		X
<i>Cynodon plectostachyum</i>		X
<i>Aristida hintonii</i>		X
<i>Poa anua</i>	X	X
<i>Panicum hallii</i>	X	

El pastizal 1 (magueyal) presenta además algunos pseudopastos del género *Juncus* spp. y *Cyperus* spp. Por otro lado, se identificó una leguminosa nativa de ciclo primavera-verano denominada carretilla (*Medicago polymorpha*). También distintas variedades de maguey (*Agave* spp.) y nopal (*Opuntia* spp.). Por último algunos árboles pertenecientes al género *Quercus* (Encino) y *Fraxinus* (Fresno).

En el pastizal 2 (Potrero) se identificaron muy pocos ejemplares de maguey y nopal, sin embargo hay diversidad de especies de hierbas de pastizal, de las cuales se identificaron especies del género *Cosmos* spp. y *Senecio* spp.

## 10.2 Altura del pastizal

En el Cuadro 5 se observa que no existieron diferencias estadísticas significativas ( $P>0.05$ ) entre las alturas de un pastizal a otro ni entre los periodos de evaluación, sin embargo, visualmente se observa una mayor altura del pastizal 1 con respecto al pastizal 2.

Cuadro 5. Altura de los pastizales.

Variable	Pastizal		EEMPM	Periodos			EEMpm
	1	2		1	2	3	
Altura (cm)	5.3	3.4	1.38 <sup>NS</sup>	3	4.2	5.8	1.46 <sup>NS</sup>

EEMPM= Error estándar de la media de parcela mayor. EEMpm= Error estándar de la media de parcela menor. <sup>NS</sup>= No significativo ( $P>0.05$ ).

## 10.3 Masa herbácea

Los resultados para esta variable se muestran en el Cuadro 6 donde no se encontraron diferencias estadísticas significativas ( $P>0.05$ ) entre los pastizales ni entre periodos.

Cuadro 6. Masa herbácea.

Variable	Pastizal		EEMPM	Periodos			EEMpm
	1	2		1	2	3	
kg Ms/ha	1878	1371.5	358.2 <sup>NS</sup>	1298.8	1594	1982	342.5

EEMPM= Error estándar de la media de parcela mayor. EEMpm= Error estándar de la media de parcela menor. Kg MS/ha= Kilogramos de materia seca por hectárea. <sup>NS</sup>= No significativo ( $P>0.05$ ).

## 10.4 Análisis bromatológico de los alimentos

### 10.4.1 Pastizal nativo

En el Cuadro 7 se muestra la composición química y así como la digestibilidad *in vitro* de los pastizales nativos, en los cuales no existen diferencias estadísticas

significativas ( $P>0.05$ ) entre los pastizales, así como entre los periodos en ninguna de las variables.

Cuadro 7. Análisis nutricional de los pastizales evaluados.

Variable	Pastizal		EEMPM	Periodos			EEMpm
	1	2		1	2	3	
<b>PC</b>	102.4	98.3	2.9 <sup>NS</sup>	94.7	98.6	107.7	6.6 <sup>NS</sup>
<b>FDN</b>	598.19	594.7	2.4 <sup>NS</sup>	603.4	590.3	596.6	6.5 <sup>NS</sup>
<b>FDA</b>	271.7	264.2	5.3 <sup>NS</sup>	276.2	270.4	257.2	9.7 <sup>NS</sup>
<b>Cenizas</b>	135.6	125.5	7.1 <sup>NS</sup>	141.4	122.7	127.5	9.6 <sup>NS</sup>
<b>Digestibilidad <i>in vitro</i></b>	527.8	525.9	1.2 <sup>NS</sup>	511.7	511	557.8	26.8 <sup>NS</sup>
<b>EM (MJ/kg MS)</b>	7.6	7.6	0.02 <sup>NS</sup>	7.4	7.4	8.1	0.4 <sup>NS</sup>

EEMPM= Error estándar de la media de parcela mayor. EEMpm= Error estándar de la media de parcela menor. PC= Proteína cruda. FDN= Fibra detergente neutro. FDA= Fibra detergente ácido. <sup>NS</sup>= No significativo ( $P>0.05$ ).

#### 10.4.2 Concentrados

El Cuadro 8. muestra el análisis nutricional de los concentrados utilizados en el experimento.

**Cuadro 8. Análisis nutricional de los concentrados utilizados en el experimento.**

<b>Variable</b>	<b>MS (%)</b>	<b>Cenizas (%)</b>	<b>PC (%)</b>	<b>FDN (%)</b>	<b>FDA (%)</b>	<b>Digestibilidad (%)</b>	<b>EM (MJ/kg MS)</b>
<b>C. E.</b>	<b>93.60</b>	<b>5.81</b>	<b>16.93</b>	<b>28.2</b>	<b>13.31</b>	<b>82.34</b>	<b>12.3</b>
<b>C. C.</b>	<b>90.69</b>	<b>9.99</b>	<b>17.28</b>	<b>29.69</b>	<b>14.33</b>	<b>80.12</b>	<b>12</b>

C. E.= Concentrado experimental. C. C.= Concentrado comercial. MS= Materia seca. PC= Proteína cruda. FDN= Fibra detergente neutro. FDA= Fibra detergente ácido. EM (MJ/kg MS)= Energía metabolizable (Megajoules/kilogramo de materia seca).

### **10.5 Rendimiento productivo de las vacas**

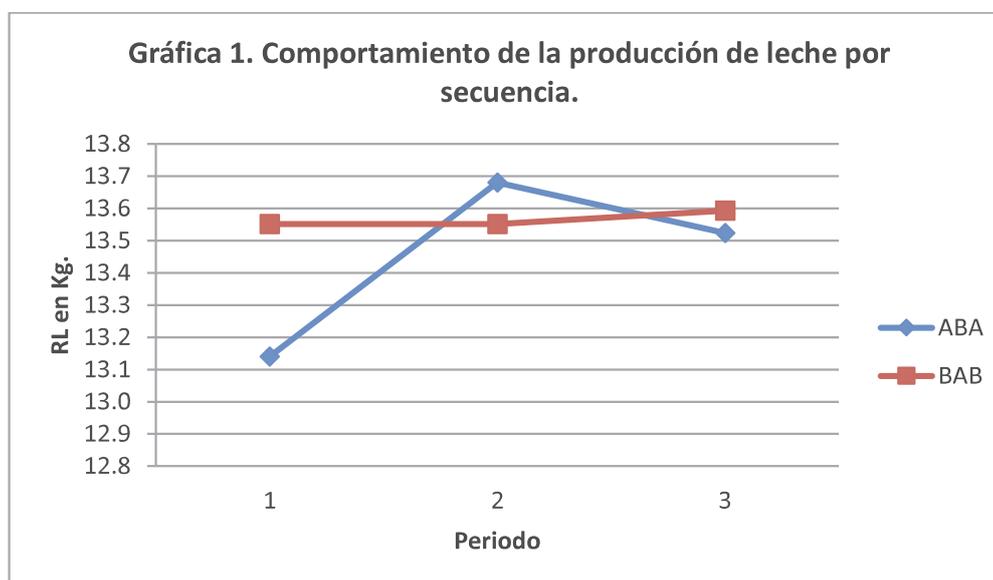
Los resultados de rendimiento de leche (RL) indican que no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ( $P>0.05$ ) como se observa en el Cuadro 9.

**Cuadro 9. Rendimiento de leche (RL) promedio por tratamiento.**

<b>Tratamiento</b>	<b>RL (Kg)</b>	<b>EEM</b>
TxA	<b>13.42</b>	0.17 <sup>NS</sup>
TxB	<b>13.67</b>	

RL= Rendimiento de leche. EEM= Error estándar de la media. TxA= Tratamiento A. TxB= Tratamiento B. <sup>NS</sup>= No significativo ( $P>0.05$ ).

El RL por secuencia de tratamientos (ABA x BAB) tampoco mostró diferencias estadísticas significativas ( $P>0.05$ ), sin embargo se logra observar que la producción de leche fue menor para la secuencia ABA, donde al cambiar del tratamiento A al tratamiento B, la producción de leche aumentó (de 13.1 a 13.7 Kg de leche) para después en el periodo 3, al volver al TxA el RL disminuyó aunque en menor grado (13.5 Kg.), mientras que la secuencia BAB el rendimiento de leche se mantuvo constante como se muestra en la Grafica 1.



### 10.6 Composición química de la leche

En los Cuadro 10 y 11 se presenta el promedio por tratamiento de grasa y proteína de la leche, respectivamente, los cuales indican que no existen diferencias estadísticas significativas ( $P > 0.05$ ) para ambas variables.

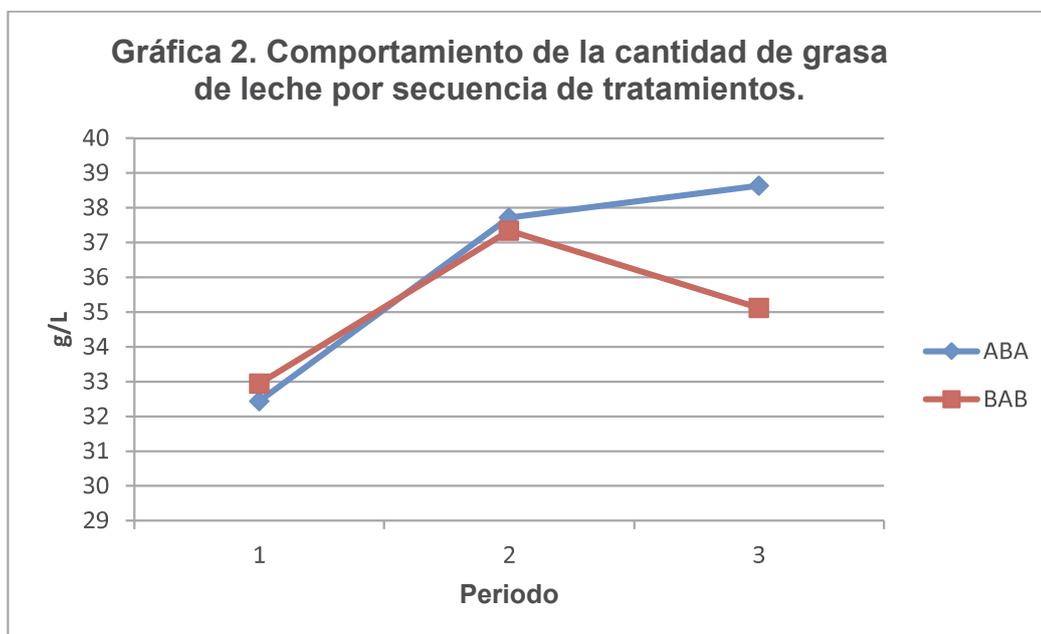
Cuadro 10. Cantidad promedio de grasa en leche por tratamiento.

Tratamiento	Grasa (g/L)	EEM
TxA	<b>36.13</b>	0.80 <sup>NS</sup>
TxB	<b>35.26</b>	

EEM= Error estándar de la media. TxA= Tratamiento A. TxB= Tratamiento B. <sup>NS</sup>= No significativo ( $P > 0.05$ ).

Por otro lado, como se muestra en la Gráfica 2. el comportamiento de la cantidad de grasa en leche por periodo se puede identificar que para la secuencia ABA hubo incremento en la cantidad de grasa durante el experimento, mientras que para la secuencia BAB el incremento se mostró en el periodo 2 al cambiar de

concentrado comercial a concentrado experimental y en el periodo 3 al regresar al C. C. el nivel de grasa en leche disminuyó.



Cuadro 11. Cantidad promedio de proteína en leche por tratamiento.

Tratamiento	Proteína (g/L)	EEM
TxA	<b>32.04</b>	0.47 <sup>NS</sup>
TxB	<b>32.06</b>	

EEM= Error estándar de la media. TxA= Tratamiento A. TxB= Tratamiento B. <sup>NS</sup>= No significativo (P>0.05).

### 10.7 Condición corporal

El análisis respectivo al índice de condición corporal (ICC) de las vacas en el experimento, se observa en el Cuadro 12, y refiere valores promedio de 2.97 puntos de condición corporal para los animales alimentados en el tratamiento A (TxA), mientras que para los animales en el tratamiento B (TxB), se reporta un promedio de 3.03 puntos de condición corporal. Por lo que no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (P>0.05).

Cuadro 12. Índice de condición corporal promedio de las vacas por tratamiento.

Tratamiento	ICC	EEM
TxA	<b>2.97</b>	0.08 <sup>NS</sup>
TxB	<b>3.03</b>	

ICC= Índice de condición corporal. EEM= Error estándar de la media. TxA= Tratamiento A. TxB= Tratamiento B. <sup>NS</sup>= No significativo (P>0.05).

## 10.8 Análisis económico

### 10.8.1 Costos de alimentación

Para estimar los costos por kilogramo de leche producido, se consideró básicamente los costos de alimentación por tratamiento durante el tiempo de duración del experimento. Dichos costos de alimentación se describen en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Costos de alimentación por tratamiento.

Tratamiento	Alimento	Costo por unidad (\$)	Kg BH/Vaca/Día	Costo total/vaca/día (\$)	Días	Costo total (\$)	Costo total del tratamiento (\$)
TxA	C. E.	\$5.30	6	\$31.80	36	\$5,724.00	\$6,300.00
	Pastizal nativo	\$3.20	---	\$3.20	36	\$576.00	
Costo de alimentación/vaca/día				\$35.00			
TxB	C. C.	\$6.00	6	\$36.00	36	\$6,480.00	\$7,056.00
	Pastizal nativo	\$3.20	---	\$3.20	36	\$576.00	
Costo de alimentación/vaca/día				\$39.20			

En el cuadro 13, se observan menores costos de alimentación para el tratamiento A con respecto al tratamiento B.

Para obtener el costo por kilogramo de leche producida por tratamiento, se dividió el total de gatos por concepto de alimentación entre los kilogramos de leche de dicho tratamiento, en este caso el TxA fue \$0.26 pesos más barato con respecto al TxB, a pesar de la mayor producción obtenida por el TxB.

Cuadro 14. Costo por kilogramo de leche producida por tratamiento.

<b>Tratamiento</b>	<b>Costo de alimentación</b>	<b>kg de leche</b>	<b>Costo por kg de leche</b>
TxA	\$6,300.00	2412	<b>\$2.61</b>
TxB	\$7,056.00	2461	<b>\$2.87</b>

### **10.8.2 Ingresos por venta de leche**

El Cuadro 15 muestra los ingresos y el margen de ganancia que se obtuvieron durante el experimento. Destacando el mayor ingreso para el tratamiento A, a pesar de la menor producción de leche, pero con un costo de alimentación menor, todo con respecto al tratamiento B.

Cuadro 15. Ingresos de la producción de leche por tratamiento.

<b>Tratamiento</b>	<b>Leche (kg totales)</b>	<b>Precio/kg</b>	<b>Ingreso por venta de leche</b>	<b>Costo de alimentación</b>	<b>Margen de ganancia</b>
TxA	2412	\$6.20	\$14,954.40	\$6,300.00	\$8,654.40
TxB	2461	\$6.20	\$15,258.20	\$7,056.00	\$8,202.20

## **11. DISCUSIÓN**

### **11.1 Altura del pastizal**

Parga *et al.* (2007) mencionan que la altura de una pradera para ser correctamente aprovechada por las vacas, debe estar entre 4 a 7 cm de altura, para el caso de los pastizales evaluados, el pastizal 1 cumplió con ese rango en los periodos 2 y 3 mientras que el pastizal 2 fue hasta el periodo 3 cuando entro en dicho rango de altura.

Sainz *et al.* (2017) registraron alturas promedio de 2.9 y 3.1 cm para pastizales nativos con baja y alta carga animal respectivamente, en el municipio de Aculco, México. A pesar de que algunas variedades de pastos pueden tener alturas de 50 cm, estos se mantienen cortos por la defoliación constante al ser pastoreados (Rzedowski, 2006).

### **11.2 Masa herbácea**

A pesar de no encontrar diferencias estadísticas significativas, se puede observar que hubo una gran acumulación de materia seca en ambos pastizales, lo que indica una baja presión de pastoreo, y esto aunado a la selectividad de los animales al pastorear, permitió un incremento en la cantidad de materia seca por hectárea. Tal comportamiento también es observado por Sainz (2014) donde observó un promedio de 956.6 kg MS/ha pero con aumentos significativos entre periodos debido a la baja presión de pastoreo.

### **11.3 Análisis bromatológico de los pastizales**

#### **11.3.1 Proteína cruda**

El ligero mayor contenido de PC del pastizal 1 con respecto al Pastizal 2, está asociado a una mayor presencia de leguminosas nativas de ciclo primavera-verano, la principal leguminosa identificada fue *Medicago polymorpha* (Carretilla)

la cual contiene una gran cantidad de proteína, por lo que la calidad nutritiva del pastizal en relación a la PC mejora (Gizachew y Smit, 2012).

Los resultados obtenidos en este trabajo son similares o se encuentran en rango con respecto a los reportados por otros autores que evaluaron pastizales nativos en el altiplano central de México. Sainz *et al.* (2017) registraron contenidos promedio de 125.7 y 97.8 g PC/kg MS, este trabajo se realizó en la temporada de lluvias (agosto-octubre) registrando una altura de pastizal de 2.9 y 3.1 cm en los dos pastizales evaluados, mientras que Rayas *et al.* (2012), obtuvieron un contenido promedio de PC de 106.3 g/kg MS en un periodo de Julio-Noviembre.

### **11.3.2 Fibra detergente neutro y Fibra detergente ácido**

La cantidad de carbohidratos estructurales es un factor a considerar para determinar el consumo y la digestibilidad de la materia orgánica. El consumo disminuye a medida que la planta madura, y la lignificación incrementa (Van Soest *et al.*, 1991). Los resultados obtenidos tanto para FDN y FDA son inferiores a los reportados por otros autores en el altiplano central de México durante la temporada de lluvias. Rayas *et al.* (2012), en pastizales nativos obtuvieron resultados de 641 g/kg MS para FDN y 321 g/kg MS de FDA) y Sainz *et al.* (2017), quienes evaluaron dos pastizales nativos encontrando valores de FDN de 625.2 y 632.9 g/kg MS y valores de FDA de 317.3 y 332.5 g/kg MS. Sin embargo, resultados similares a los obtenidos en este experimento fueron observados por Mahala *et al.* (2009) en pastizales nativos de Sudán durante el inicio de la temporada de lluvias, reportando valores de FDN Y FDA de 577 g/kg MS y 328 g/kg MS respectivamente.

### **11.3.3 Digestibilidad in vitro**

La madurez de la planta y la lignificación influyen en la digestibilidad de la materia orgánica. Sainz *et al.* (2017) reportaron resultados similares a los de este trabajo evaluando dos pastizales nativos en el altiplano central de México durante la

temporada de lluvias (agosto-octubre) dichos valores de digestibilidad *in vitro* fueron de 597.3 y 592.2 g/kg MO.

A pesar de ser niveles relativamente bajos, la digestibilidad observada se mantiene dentro del rango que mencionan Chamberlain y Wilkinson (2002), 450-800 g/kg.

#### **11.4 Rendimiento productivo de las vacas**

Ambos tratamientos no presentaron diferencias significativas en cuanto a esta variable, para el caso del TxA fue ligeramente menor la producción de leche promedio (13.42 Kg) con respecto al TxB (13.67 Kg), lo cual se puede asociar a que ambos concentrados tenían características nutricionales muy similares.

Lo que se logró observar con respecto al comportamiento de la producción de leche por secuencia (ABA x BAB) que la producción de leche fue menor para la secuencia ABA, donde al cambiar del tratamiento A al tratamiento B, la producción de leche aumentó (de 13.1 a 13.7 Kg de leche, aunque sin diferencias significativas entre ambos tratamientos) para después en el periodo 3, al volver al TxA el RL disminuyó aunque en menor grado (13.5 Kg.), mientras que la secuencia BAB el rendimiento de leche se mantuvo constante, el concentrado comercial que se utilizó como suplemento del TxB contenía una mezcla de diferentes granos de cereales, los cuales poseen carbohidratos de rápida degradabilidad en el rumen, Jenkins y McGuire (2006), mencionan que un alto contenido de almidón promueve la fermentación a ácido propiónico y glucosa, los cuales son aprovechados por la vaca para una mayor producción de leche. Por lo tanto esta podría ser una explicación al ligero incremento de la producción al utilizar el concentrado comercial, además esto da pauta para entender las diferencias en la composición de leche entre tratamientos.

Además cabe señalar que la respuesta productiva de las vacas en pastoreo a la suplementación está determinada por el mérito genético de las vacas y la etapa de

lactación en la que se encuentren; por otro lado también influye la masa herbácea disponible y la calidad de dicha pastura (Bargo *et al*, 2003).

Comparando los resultados de producción de leche con los obtenidos por Sainz *et al*. (2017), la producción promedio de las vacas con un alto nivel de suplementación y una baja carga animal en pastizales nativos fue de 11.6 kg /vaca/día, mientras que en este trabajo ambos tratamientos obtuvieron una producción mayor.

Velarde *et al*. (2019) reporta una producción de 17.6 kg/vaca/día, de vacas en pastoreo de una pradera cultivada (con mayor calidad nutritiva) suplementadas con 5 kg de concentrado comercial.

### **11.5 Composición química de la leche**

Aunque no se encontraron diferencias estadísticas significativas ( $P>0.05$ ) entre tratamientos, el Cuadro 16. demuestra que el contenido de grasa y proteína de la leche de ambos tratamientos, cumplió las especificaciones de la norma NMX-F-700, COFOCALEC-2004 para la leche cruda de vaca, lo cual indica que los tratamientos son aptos de acuerdo a los estándares establecidos.

Cuadro 16. Comparación entre los resultados de grasa y proteína por tratamiento con lo estipulado por la NMX-F-700, COFOCALEC-2004.

<b>Tratamiento</b>	<b>Grasa (g/L)</b>	<b>NMX-F-700, COFOCALEC-2004</b>	<b>Proteína (g/L)</b>	<b>NMX-F-700, COFOCALEC-2004</b>
TxA	<b>36.13</b>	<b>30 - &gt; 32 g/L</b>	<b>32.04</b>	<b>28 - &gt; 31 g/L</b>
TxB	<b>35.26</b>		<b>32.06</b>	

#### **11.5.1 Grasa**

Como se mencionó anteriormente, la cantidad de grasa en leche, cumplió las especificaciones de la norma. Aunque no hubo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, entre secuencias (periodos) el contenido de grasa para la secuencia ABA fue incrementando numéricamente, Phillips (2018)

menciona que una alimentación basada en forrajes de calidad, los cuales aportan una fuente de fibra adecuada, permiten una mayor producción de ácido acético en el rumen, el cual es el principal precursor de la síntesis de grasa de leche. Por otro lado, el uso de pastas de oleaginosas como la canola, los cuales contienen residuos de aceite que no pudieron ser extraídos, promueve un aumento de la cantidad de grasa en la leche ya que estos aceites pueden escapar de la digestión ruminal y permitir un mejor aprovechamiento por el animal. Por otro lado la secuencia BAB, donde el contenido de grasa en leche aumentó al cambiar de concentrado comercial a concentrado experimental, para después volver a disminuir la cantidad de grasa al volver a ser suplementadas con el concentrado comercial, puede estar asociado a el mayor contenido de granos de rápida degradación a ácidos (propiónico y láctico) en el rumen, lo que puede afectar la digestibilidad de la fibra y por ende la reducción en la producción de acetato (Bargo *et al.*, 2003 y Auldist *et al.*, 2014).

### **11.5.2 Proteína**

Entre los tratamientos evaluados, la diferencia encontrada fue mínima y no significativa, siendo mayor para el tratamiento B (32.06 g/L) contra el tratamiento A (32.04 g/L), esto nos indica que ambos tratamientos son aptos para la alimentación de vacas lecheras. Sainz *et al.* (2017) reportan no haber encontrado diferencias significativas en la cantidad de proteína en leche entre vacas con baja suplementación contra alta suplementación a diferentes cargas animales en un pastizal nativo y Auldist *et al.* (2014) tampoco reportan diferencias estadísticas significativas en los niveles de proteína de la leche, al reemplazar trigo con pasta de canola como suplementos proteicos a vacas lecheras en pastoreo.

El ligero incremento en el contenido de proteína con respecto al TxB sobre el TxA puede estar asociado al mayor contenido de granos de cereales del concentrado comercial (TxB), de acuerdo con Jenkins y McGuire (2006) estos granos de cereales tienen mayor contenido de almidón el cual es rápidamente fermentado en

el rumen por lo tanto existe un aumento de propionato y de proteína microbiana lo cual conduce señales en el cuerpo de la vaca para producir más leche y proteína en la leche.

### **11.6 Condición corporal**

La condición corporal de las vacas en el experimento se mantuvo constante para ambos tratamientos con una puntuación promedio de 3 durante los tres periodos. En un estudio realizado por Sainz *et al.* (2017) donde se evaluó la carga animal y la suplementación a vacas lecheras en pastoreo de pastizales nativos no se detectaron diferencias estadísticas significativas en la condición corporal de las vacas alimentadas con concentrado el cual superaba en proteína cruda y energía metabolizable a los concentrados utilizados en este experimento. Cabe resaltar que la condición corporal se mantuvo por encima de lo reportado por Sainz *et al.* (2017) y Pulido *et al.* (2009).

### **11.7 Análisis económico**

Tomando en cuenta el análisis anterior es posible comparar los resultados de esta evaluación con lo reportado por Sainz *et al.* (2017) donde reporta costos de alimentación por kilogramo de leche producido de \$3.6 pesos (0.17 dólares) bajo una estrategia de alimentación con alta suplementación con concentrado (6 kg/vaca/día) en dos tipos de carga animal para pastoreo de un pastizal nativo en el municipio de Aculco en el altiplano central de México.

De acuerdo con Martínez *et al.* (2015) la importancia de incluir el pastoreo como una estrategia para reducir los costos de alimentación radica en mejorar la rentabilidad de los sistemas de producción de leche en pequeña escala. El pastoreo de los pastizales nativos es un recurso forrajero que permite mantener una producción de leche adecuada y reducir los costos de alimentación (Sainz, 2014). Por otro lado Velarde *et al.* (2015) mencionan que el uso de concentrados en los SPLPE tiene como objetivo aumentar la carga animal sobre los recursos

internos de la unidad de producción, además de restaurar el balance energético, sin embargo representa un aumento en los costos de alimentación cuando estos son ajenos a la explotación, pero al hacer uso de recursos obtenidos en la propia unidad de producción, refieren que es una opción viable para los productores.

En este experimento para el caso del tratamiento A, el uso de mazorca molida, el cual es un recurso obtenido en la unidad de producción y de la pasta de canola (recurso externo) aunado al pastoreo de pasto nativo, permitió disminuir los costos de alimentación, así como demostró ser más redituable que usar concentrado comercial.

## **12. CONCLUSIONES**

Con base en los resultados obtenidos en este trabajo, se puede concluir que la implementación de un concentrado a base de pasta de canola y mazorca molida más el pastoreo de pastizales nativos en la temporada de lluvias permite una producción de leche muy similar a la producción cuando se suplementa con concentrados comerciales. Al igual que la calidad fisicoquímica de la leche, con una ligera tendencia a mantener los niveles grasa por más tiempo para el concentrado experimental con relación al comercial. Así mismo el implementar esta mezcla de ingredientes permite obtener un concentrado a menor costo por kilogramo con relación a los concentrados balanceados comerciales.

El pastoreo de pastizales nativos en la temporada de lluvias, los cuales representan un recurso forrajero de calidad nutritiva modesta que aunado a la suplementación con un concentrado preparado en la unidad de producción con ingredientes obtenidos en los mercados locales (tal es el caso de la pasta de canola) y obtenidos dentro la unidad de producción (mazorca de maíz), permite disminuir los costos de alimentación, mantener una buena producción de leche y mantener un buen estado corporal de los animales evitando disturbios sanitarios y productivos. Finalmente la implementación de esta estrategia de alimentación permitió mejorar los ingresos para la unidad de producción por la venta de la leche, en comparación con el método de alimentación tradicional que manejaban.

#### **14. LITERATURA CITADA**

- Agricultural, Food and Research Council (AFRC). 1993. Energy and Protein Requirements for Ruminants. An advisory manual prepared by the AFRC technical committee on response to nutrients. Wallingford, UK: CAB International.
- Alfonso A, Wattiaux M, Espinoza A, Sánchez E, Arriaga C. (2012): Local feeding strategies and milk composition in small-scale dairy production systems during the rainy season in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 44:637–644.
- Allen V, Batello C, Berretta E, Hodgson J, Kothmann M, Li X, McIvor J, Milne J, Morris C, Peeters A, Sanderson M. (2011): An international terminology for grazing lands and grazing animals. *Grass and Forage Science*, 66:2–28.
- Arriaga C, Albarrán B, Espinoza A, García A and Castelán O. (2002): On-farm comparison feeding strategies based on forages for small dairy production systems in the highlands of central Mexico. *Experimental Agriculture*, 38:375-388.
- Auldism M, Marett L, Greenwood J, Wright M, Hannah M, Jacobs J, Wales W. (2014): Replacing wheat with canola meal in a partial mixed ration increases the milk production of cows grazing at a restricted pasture allowance in spring. *Animal Production Science*, 54:869-878.
- Auldism M, Marett L, Greenwood J, Wright M, Hannah M, Jacobs J, Wales W. (2016): Milk production responses to different strategies for feeding supplements to grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 99:1–15.
- Bargo F, Muller L, Kolver E, Delahoy J. (2003): Invited Review: Production and Digestion of Supplemented Dairy Cows on Pasture. *Journal of Dairy Science*, 86:1-42.

- Bernal L, Rojas M, Vázquez C, Espinoza A, Estrada J, Castelán O. (2007): Determinación de la calidad fisicoquímica de la leche cruda producida en sistemas campesinos en dos regiones del Estado de México, *Veterinaria México*, 38 (4):395-407.
- Blair R. (2011): *Nutrition and Feeding of Organic Cattle*. CABI, USA.
- Chamberlain A, Wilkinson J. (2002): *Alimentación de la Vaca Lechera*. Editorial Acribia, España.
- CONABIO. (2012): Pastizales. <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/pastizales.html>, (14 de noviembre de 2018).
- Cuevas V, Espinosa J, Flores A, Romero F, Vélez A, Jolalpa J, Vázquez R. (2007): Diagnóstico de la cadena productiva de leche de vaca en el estado de Hidalgo. *TécPecuMéc*, 45(1):25-40.
- Espinoza A, Álvarez A, Del Valle A, Chauvete M. (2005): La economía de los sistemas campesinos de producción de leche en el Estado de México. *TécPecuMéc*, 43 (1):39-56.
- Espinoza A, Espinosa E, Bastida J, Castañeda T, Arriaga C. (2007): Small-scale dairy farming in the highlands of central Mexico: technical, economic and social aspects and their impact on poverty, *Expl Agric*. 43:241-256.
- Fadul L, Wattiaux M, Espinoza A, Sanchez E, Arriaga C. (2013): Evaluation of Sustainability of Smallholder Dairy Production Systems in the Highlands of Mexico During the Rainy Season. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 37 (8):882-901.
- FAO. (2018): Sistemas de producción. <http://www.fao.org/dairy-production-products/production/production-systems/es/> (22 de noviembre de 2018).
- Fernández F, Benítez A, Royo O, Pizzio R. (1993): Principales forrajeras nativas del medio este de la provincia de Corrientes. Serie técnica No. 23. 2da ed. INTA-EEA Mercedes, Argentina.

- Freer M, Dove H, Nolan J. (Eds) (2007): Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants. CSIRO Publishing, Australia.
- Gizachew L, Smit G. (2012): The status and importance of crude protein and macro minerals in native pastures growing on Vertisols of the central highlands of Ethiopia. *Journal of Environmental Management*, 93:177-184.
- González A, López J, Vázquez O. (2004): Incrementar la confianza en el pastoreo de praderas para la producción de leche. En: *Pastos y Ganadería Extensiva*. Editado por García B, García A, Vázquez B., 273-241, Gráficas Cervantes, España.
- Hernández M, Estrada J, Avilés F, Yong A, López F, Solís A, Castelán O. (2013): Tipificación de sistemas campesinos del sur del Estado de México. *Universidad y Ciencia, Trópico Húmedo*, 29 (1):19-31.
- Heuzé V, Tran G, Lebas F. (2016): Ear maize. <https://www.feedipedia.org/node/713> (10 de enero de 2019).
- Heuzé V, Tran G, Sauvant D, Lessire M, Lebas F. (2018): Rapeseed meal. <https://www.feedipedia.org/node/52> (10 de enero de 2019).
- Hodgson J. (1994): Manejo de pastos. Teoría y práctica. Diana, México.
- INEGI, Gobierno del Estado de Hidalgo. (2017): Anuario estadístico y geográfico de Hidalgo 2017. INEGI, México.
- INEGI. (2007): Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007. <http://www.inegi.org.mx/sistemas/TabuladosBasicos/Default.aspx?c=17177&s=est> (18 de Noviembre de 2018).
- Jenkins T, McGuire M. (2006): Major Advances in Nutrition: Impact on Milk Composition. *Journal of Dairy Science*, 89:1302-1310.
- LACTODATA. (2018): Boletín: información sobre el sector lechero, [www.lechemexico.org.mx/lactodata/leche/](http://www.lechemexico.org.mx/lactodata/leche/) (18 de noviembre de 2018).
- Mahala A, Nsahlai I, Basha N, Mohammed L. (2009): Nutritive Evaluation of the Natural Pastures at Early and Late Rainfall Season in Kordofan and

- Butana, Sudan. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3 (4):4327-4332.
- Martínez C, Arriaga C. (2014): Factores que intervienen en la adopción de tecnologías agropecuarias por productores de leche en pequeña escala y sus implicaciones para el desarrollo rural. En: *Contribución de la producción animal en pequeña escala al desarrollo rural*. Compilado por Arriaga C, Anaya J., 75-86, Reverté, México.
  - Martínez C, Rayas A, Anaya J, Martínez F, Espinoza A, Prospero F, Arriaga C. (2015): Performance of small-scale dairy farms in the highlands of central Mexico during the dry season under traditional feeding strategies. *Tropical Animal Health and Production*, 47:331–337.
  - McDonald P, Edwards R, Greenhalgh J, Morgan C, Sinclair L, Wilkinson R. (2010): *Animal Nutrition*. 7<sup>a</sup> ed., Pearson, UK.
  - McNamara J. (2011): Body Condition. En: *Encyclopedia of Dairy Sciences*. Editado por Fuquay J, Fox P, McSweeney P. 457-467, Elsevier, UK.
  - Miguel M, Ribeiro-Filho H, de Andrade E, Moraes T, Delagarde R. (2014): Pasture intake and milk production of dairy cows grazing annual ryegrass with or without corn silage supplementation. *Animal Production Science*, 54:1810-1816.
  - OCDE, FAO. (2017): *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2017-2026*, París. [http://dx.doi.org/10.1787/agr\\_outlook-2017-es](http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2017-es) (19 de noviembre de 2018).
  - Parga J, Balocchi O, Teuber N, Abarzua A, Lopetegui J, Anwandter V, Canseco C, Demanet R. (2007): Criterios y recomendaciones para el manejo del pastoreo. En: *Manejo del Pastoreo*. Editado por Teuber N, Balocchi O, Parga J. 107-126, Proyecto FIA, Chile.
  - Phillips C. (2018): *Principles of Cattle Production*. 3<sup>a</sup> ed., CABI, UK.
  - Pincay P, López F, Velarde J, Heredia D, Martínez F, Vicente F, Martínez A, Arriaga C. (2016): Cut and carry vs. grazing of cultivated pastures in small-

- scale dairy systems in the central highlands of Mexico. *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, 110 (2): 349-363.
- Pulido R, Escobar A, Follert S, Leiva M, Orellana P, Wittwer F, Balocchi O. (2009): Efecto del nivel de suplementación con concentrado sobre la respuesta productiva en vacas lecheras a pastoreo primaveral con alta disponibilidad de pradera. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 41:197–204.
  - Rayas A, Estrada J, Mould F, Castelán O. (2012): Nutritional value of forage species from the Central Highlands Region of Mexico at different stages of maturity. *Ciencia Rural*, 42: 705–712.
  - Rebollo S, Gómez A. (2003): Aprovechamiento sostenible de los pastizales. *Ecosistemas*; 12 (3): 1-10.
  - Rojo G, Valdés M. (1996): Análisis del agroecosistema de producción de leche en pequeña escala en el ejido San Cristóbal, municipio de Almoloya de Juárez. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.
  - Rzedowski J. (2006): Vegetación de México. 1a. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
  - SAGARPA e INIFAP. (2010). Guía PROGAN, Hidalgo. Programa de uso sustentable de recursos naturales para la producción primaria. Componente: Producción Pecuaria Sustentable y Ordenamiento Ganadero y Apícola. PROGAN.
  - Sainz P, López F, Estrada J, Martínez C, Arriaga C. (2017): Effect of stocking rate and supplementation on performance of dairy cows grazing native grassland in small-scale systems in the highlands of central Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 49:179–186.
  - Sainz P. (2014): Uso de pastizal nativo en un sistema de producción de leche a pequeña escala en el noroeste del estado de México. Tesis de

Licenciatura, FMVZ., Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.

- Sánchez J, Zita G, Mendoza M. (2012): Catálogo de las gramíneas malezas nativas e introducidas de México. SAGARPA, México.
- Secretaría de Economía. (2012). Análisis del Sector Lácteo en México, Dirección General de Industrias Básicas.
- SIAP, SAGARPA. (2017): Panorama de la Leche en México. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/panorama-de-la-lecheria-en-mexico> (21 de Noviembre de 2018).
- Standing Committee on Agriculture and Research Management, Ruminants Subcommittee. (1990): Feeding Standards for Australian Livestock. Ruminants. CSIRO, Australia.
- Stroup W, Hildebrand P, Francis C. (1993): Farmer participation for more effective research in sustainable agriculture. En: Technologies for Sustainable Agriculture in the Tropics. Editado por: Regland J, Rattan L. 153–186, Soil Science Society of America, Inc., American Society of Agronomy, Inc. and Crop Science Society of America, Inc., USA.
- Van Soest P, Robertson J, Lewis B. (1991): Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74:3583-3597.
- Van Soest P, Wine R, Moore L. (1966): Estimation of the true digestibility of forages by the in vitro digestion of cell walls. *Proc. 10th Int. Grasslands Congr.*, Helsinki.
- Velarde J, Estrada J, Rayas A, Vicente F, Martínez A, Heredia D, Celis M, Aguirre I, Galindo E, Arriaga C. (2019): Supplementation of dairy cows with commercial concentrate or ground maize grain under cut-and-carry or grazing of cultivated pastures in small-scale systems in the highlands of central Mexico. *Animal Production Science*, 59 (2):368-375.

- Velarde J, Gertrudis J, Rayas A, Vicente F, Martínez A, Arriaga C. (2015): Impactos productivos, económicos y ambientales de estrategias de alimentación tradicionales u optimizadas en sistemas de producción de leche en pequeña escala en el altiplano del centro de México. En: Estudios Socioeconómicos y Ambientales de la Ganadería. Editado por Cavallotti B, Ramírez B, Cesín A, Ramírez J. 486-498, Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Vibrans H. (ed.) (2009): Malezas de México. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/2inicio/home-malezas-mexico.htm> (21 de diciembre de 2018).