



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA



**EFFECTO DE LA COMPLEMENTACIÓN DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) EN
LA DIETA DE BOVINOS HOLSTEIN SOBRE LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD
MICROBIOLÓGICA DE LA LECHE CRUDA**

TESIS

QUE PRESENTA:

PMVZ. ARELI ANGUIANO MORALES

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO. AGOSTO DE 2017



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA



**EFFECTO DE LA COMPLEMENTACIÓN DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) EN
LA DIETA DE BOVINOS HOLSTEIN SOBRE LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD
MICROBIOLÓGICA DE LA LECHE CRUDA**

TESIS

QUE PRESENTA:

PMVZ. ARELI ANGUIANO MORALES

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

ASESOR

M.C. Ruy Ortiz Rodríguez

CO-ASESOR

Dra. Rosa Elena Pérez Sánchez

DEDICATORIA

A mis padres, Joel Anguiano y María Dolores Morales por el amor, cariño y apoyo incondicional que me han brindado, por darme todo lo que está a su alcance para el logro de mis aspiraciones, por su firmeza, por nunca perder la esperanza y porque son las personas que más quiero en la vida. Este trabajo y esfuerzo es para ustedes.

A mis hermanos Monica, Valentín y Bernabe, por ser mi fuente de inspiración para seguir superándome y por el apoyo que he recibido para lograr mis metas. Gracias hermanos.

A mi abuela Aurora de quien aprendí el valor y experiencias de vida, y a mis abuelos Luis, Jesús y Juanilla (Q.E.D.P) que aunque no se encuentren con nosotros físicamente, siempre estarán presentes en mi corazón, y este logro también es gracias a ellos.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por permitirme llegar hasta aquí, acompañado y guiado a lo largo de mi vida y carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de sabiduría, experiencias y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a mis padres Joel Anguiano y María Dolores Morales por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado y por haberme dado la oportunidad de tener una educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo por ser un excelente ejemplo a seguir.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

A mis hermanos por ser parte importante en mi vida y representar la unidad familiar. A Monica por ser un ejemplo de desarrollo profesional a seguir, por sus motivaciones día a día y su comprensión, a Valentín y Bernabe por sus consejos y valentía, que aunque se encuentran ausentes siempre me motivaron a seguir adelante y cumplir mi meta.

A mis familiares, tíos, tías, cuñadas, primos y sobrinos por confiar y creer en mí, que de alguna u otra forma contribuyeron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.

A mis amigos por brindarme su amistad, su apoyo, y transmitirme sus buenos deseos para que se cumpliera este objetivo en mi vida (Madeline, Yanira, Joaquín, May, Karen, Anay).

A mis compañeros de tesis, maestría y doctorado que de alguna u otra forma me brindaron su apoyo y enseñanzas.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia que me permitieron el inicio, desarrollo y culminación de mi carrera y tesis.

En especial a mi asesor de tesis M.C. Ruy Ortiz Rodríguez le agradezco por haberme brindado el apoyo a lo largo de la elaboración de la tesis, por su tiempo, dedicación y por los conocimientos compartidos; también agradezco a mi co-asesor Dra. Rosa Elena Pérez Sánchez, a la mesa sinodal MC. Víctor Manuel Sánchez Parra y MC. Manuel López Rodríguez quienes con sus enseñanzas, apoyo, dedicación y paciencia, contribuyeron de manera fundamental para la realización de esta tesis.

A todas las personas que de alguna manera contribuyeron a la elaboración de este trabajo.

GRACIAS.

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. ANTECEDENTES	6
2.1. Producción de leche en México	6
2.2. Sistemas de Producción de Bovinos Productores de Leche	8
2.2.1. Sistema especializado	9
2.2.2. Sistema semi-especializado	10
2.2.3. Sistema de doble propósito	11
2.2.4. Sistema familiar o de traspatio	12
2.3. Sector Lechero y su problemática en zonas rurales	12
2.4. Alternativas nutricionales no convencionales para incrementar la producción de leche en el ganado	14
2.4.1. Caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>)	15
2.4.2. El Pasto Kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i> , Hoechst Ex Chiov)	17
2.4.3. <i>Moringa oleífera</i>	19
2.5. Implementación del nopal como estrategia no convencional en la producción y calidad de la leche.	20
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	25
4. HIPÓTESIS	26
5. OBJETIVOS	27
5.5. Objetivo General	27
5.6. Objetivos Específicos	27
6. MATERIAL Y MÉTODOS	28
6.1. Material	28
6.2. Métodos	28
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
7.1. Efecto de la dieta complementada con nopal sobre la producción de leche de vacas Holstein bajo condiciones de estabulación y época de lluvias	31
7.2. Efecto de la dieta complementada con nopal sobre la calidad microbiológica de leche cruda de vacas Holstein bajo condiciones de estabulación y época de lluvias	35
8. CONCLUSIONES	41
9. BIBLIOGRAFÍA	42

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

	Pág.
Tabla 1. Características básicas y producción nacional de los sistemas de producción de leche de bovinos en México	9
Tabla 2. Producción de leche en vacas suplementadas con caña de azúcar	17
Tabla 3. Composición química del pasto kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i> , Hoechst Ex Chiov) en muestras recolectadas en varias localidades del departamento de Antioquia, % MS	18
Tabla 4. Aporte de proteína cruda y materia seca de los ingredientes de la dieta de bovinos productores de leche de acuerdo al grupo	29
Tabla 5. Análisis de efectos fijos para UFC ml ⁻¹ de bacterias en leche cruda	35
Tabla 6. Medias de mínimos cuadrados para bacterias (UFC ml ⁻¹ x10 ⁻³) en la leche cruda de acuerdo al grupo	36
Tabla 7. Medias de mínimos cuadrados para cuentas bacterianas (UFC ml ⁻¹ x10 ⁻³) en leche cruda de vacas Holstein de acuerdo al grupo	39
Figura 1. Producción de Leche de Bovino en México 2005-2016	7
Figura 2. Principales países importadores de leche en polvo	8
Figura 3. Medias de mínimos cuadrados de producción de leche (kg) de vacas Holstein bajo confinamiento total y alimentadas con una dieta complementada con 12 kg de nopal (<i>O. ficus-indica</i>) en base fresca dia ⁻¹ vaca ⁻¹	32
Figura 4. Estimación lineal de la producción de leche (kg) de vacas Holstein bajo confinamiento total y alimentadas con una dieta complementada con 12 kg de nopal (<i>O. ficus-indica</i>) en base fresca dia ⁻¹ vaca ⁻¹	33

RESUMEN

Con el objetivo de determinar el efecto del nopal (*Opuntia ficus-Indica*) como complemento de la dieta sobre la producción láctea y calidad microbiológica de leche cruda de vacas Holstein. Se utilizaron 14 vacas de genotipo Holstein y con 172 días de lactancia en promedio, mismas que conformaron dos grupos (G): G. Control (n=7 vacas), vacas alimentadas con una dieta convencional y G. Experimental (n=7 vacas), grupo al cual se le suministro 12 kg de nopal en base fresca (BF) vaca⁻¹ día⁻¹ como complemento de la dieta. Ambos grupos fueron monitoreados durante cuatro semanas. Las variables analizadas fueron: 1) producción de leche (PL) vaca⁻¹ día⁻¹ y 2) calidad bacteriológica de la leche (CBL): unidades formadoras de colonia (UFC) ml⁻¹ de bacterias mesófilas aerobias (BMA), coliformes totales (CT) y *E. coli*. El análisis de CBL de ambos grupos, se determinó bajo los criterios establecidos en las normas oficiales mexicanas: NOM-113-SSA-1994, NOM-092-SSA-1994 y NOM-210-SSA-2014. Con la información recabada se construyó una base de datos para su análisis estadístico mediante la metodología de modelos mixtos con mediciones repetidas, metodología aplicada a PL y el análisis estadístico para CBL se realizó a través de los modelos lineales generalizados. Las diferencias estadísticas ($\alpha=0.05$) entre grupos para ambos indicadores (PL y CBL) se determinaron mediante el método de medias de mínimos cuadrados. Se encontró que, la producción de leche del G. Experimental (17.6 kg vaca⁻¹ día⁻¹) fue mayor ($P<0.05$) a la producción del G. Control (14.8 kg vaca⁻¹ día⁻¹). En cuanto a CBL, ésta fue mejor en el G. Experimental (BMA=100.0x10³ UFC ml⁻¹; CT=19.9x10³ UFC ml⁻¹ y *E. coli*=50.1x10³ UFC ml⁻¹), ello en comparación con la CBL del G. Control ($P<0.05$), en donde se encontró la siguiente carga (UFC ml⁻¹) bacteriana: 316.2x10³ para BMA, 31.6x10³ para CT y 100.0x10³ para *E. coli*. En conclusión, la adición de 12 kg de nopal en BF vaca⁻¹ día⁻¹ a la dieta de vacas Holstein incrementa la producción de leche y reduce las cuentas bacterianas de BMA, CL y *E. coli*. Aspecto que permiten sugerir que el nopal (*O. ficus-Indica*) es una alternativa viable para incrementar la producción y calidad de la leche de vacas Holstein bajo confinamiento total y en época de lluvia.

Palabras clave: producción, leche, nopal, calidad bacteriológica, *Opuntia* spp.

ABSTRACT

With the aim of determine effect of nopal (*Opuntia ficus-Indica*) as a complement of the diet on milk production and microbiological quality of raw milk from Holstein cows. They were used twenty-four cows of Holstein genotype whit 172 days of lactation average, same that formed two groups (G): G. Control (n=7cows), cows fed with a conventional diet and G. Experimental (n=7 cows), group which will supply 12 kg of nopal in fresh base (FB) cow⁻¹ day⁻¹ as a complement of the diet. Both groups were monitored for four weeks. The analyzed variables were: 1) milk production (MP) cow⁻¹ day⁻¹ and 2) bacteriological quality of milk (BQM): colony forming units (CFU) ml⁻¹ of mesophilic aerobic bacteria (MAB), total coliform (TC) bacteria and *E. coli*. Analysis of BQM from both groups, It was determined under the criteria established in the Mexican official standards: NOM-113-SSA-1994, NOM-092-SSA-1994 and NOM-210-SSA-2014. With the information collected, a database was built for statistical analysis under the methodology of mixed models with repeated measures, methodology applied to MP and statistical analysis for BQM is made by means of generalized linear models. Statistical differences ($\alpha=0.05$) between groups for both indicators (PM and BQM) were determined using the method of least square means. Found that, milk production of the G. Experimental (17.6 kg cow⁻¹ day⁻¹) was higher ($P<0.05$) that G. Control production (14.8 kg cow⁻¹ day⁻¹). As to BQM, it was better in the G. Experimental (MAB=100.0x10³ CFU ml⁻¹; TC=19.9 x 10³ CFU ml⁻¹ and *E. coli*= 50.1x10³ CFU ml⁻¹), in comparison with the BQM of the G. Control ($P<0.05$), where the next load was found (CFU ml⁻¹) bacterial: 316.2x10³ for MAB, 31.6x10³ TC and 100.0x10³ to *E. coli*. In conclusion, the addition of 12 kg of nopal in FB cow⁻¹ day⁻¹ to the diet of Holstein cows increases milk production and reduces the bacterial counts of MAB, CT and *E. coli*. Aspect that suggest that nopal (*O. ficus-indicates*) is a viable alternative to increase production and milk quality of Holstein cows under total confinement and during rainy season.

Keywords: production, milk, nopal, bacteriological quality, *Opuntia* spp.

1. INTRODUCCIÓN

En las zonas rurales de México, los sistemas de producción bovina se han caracterizado por ser de tipo extensivo y con poca o nula tecnificación (Macedo *et al.*, 2006). Para el caso de la zona rural del estado de Michoacán, México., uno de los problemas fundamentales que impiden el desarrollo de la industria ganadera, como es el caso de los sistemas de producción de bovinos productores de leche, es la escasez de forraje de calidad, debido a que este tipo de sistemas se desarrollan en zonas geográficas con estiaje prolongados (Medina *et al.*, 2006). Por ello, los insumos que se implementan al ganado bajo estas condiciones están sujetos a frecuentes fluctuaciones en cuanto a calidad y cantidad. Fluctuaciones que afectan productividad y rentabilidad de los sistemas de producción de bovinos productores de leche (Pérez *et al.*, 2010^b).

Por otra parte, y bajo el contexto ambiental del estado de Michoacán, los sistemas ganaderos extensivos contribuyen notablemente con el deterioro acelerado del ecosistema, debido a que propician la erosión y desertificación del suelo. No obstante, la ganadería es una de las principales actividades que generan ingresos económicos en las zonas, por lo cual, se requiere hacer más eficientes este tipo de sistemas, ello partiendo de dos premisas: i) que no se pierda su atributo sobre la productividad a bajo costo que los caracteriza y ii) que la producción se lleve a cabo sin dejar de lado la restauración de fertilidad de suelo y protección del agua (Rodríguez, 2008: citado por Ortiz *et al.*, 2012).

Ante este escenario algunos productores han intentado solucionar el problema de la alimentación de su ganado mediante la utilización de forrajes autóctonos, tales como las especies del género *Opuntia* spp. Forraje atractivo para el ganado por su amplia

distribución nacional (61 de 92 géneros de *opuntia*) (Bravo, 1978), alta eficiencia al convertir agua en biomasa, contenido de energía: 2.25 Mcal kg⁻¹, digestibilidad (>52%), fibra detergente neutra de 47%, fibra detergente acida de 16% (Medina *et al.*, 2006) y bajo costo de producción comparado con forrajes convencionales como lo es la alfalfa o la avena (Carranza, 2001). A pesar de que su contenido de proteína es pobre (3 a 5%) no es un impedimento para que el nopal sea un forraje apto para la alimentación animal, ello debido a los resultados que se han obtenido al implementarlo como parte de la dieta.

González *et al.* (1998) establecieron que, para evitar efectos detrimentales en la productividad de vacas, a las que se les adiciona nopal como parte de la dieta, no debe de superar el 30% de ésta cactácea en base seca. En contraste, Fuentes (1991) estableció que el consumo de nopal día⁻¹ debe ser de 30 kg vaca⁻¹ promedio; consumo que provee el 4.5% de la energía total requerida para la lactancia, 12.2% de la proteína requerida, 46% de la fibra cruda, 15% del fósforo y 100% del calcio de acuerdo a los requerimientos del NRC (NRC, 2001). Otras investigaciones en torno al efecto de *Opuntia* spp sobre la producción de leche (en época de estiaje), determinan que con la complementación de nopal en la dieta de las vacas incrementa la producción de 7.1 a 10.8 L vaca⁻¹ día⁻¹ (Pérez *et al.*, 2010^b). Resultados que demuestran la importancia del nopal como complemento de la dieta de bovinos productores de leche, durante la época de estiaje.

En cuanto a la calidad bacteriológica de la leche y sus subproductos, estudios preliminares determinaron que el promedio de unidades formadoras de colonias (UFC ml⁻¹) para mesófilas aerobias, en la leche cruda derivada de vacas complementadas con nopal, fue menor con respecto al control: 0.39x10² vs

50.1x10², respectivamente (P<0.05). Mientras que para las UFC de coliformes se encontró 1.5x10² y 31.6x10² UFC ml⁻¹ para leche derivada de vacas con y sin complemento de nopal, respectivamente (P<0.05) (Ortiz *et al.*, 2013^a).

De acuerdo a los resultados antes descritos, se puede establecer que, al implementar el nopal como parte de la dieta de vacas productoras de leche se incrementa la producción de leche y, además, mejora su calidad bacteriológica. Así mismo, la calidad de los derivados lácteos elaborados con leche proveniente de vacas alimentadas con nopal tiene una mayor vida de anaquel (López *et al.*, 2007; García *et al.*, 2005). Por ello, el objetivo de la investigación es determinar el efecto del nopal (*Opuntia ficus-Indica*) como complemento de la dieta sobre la producción láctea y calidad microbiológica de la leche cruda de vacas Holstein bajo confinamiento total y en época de lluvia.

2. ANTECEDENTES

2.1. Producción de leche en México.

En México, la producción de leche de bovino es heterogénea desde el punto de vista tecnológico, agroecológico y socioeconómico, así como, por la diversidad de climas regionales y características culturales de las poblaciones (Hernández *et al.*, 2013). La importancia de este sector, a nivel nacional, radica en el fortalecimiento de las políticas de fomento a la actividad en todos los estratos en que se presenta; la cual, en la última década, ha mantenido una tasa de crecimiento anual por arriba del crecimiento demográfico, con la finalidad de disminuir las importaciones de este producto (SAGARPA, 2015). Sin embargo, el sector de producción de leche de bovino, a nivel nacional, no ha logrado solventar la demanda de dicho producto y, ello explica el incremento en las importaciones de leche para satisfacer la demanda nacional (SAGARPA, 2010^a).

A pesar de lo antes mencionado, la industria de productos lácteos se encuentra ubicada en la tercera posición de mayor importancia dentro de la rama de los alimentos en México, puesto que genera más de 50,000 empleos y contribuye con el 0.6% del Producto Interno Bruto (PIB) (Ríos *et al.*, 2015). De acuerdo con la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) México ocupó la novena posición en la producción mundial de leche en el 2016 (SAGARPA, 2016). A nivel de Latinoamérica, México se encuentra ubicado en el tercer lugar de producción, seguido de Brasil y Argentina, con una producción de más de 11 mil millones de litros año⁻¹, cifra que representó un incremento del 1.9% (Figura 1) con respecto al 2015 (SAGARPA, 2016). Dicha producción se generó con un hato de aproximadamente 2 millones 300 mil cabezas de ganado,

distribuidas en 254 mil unidades de producción, lo cual genera 4 millones de empleos directos e indirectos (SAGARPA, 2012).

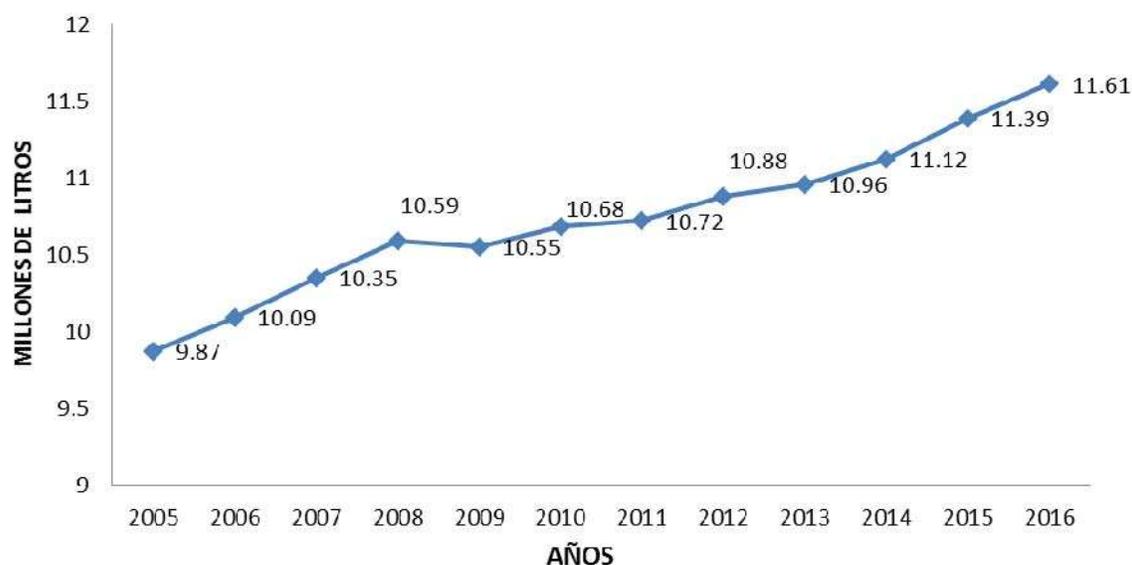


Figura 1. Producción de Leche de Bovino en México 2005-2016

Fuente: SIAP-SAGARPA (2016)

De acuerdo a la Figura 1, se observa que en los últimos años la producción de leche en México logró alcanzar una producción cercana a 11 mil millones de litros anuales; cantidad que representa 1.8% de la producción mundial (SAGARPA, 2015). Sin embargo, México está catalogado como un país importador potencial en el mercado mundial de lácteos, principalmente de leche en polvo, solo superado por las importaciones de China (Figura 2) (Robledo, 2015).

México, junto con Indonesia importan alrededor del 14.1% de la leche en polvo a nivel nacional (Figura 2), importación que representa aproximadamente 200 mil toneladas anuales (SAGARPA, 2015). Este dato es relevante, puesto que, ambos países cuentan con el mayor inventario ganadero y, sin embargo, superan la importación de China (10.7%), lo cual da la pauta a establecer que en estos países (México e Indonesia) existen problemas tales como: a) improductividad por animales

con potencial genético deficiente, b) problemas en el abastecimiento de insumos de calidad para la alimentación del ganado, c) deficiencia en técnicas y tecnologías que eficiente la producción. De acuerdo con la FAO (2015), México se ha mantenido como importador neto, con una dependencia inicial aproximada de 7% anual en los primeros años (1960), hasta llegar a 37% en 1980 y a más de 50% en el año de 1990. Actualmente, la dependencia ha disminuido hasta llegar a un promedio de 31% anual (Robledo, 2015). Aspecto que pudiera explicarse por la variabilidad de sistemas de producción existentes en el país, así como, por la variabilidad agroecológica donde se asientan los diversos sistemas de producción de bovinos productores de leche en México (Zárate *et al.*, 2010).

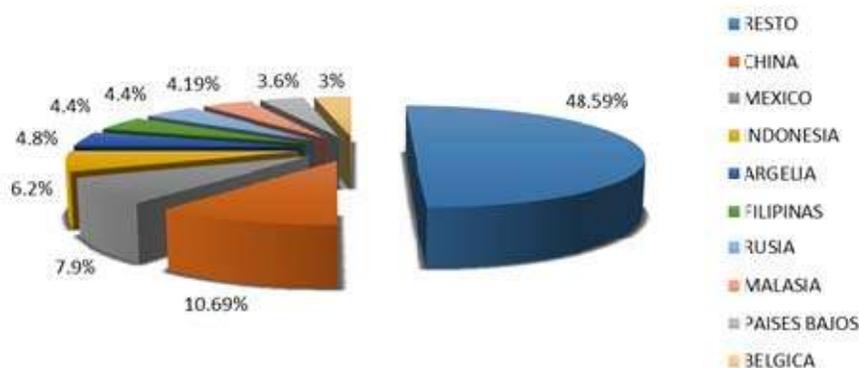


Figura 2. Principales países importadores de leche en polvo

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2016)

2.2. Sistemas de Producción de Bovinos Productores de Leche.

En México, la producción de leche se lleva a cabo en condiciones tecnológicas, agroecológicas y socioeconómicas heterogéneas, por lo que se pueden distinguir sistemas de producción de bovinos de leche que van desde los tecnificados hasta

los de subsistencia en una misma región geográfica, distinguiéndose entre ellos cuatro sistemas productivos bien definidos: i) especializado o intensivo; ii) semi-especializado; iii) doble propósito y; iv) familiar o de traspatio (Tabla 1) (Zárate *et al.*, 2010).

Tabla 1. Características básicas y producción nacional de los sistemas de producción de leche de bovinos en México

Características	Especializado	Semi-especializado	Familiar	Doble propósito
Tamaño del hato*	300-400	180-200	2-20	30-40
Días de lactancia	305	280-305	210-260	120-180
Rendimientos, L vaca ⁻¹ d ⁻¹	20-27	18-20	6-12	3-9
Participación (%)	50.6	21.3	9.8	18.3
Distribución en el país	Centro y norte, zonas áridas y semi-áridas	Centro y norte	Altiplano central y zonas templadas	Sur, zonas tropicales

*= Número de cabezas

Fuente: Arriaga *et al.*, 2013.

En la Tabla 1, se puede observar que aún y cuando la actividad de la producción de leche se practica en la mayor parte del país, los sistemas especializados cubren áreas incluso que pueden catalogarse como adversas para la producción, tales como zonas áridas y semiáridas de México. En cuanto a los sistemas familiares se puede comprobar que estos sistemas a pesar de contar con un reducido inventario de animales en producción (2-20 cabezas/unidad productiva) estos contribuyen con el 30% de la producción de leche total del país (Moreno *et al.*, 2012).

2.2.1. Sistema especializado

El sistema de bovinos productores de leche especializado se caracteriza por contar con ganado genéticamente especializado (Holstein, Suizo y Jersey) los cuales pueden alcanzar una producción ≥ 6 mil L leche vaca⁻¹ año⁻¹ (Robledo, 2015). Además, cuentan con técnicas y tecnologías modernas para la producción. El inventario de animales productivos en este tipo de sistemas es de 230 vientres en

promedio por hato, aunque si bien se pueden encontrar sistemas con inventarios dentro de un rango de 100 a 3,000 vientres por hato (Blanco, 2013). El sistema especializado se encuentra principalmente en el altiplano central, el bajío, el altiplano norte y noroeste, ubicados en climas templados, áridos y semiáridos; sus sistemas de producción son mecanizados, tanto en producción de forrajes, como en ordeño y almacenamiento de la leche; utilizan el sistema de estabulación, forrajes de corte y alimentación de altos niveles de concentrados (Guevara *et al.*, 2009).

El sistema especializado incluye las grandes cooperativas de productores, que se encuentran integradas vertical y horizontalmente (Blanco, 2013). Su participación en la producción de leche a nivel nacional es del 50.6% (Robledo, 2015). Los productores reportan que la duración promedio de lactancia es de 10 meses, intervalo entre partos de 14 meses y utilizan inseminación artificial en 70% (Blanco, 2013).

2.2.2 Sistema semi-especializado

Los sistemas semi-especializados se ubican en el centro y norte del país incluyendo los estados de Zacatecas, Jalisco, Aguascalientes, Chihuahua y Coahuila. Los genotipos más utilizados son Holstein, Pardo Suizo Americano y sus cruza. El ganado se encuentra semi-estabulado, en pequeñas extensiones de terreno, con instalaciones acondicionadas a la agroempresa lechera (FAO, 2005). El tipo de ordeña se realiza con ordeñadora mecánica de pocas unidades y manual, careciendo en la gran mayoría de equipo propio para enfriamiento y conservación de la leche, por lo que, se considera un nivel medio de tecnología en infraestructura y equipo (SAGARPA, 2001). La alimentación está basada en pastoreo, complementada con forraje de corte y concentrado. También presentan cierto tipo de

control productivo y programas de reproducción con inseminación artificial (SAGARPA, 2001).

2.2.3 Sistema doble propósito

Los sistemas de producción de doble propósito se desarrollan principalmente en las regiones tropicales del país, donde utilizan razas Cebuínas y sus cruzas con Suizo, Holstein y Simmental, principalmente (Guevara *et al.*, 2009). Dicho sistema representa el 18.3% de la producción láctea nacional (Guevara *et al.*, 2009). La alimentación se basa en pastoreo (agostaderos establecidos o libre), con el uso mínimo de suplementos alimenticios y ocasionalmente subproductos agrícolas (Ortiz *et al.*, 2005). Las instalaciones son rústicas, construidas con los materiales de la región, en promedio de cabezas por hatos de 40 vacas, con una producción de 580 a 720 L vaca⁻¹ año⁻¹, intervalo entre partos de 17 meses y la duración de la lactancia es de 6 a 7 meses en promedio (Ortiz *et al.*, 2005).

Este sistema se caracteriza por ordeña estacional del 10% de los vientres recién paridos con mayor producción de leche, lo cual presenta una alta estacionalidad, con picos de producción en la época de lluvias (Blanco, 2013). Tienen dos objetivos bien definidos: 1) la producción de leche que comúnmente se ordeña de manera manual con el apoyo del becerro para facilitar la bajada de la leche y, 2) la producción de carne, mediante la venta de becerros al destete (Ortiz *et al.*, 2005). La leche que se comercializa constituye la principal fuente de ingresos para mantener la operación de la unidad de producción, y se destina principalmente para consumo como leche bronca, para la elaboración de quesos de tipo artesanal y para el procesamiento en empresas agroindustriales (Ortiz *et al.*, 2005).

2.2.4 Sistema familiar o de traspatio

Se caracteriza por pequeñas explotaciones que fluctúan entre 3 y 30 vacas que producen aproximadamente de 300 a 700 L vaca⁻¹ año⁻¹; normalmente los integrantes de la familia se encargan de su mantenimiento (Guevara *et al.*, 2009). En este sistema, se utilizan técnicas tradicionales de producción y aprovechan en forma como son los esquilmos de la agricultura (pajas y rastrojos de maíz, sorgo y trigo) para la alimentación del ganado (Guevara *et al.*, 2009). Se calcula que en este tipo de explotaciones, existen más de 100,000 pequeños productores ejidatarios, comuneros y minifundistas que cuentan con 500,000 cabezas de ganado especializado y 1,549 000 cabezas de ganado doble propósito (Guevara *et al.*, 2009).

En el sistema familiar, las inversiones fijas son bajas, ya que se tienen construcciones rústicas, donde el manejo es deficiente, sobre todo, la higiene del ordeño, de lo que resulta un producto de baja calidad que normalmente se expende como leche bronca a “boteros” intermediarios, queseros de la localidad, centros de acopio o directamente al consumidor (Guevara *et al.*, 2009; Blanco, 2013). Su aportación en la producción de leche es del 9.8 % (Robledo, 2015). La ventaja de este sistema es su flexibilidad, pues depende poco de insumos externos y tiene bajos costos, lo que lo hace menos vulnerable a variaciones en los mercados (Ortiz *et al.*, 2005).

2.3. Sector Lechero y su problemática en zonas rurales.

La ganadería bovina mexicana, es considerada como prioridad, la razón de esta importancia es la producción de leche, alimento esencial en la dieta de los mexicanos (Mora, 2012). No obstante, a pesar de ser un sector de gran importancia

presenta problemas que no han permitido su crecimiento acelerado (Secretaría de Economía, 2012). Debido a que la mayor parte de los productores en las zonas rurales son pequeños y tienen una limitada vinculación con los grandes mercados del país, así como, apoyos gubernamentales (créditos, asesoría técnica) lo que genera que afronten enormes dificultades para mantener su rentabilidad (Cavallotti, 2014). Por lo tanto, este sistema enfrenta problemáticas que sólo la necesidad de subsistir y la tenacidad campesina por no renunciar explican que aún se mantengan en la actividad (Cavallotti, 2014).

Para los sistemas de producción de bovinos productores de leche a escala familiar, una de sus principales problemáticas es la disponibilidad de alimento para el ganado (Cavallotti, 2014). Puesto que, la producción de forrajes de calidad, como la alfalfa, demanda gran cantidad de agua, al igual que la producción de granos forrajeros y ello provoca, por lo general, que no estén disponibles para el ganado criado bajo el sistema familiar en cantidades suficientes (Mora, 2012). Esta característica propicia que este tipo de sistemas no pueda competir (cantidad y calidad del producto) con los sistemas especializados o semi-especializados en los mercados en el país (SAGARPA, 2010^a; Secretaría de Economía, 2012).

Aunado a lo descrito en el párrafo anterior, el cambio climático, deterioro de los recursos naturales y la escasez de agua son factores que limitan la producción de leche en todos los sistemas de producción (Cavallotti, 2014), especialmente en los sistemas familiares (Cavallotti, 2014), puesto que dichos sistemas, dependen en mayor grado de las condiciones agroecológicas y, por ello, en épocas de lluvia es donde se expresa su potencial productivo, lo que los conlleva a la sobreoferta de la leche en el mercado y la caída del precio del producto (SAGARPA, 2004). Esta

condición es un fenómeno anual que no ha podido ser eliminado debido a la falta de infraestructura, así como, de estrategias de mercado que minimicen los efectos del ambiente sobre este tipo de sistemas (SAGARPA, 2004).

El hecho del que el sistema familiar se encuentre desprotegido, lo hace vulnerable ante los cambios climáticos y del mercado, por lo que es esencial la búsqueda de estrategias enfocadas principalmente en la parte de la alimentación y nutrición del ganado (SAGARPA, 2010^a). Así mismo, dichas estrategias también deben estar encaminadas a la calidad de la leche, para fortalecer su competencia en el mercado al minimizar que la leche cruda y sus subproductos sean considerados como un riesgo para la salud del consumidor (Moreno, *et al.*, 2012).

2.4. Alternativas nutricionales no convencionales para incrementar la producción de leche en el ganado.

Debido a la situación que enfrenta México con respecto a la demanda de productos lácteos, la ganadería se ha visto en la necesidad de evolucionar, de un sistema extensivo de producción a formas más intensivas y tecnificadas (Torres, 2013). Aunado a ello, varios factores han potencializado estos cambios, entre ellos, el aumento del valor de la tierra, la reducción del área disponible, el costo creciente de la mano de obra, el alto costo de los insumos, la protección del medio ambiente, las exigencias del mercado y la necesidad de lograr mayores ingresos que hagan rentables los sistemas ganaderos (Torres, 2013). No obstante, dicha evolución no ha sido en la totalidad del país, puesto que, aún existen un gran número de sistemas de tipo extensivo y familiar en los cuales debido a la carencia de tecnología y falta de asesoría objetiva, todavía prevalece la implementación de técnicas nutricionales

deficientes que generan ineficiencia productiva y deficiente calidad del producto (SAGARPA, 2010^a).

Desde el punto de vista agroecológico, dichos sistemas presentan el efecto de la estacionalidad, donde en época de estiaje se observa un decremento en la productividad de los animales, lo que hace necesario el uso de suplementos con alto valor nutritivo (SAGARPA, 2010^a). No obstante, dichos suplementos incrementan los costos de alimentación lo cual limita su uso por parte de los pequeños productores lecheros (Arias, 2007). Ello obliga, a investigar nuevas estrategias alimenticias que mejoren el uso de los recursos disponibles en los sistemas de producción, como son la siembra de pastos mejorados y un manejo adecuado de los mismos, lo que constituye la forma más económica de producir leche y carne (FAO, 2007; Torres, 2013). Algunos sistemas alternativos de producción ganadera amigables con el ambiente como los sistemas silvopastoriles en los que se asocian pastos, arbustos y árboles forrajeros, pueden evitar la degradación del suelo, mejorar la gestión de la cuenca hidrográfica y proporcionar un hábitat variado a una amplia variedad de biodiversidad. Estos sistemas bien manejados permiten mejorar tanto la calidad ambiental como la productividad pecuaria (FAO, 2007). No obstante, dentro de otras alternativas que se han implementado en el ganado para aminorar el desfase productivo en sistemas en condiciones agroecológicas desfavorables se encuentran: la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), el Pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov) y la *Moringa oleífera*.

2.4.1. Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)

La caña de azúcar es posiblemente la gramínea de mayor rendimiento en biomasa por unidad de área (397 tn há⁻¹ de materia seca) y de tiempo, superando a otros

forrajes de alto rendimiento como el maíz y el trigo (Urdaneta, 2005). La capacidad de la caña de azúcar de mantener su digestibilidad con la madurez, le proporciona una ventaja importante como alimento para los bovinos, especialmente durante la época de estiaje cuando la mayoría de las gramíneas son poco disponibles y de baja calidad (Urdaneta, 2005).

Este forraje (caña de azúcar) tiene múltiples ventajas: a) Mayor eficiencia en el aprovechamiento de la luz solar para producir biomasa; b) Resistente a condiciones adversas de sequía y exceso de lluvia debido a su rusticidad; c) Aporta altos valores energéticos ($2.10 \text{ Mcal kg}^{-1}$) (Juárez *et al.*, 2009); dicha energía proviene de su alto contenido de azúcares totales (13-15%) (Villar, 2010), d) El contenido de fibra va de 36.1 a 48.1% con una digestibilidad de 50 a 60% (Torres, 2013). Sin embargo, la caña de azúcar es deficiente en el contenido de proteína (3 a 4.3%) y minerales, excepto calcio y potasio, por lo tanto, su adición debe de ser complementada con alimentos ricos en proteína, así como, la adición de minerales extra (Urdaneta, 2005).

Se ha reportado (Urdaneta, 2005) que la adición de forraje y/o harina de caña en bovinos sobre la producción presenta variabilidad (Tabla 2). Es posible que ello se deba a la variedad de caña, así como, a su estado de maduración que puede incidir sobre el contenido de grasa; principal restricción para la producción de leche.

Tabla 2. Producción de leche en vacas suplementadas con caña de azúcar

Tratamientos	L día ⁻¹	Referencia
Caña fresca (18,4 kg día ⁻¹)	8.2	<i>Rodríguez (1998)</i>
Caña fresca (19,7 kg día ⁻¹) + 63 g de urea día ⁻¹	8.6	
Caña fresca (20,3 kg día ⁻¹) + 193 g de urea día ⁻¹	9.1	<i>Araque (2002)</i>
Pastoreo	5,2	
Pastoreo + 1 kg de urea 100 kg ⁻¹ caña integral	5.1	
Pastoreo + 2 kg de urea 100 kg ⁻¹ de caña integral	5.3	<i>Urdaneta (2004)</i>
Pastoreo	49	
6 kg caña integral + 6 kg follaje mata ratón + pastoreo	5.8	
6 kg caña integral + 1,5 kg concentrado + pastoreo	4.8	

L= litros.

Fuente: Urdaneta, 2005

En ensayos con vacas en pastoreo en época de estiaje en Nicaragua, con una dieta de 5 kg de *cratylia*, 15 kg de caña de azúcar, más pastoreo, reportan (Yader, 2009) mayor producción de leche (1.5 L de leche vaca⁻¹ día⁻¹), en contraste a vacas alimentadas convencionalmente. Para el suministro de dicho forraje existen diferentes formas, una de ellas es la *Saccharina* rustica húmeda que es un producto obtenido por fermentación sólida de los tallos de caña de azúcar desprovistos del cogollo y las hojas. En Nicaragua, al suministrar *Saccharina* a vacas en ordeño en pastoreo, durante la época de estiaje, logra incrementar la producción diaria en un promedio de 1.5 a 2 L leche día⁻¹ (INTA, 2007), manteniendo la condición física de los animales en dicha época, similares a las que presentaban a finales del período de lluvias.

2.4.2. El Pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov)

Durante varias décadas este pasto ha constituido en la base de la alimentación de los sistemas de producción lechera especializada en Colombia (Correa, *et al.*, 2008). Ello se debe a que su hábito de crecimiento lo hace sumamente agresivo ante la invasión de otros forrajes, resistente al pisoteo y responde positivamente a la fertilización orgánica y química (Correa, *et al.*, 2008). No obstante, esta gramínea se

encuentra ampliamente distribuida en la región andina, sin embargo, el conocimiento que existe sobre su calidad nutricional y valor alimenticio, es aún muy vago (Tabla 3).

Tabla 3. Composición química del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*, Hoechst. Ex Chiov) en muestras recolectadas en varias localidades del departamento de Antioquia, % MS

	PC	EE	Cen	FDN	FDA	CNE
Promedio	20.5	3.63	10.6	58.1	30.3	13.4
Máximo	27.1	4.71	13.9	66.9	32.8	17.2
Mínimo	15.4	1.63	8.65	51.7	28.3	8.93
D.E	3.26	0.82	1.71	3.91	1.20	2.51
C.V.%	15.9	22.6	16.1	6.73	3.95	18.7
N	39.0	27.0	27.0	36.0	19.0	23.0

¹D. E. = Desviación estándar; PC = proteína cruda; EE = extractor etéreo; Cen = cenizas; FDN = fibra en detergente neutro; FDA = fibra en detergente ácido; CNE = carbohidratos no estructurales (CNE = $100 - (PC + EE + FDN + Cen) + PCIDN$ (Proteína Cruda Insoluble en Detergente Neutro), NRC 2001)

Entre las bondades que presenta el Kikuyo se encuentran: i) contenido de proteína cruda (20.5%), ii) potasio (3.96%), iii) fibra en detergente neutra (58.1%), no obstante, es bajo en carbohidratos no estructurales (13.4%), calcio (0.26%) y sodio. Por otro lado, la alta proporción de ácidos grasos insaturados de esta gramínea, indica que la leche proveniente de bovinos alimentados con el pasto kikuyo, podría incidir en mayor proporción de ácidos linoléico conjugados (Correa *et al.*, 2008).

En Colombia se evaluó el efecto del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) sobre la producción y calidad de la leche en vacas Holstein (Mojica *et al.*, 2009). Los tratamientos evaluados consistieron en tres niveles de pasto kikuyo: 2.6, 3.3 y 4.0 kg MS/100 kg PV. Los animales se suplementaron en el momento de cada ordeño con un alimento balanceado. Se encontró que, el aumento en la oferta forrajera incrementó la producción de leche ($P > 0.001$), en vacas de primer tercio de lactancia, pero no en las vacas de segundo tercio de lactancia. La concentración de proteína aumentó a medida que se incrementó la oferta de kikuyo ($P = 0.06$). Se concluye que el aumento en la oferta de kikuyo de 2.6 a 4.0 kg MS/100 kg PV tiende ($P > 0.05$) a

incrementar la producción de leche y la concentración de proteína en primer tercio de lactancia.

2.4.3. *Moringa oleífera*

La *Moringa oleífera* es un árbol forrajero que crece en todo tipo de suelo ya que aporta una elevada cantidad de nutrientes al suelo, además de protegerlo de factores externos como la erosión, la desecación y las altas temperaturas, debido a que es resistente a la sequía y resistente al frío por corto tiempo, pero no menos de 2 a 3°C (Pérez *et al.*, 2010^a). La *Moringa* tiene un excelente valor nutritivo, diversos autores (Mendieta *et al.*, 2009; Reyes *et al.*, 2006) reportan contenidos de proteína cruda en un rango de 17-26.8%, Fibra detergente neutro de 321.2 a 521 g kg⁻¹ MS y Fibra detergente acida que va de 223.5 a 361 g kg⁻¹ MS. La digestibilidad *in vitro* de la Materia seca en hojas y tallos es de 57 a 79% respectivamente y la energía metabolizable es de 2.27 Mcal kg⁻¹ MS (Rodríguez, 2011).

Es importante señalar que por cada 100 gr de hojas contiene: 1) vitaminas A; 1130 mg, 2) vitamina C; 220 mg, 3) Calcio; 440 mg y, 4) Potasio; 259 mg. García *et al.* (2009) evaluaron a *M. oleífera* en la fase de vivero y en la producción de biomasa para ofrecerlo a los animales como complemento alimentario, y señalaron que es un recurso fitogenético que se debe considerar en los sistemas ganaderos por los valores nutritivos antes mencionados. Garavito (2008) le concede gran importancia a *M. oleífera* en la alimentación animal, ya que por los contenidos de proteína y vitaminas puede ser un suplemento de importancia en la ganadería de leche y de ceba, así como, en la dieta de aves, peces y cerdos, siempre que haya un balance nutricional.

Garavito (2008), considera que este forraje tiene desventajas que deben resolverse previamente, cuando se utiliza el forraje fresco como alimento directo: a) produce un sabor peculiar en la leche si no se dejan transcurrir por lo menos tres horas entre la ingesta y el ordeño; b) en vacas gestantes se incrementa el crecimiento exponencial del feto en útero, por lo que, hay un elevado riesgo de partos prematuros o distócicos. c) alto porcentaje de agua en el forraje fresco y baja presencia de fibra, por lo que, es necesario deshidratar y balancear con fibra tomada de cualquier pasto o residuo de cosecha.

En un experimento realizado por Rodríguez (2011) sobre la alimentación de vacas lecheras con *Moringa Oleífera* fresco o ensilado y su efecto sobre la producción, composición y calidad de la leche, se observó que la producción de leche del tratamiento con *Moringa* ensilado fue ligeramente inferior (9%) respecto a los otros dos tratamientos ($P < 0.05$). La composición de la leche fue igual entre todos los tratamientos ($P > 0.05$). Sin embargo, la leche del tratamiento de *Moringa* fresca presentó un sabor y aroma a hierba, significativamente diferente ($P < 0.001$): ello, a pesar de que la leche era normal en color y apariencia.

2.5. Implementación del nopal como estrategia no convencional en la producción y calidad de la leche.

El nopal (*Opuntia* spp) es una de las plantas más importantes para los mexicanos, ya que sirve como fuente de alimento para humanos, animales domésticos, fauna silvestre, así como, para la conservación de suelos, entre otros usos (Aranda *et al.*, 2010). El nopal (*Opuntia* spp) tiene mayor relevancia en las regiones desérticas y semidesérticas del Norte de México, ya que es resistente a cambios extremos en temperaturas y períodos prolongados de sequía (Financiera Rural, 2011).

Investigaciones realizadas en Baja California Sur demuestran que en los ranchos ganaderos el nopal forrajero se utiliza como alternativa para alimentar ganado caprino, bovino, ovino, conejos, cerdos y aves de corral, obteniéndose respuestas positivas (producción de leche y carne) por parte de los animales (Murillo *et al.*, 2006).

En la periferia de la mayor parte de las ciudades del noroeste de la República Mexicana se encuentran establecidos una gran cantidad de medianos y pequeños establos lecheros que utilizan el nopal como base principal en las raciones diarias que se les da a las vacas lecheras (López, 2011). Esta práctica se viene realizando desde el siglo pasado, con la creencia popular de que el uso del nopal incrementa la producción de la leche. Sin embargo, existen opiniones de varios investigadores (Cottier, 1934 y Blanco, 1966; citados por López, 2011) que afirman que proporcionar nopal al ganado lechero, aumenta la producción y la calidad de la leche, así como la consistencia, durabilidad y color de la mantequilla producida y consecuentemente es más resistente a la oxidación.

La implementación del nopal en los diversos sistemas de producción animal, ha llevado a la necesidad de hacer más eficiente su uso, ya sea en condiciones naturales como cultivadas (Reveles y Flores, 2010). En el norte y centro de México, el nopal forrajero ocupa el 15.8% del área total de pastoreo, haciendo al *Opuntia* como fuente de alimento complementario para animales durante la estación época de estiaje. *O. ficus-indica* se caracteriza por presentar alrededor del 5% de proteína, tiene un alto contenido de carbohidratos solubles (61%) y calcio; 47% fibra detergente neutro (NDF); 16% de fibra detergente ácido (ADF) y digestibilidad *in situ* de 68% a las 48 h (Medina *et al.*, 2006).

Los estudios tradicionales se han referido que *Opuntia* spp se utiliza como recurso de forraje de supervivencia, cuando hay una falta general de ingredientes apropiados para alimentar el ganado. González *et al.* (1998) recomiendan utilizar entre el 20 y el 30% de *Opuntia* como materia seca (MS) para aumentar la producción de leche en el ganado. Se ha reportado que, el uso de nopal como suplemento dietético para vacas lecheras aumenta la producción de leche (López *et al.*, 2003). Hay reportes de incrementos de 3.7 L vaca⁻¹ día⁻¹ en bovinos alimentados con una dieta complementada con 12 kg *O. ficus-indica* vaca⁻¹ día⁻¹ (Pérez *et al.*, 2010^b; Ortiz *et al.*, 2012). Sin embargo, se ha establecido que el consumo diario por animal podría estar entre 12 y 20 kg de nopal vaca⁻¹ día⁻¹ para obtener el mayor rendimiento en producción de leche ($P < 0.05$), puesto que una complementación por arriba de 20 kg vaca⁻¹ día⁻¹ no incrementa la producción de leche vaca⁻¹ día⁻¹ (Pérez *et al.*, 2015) No obstante, en condiciones de pastoreo durante el estiaje se tienen reportes de consumo de nopal de hasta 90 kg animal⁻¹ d⁻¹ (López *et al.*, 2003).

García *et al.* (2005) demostraron que cuando la dieta de las vacas se complementa con nopal no sólo se incrementa la producción de leche, sino también se mejora la calidad y la vida de anaquel de los productos lácteos. En cuanto a la calidad de la leche y los productos lácteos, se ha demostrado que la leche en la ubre de la vaca está libre de patógenos (considerando la ausencia de un proceso infeccioso), pero una vez que se ha ordeñado las vaca, la leche es susceptible de contaminarse con altas cargas bacterianas parte de estas pueden ser patógenas, provenientes del suelo o estiércol presente en las ubres de las vacas (Magariños, 2000).

En estudios preliminares sobre el efecto de la inclusión de nopal a la dieta de bovinos productores de leche sobre la calidad de la leche cruda se encontraron

valores de UFC ml⁻¹, para mesófilas aerobias, de 0.4x10² y 50.1x10² en leche cruda proveniente de vacas alimentadas con nopal y sin nopal, respectivamente (P< 0.05) (Ortiz *et al.*, 2012). De acuerdo con la NMX-F-700-COFOCALEC-2004, la leche cruda se considerada dentro de los parámetros de calidad cuando el número de bacterias mesófilas aerobias sea <1x10⁶ UFC ml⁻¹. Por lo tanto, la leche cruda derivada de ambos tratamientos es de calidad microbiológica aceptable en lo que respecta a mesófilas aerobias. Sin embargo, la leche cruda derivada de vacas alimentadas con nopal presentó valores inferiores en UFC para mesófilas aerobias (Ortiz *et al.*, 2012).

En lo referente a UFC ml⁻¹ de Coliformes totales en leche cruda, se encontró que la leche derivada de vacas alimentadas con nopal fue de 1.6x10² UFC ml⁻¹ vs 31.6x10² UFC ml⁻¹ de coliformes totales en leche cruda proveniente de vacas alimentadas sin nopal. Al respecto, la NMX-F-700-COFOCALEC-2004 establece que la leche cruda no debe de presentar un valor > 100 UFC ml⁻¹ (1x10² UFC ml⁻¹), valor que no se alcanzó en la leche de vacas alimentadas con nopal y por lo tanto la leche cruda proveniente de ambos grupos de vacas no cumplió con los criterios de calidad microbiológica para Coliformes. No obstante, el menor número de Coliformes se encontró en la leche cruda obtenida de vacas alimentadas con una dieta complementada con nopal (Ortiz *et al.*, 2012).

La disminución de las cuentas bacteriana de UFC ml⁻¹ de bacterias mesófilas aerobias y coliformes totales, puede estar relacionado con los metabolitos secundarios del nopal. Puesto que se atribuye que el nopal o sus partes contienen compuestos fenólicos con actividad antibacteriana (Ortiz *et al.*, 2013^b; Ortiz *et al.*, 2016). Al respecto, los principales metabolitos secundarios encontrados en cladodios

de *Opuntia* spp son los polifenoles (Castillo *et al.*, 2011), los cuales tienen la función de proteger a la planta de factores abióticos y bióticos como la luz solar y patógenos (bacterias, hongos, virus), y estos son liberados cuando la planta sufre algún daño físico (Sánchez *et al.*, 2010).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las conclusiones de las investigaciones preliminares con respecto al efecto de la complementación de la dieta de vacas con nopal sobre la producción y calidad de la leche, determinan que dicha dieta es una alternativa viable para los sistemas de producción de bovinos lecheros a escala familiar y en época de estiaje. Ello es importante, ya que la adición de nopal en la alimentación de bovinos productores de leche no sólo incide en un incremento en la producción, sino además, impacta de manera positiva sobre la inocuidad de la leche y sus subproductos, componente clave para evitar el riesgo a la salud de los consumidores. Debido a que la leche se utiliza para el autoconsumo, así como, para la elaboración artesanal de productos lácteos. Puesto que, la adición de nopal a la dieta del ganado contribuye a mejorar la calidad bacteriológica de la leche proveniente de sistemas familiares lo que coadyuvaría a la oferta de leche en el mercado informal y sin control sanitario. No obstante, todos los resultados de las investigaciones referidas en este apartado se han obtenido en época seca y en vacas Holstein semi-estabuladas. Por ello, es necesario investigar si dicha dieta también beneficia a los sistemas de producción de bovinos especializados en producción láctea (vacas Holstein) bajo confinamiento total y en época de lluvia.

4. HIPÓTESIS

La complementación de 12 kg de nopal (*O. ficus-indica*) dia^{-1} en base fresca a la dieta de vacas Holstein bajo confinamiento total y en época de lluvia, incrementa la producción de leche y disminuyen las cuentas bacterianas (UFC ml^{-1}) de mesófilas aerobias, coliformes totales y *Escherichia coli* en leche cruda.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo General

- Determinar el efecto del nopal (*Opuntia ficus-Indica*) como complemento de la dieta de vacas Holstein sobre la producción y calidad microbiológica de la leche cruda bajo confinamiento total y en época de lluvia.

5.2. Objetivos Específicos

- Determinar el efecto del nopal como complemento en la dieta de vacas Holstein sobre la producción de leche bajo confinamiento total y en época de lluvia.
- Evaluar el efecto del nopal como complemento en la dieta de vacas Holstein sobre las cuentas bacterianas de mesófilas aerobias en leche cruda bajo confinamiento total y en época de lluvia.
- Establecer el efecto del nopal como complemento en la dieta de vacas Holstein sobre las cuentas bacterianas de coliformes totales en leche cruda bajo confinamiento total y en época de lluvia.
- Determinar el efecto del nopal como complemento en la dieta de vacas Holstein sobre las cuentas bacterianas de *Escherichia Coli* en leche cruda bajo confinamiento total y en época de lluvia.
- Comparar el efecto de las dietas (convencional vs 12 kg nopal + alimento convencional) sobre la producción y calidad microbiológica de la leche de vacas Holstein bajo confinamiento total y en época de lluvias.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1. Material

El estudio se realizó en el sector de bovinos productores de leche, unidad Posta de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, ubicada en el Km. 9 ½ de la Carretera Morelia-Zinapécuaro, en el Municipio de Tarímbaro, Michoacán. La extensión territorial del Municipio de Tarímbaro es de 256.95 km² y representa el 0.43% del total de la superficie del Estado. El Municipio de Tarímbaro colinda al norte con Copándaro y Cuitzeo, al este con Álvaro Obregón, al sur con Morelia y Charo, y al oeste con Chucándiro. Su relieve está constituido por el sistema volcánico transversal y los cerros Tecolote, de Oro, de Tlacuache y la calle de Tarímbaro. La temperatura oscila de 2.5 a 25.1°C con clima templado con lluvias en verano (INEGI, 2009).

Animales: Se utilizaron 14 vacas Holstein del sector de Bovinos Productores de Leche de la Posta Veterinaria de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-UMSNH. Las edad de las vacas oscilaban entre el 2^{do} y 4^{to} parto, cuyo promedio de días de lactancia era de 172±104 días y una producción láctea promedio de 20.1± 5.7 litros vaca⁻¹. El alimento convencional que recibieron las vacas en este sistema se basó en concentrado (1.5 kg vaca⁻¹ día⁻¹), alfalfa (30 kg vaca⁻¹ día⁻¹) y avena (10 kg vaca⁻¹ día⁻¹) (Tabla 3).

6.2. Métodos.

Se evaluó la producción láctea derivada de vacas cuya dieta estuvo complementada con nopal (*O. ficus-indica*). Con el total de las vacas seleccionadas (n=14) se formaron dos grupos (G): G. Control (n = 7 vacas), el cual se alimentaron sin alterar

la alimentación implementada en el sistema (alimento convencional). G. Experimental: (n = 7 vacas), el cual se alimentaron conforme a las estrategias nutricionales implementadas en el sistema, más 12 kg de nopal vaca⁻¹ día⁻¹, como complemento de la dieta (Tabla 4).

Tabla 4. Aporte de proteína cruda y materia seca de los ingredientes de la dieta para bovinos productores de leche de acuerdo al grupo

Dieta para vacas del G. Control			
Ingrediente	(Kg)	MS (%)	PC (%)
Avena	10	0.92	0.07
Alfalfa	30	0.25	0.17
Concentrado	1.5	0.90	0.12
Kg TOTALES DÍA⁻¹	41.5		
Dieta para vacas del G. Experimental			
Ingrediente	(Kg)	MS (%)	PC (%)
Avena	10	0.92	0.07
Alfalfa	30	0.25	0.17
Concentrado	1.5	0.90	0.12
Nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>)	12	0.09	0.05
Kg TOTALES DÍA⁻¹	53.5		

MS= Materia Seca, PC=Proteína Cruda

El nopal se ofreció fresco, en trozos de 3 x 3 cm aproximadamente y con no más de 7 días de haberse cosechado. En ambos grupos (G. Control y G. Experimental) se midió el consumo de alimento diario durante el periodo experimental. Se realizó un análisis bromatológico para la dieta complementada con nopal y sin nopal. La producción láctea se midió en ambos grupos todos los días; dos veces por día durante el periodo experimental. Con la información obtenida se construyó una base de datos para su análisis estadístico mediante la metodología de modelos mixtos con mediciones repetidas (SAS, 2000). Las diferencias estadísticas entre grupos y periodos de producción se obtuvieron mediante el método de medias de mínimos cuadrados (SAS, 2000).

Para el análisis de la calidad bacteriológica de la leche de ambos grupos (G. Testigo y G. Experimental), ésta se determinó con 1 muestra día⁻¹ de leche cruda (10 ml c/u); obtenida de la leche total producida de cada grupo. Las muestras fueron recolectadas, etiquetadas y transportadas a 4 °C para su procesamiento (NOM-109-SSA1-1994). La preparación y análisis microbiológico de las muestras se realizaron bajo los criterios establecidos por las normas oficiales mexicanas NOM-113-SSA1-1994, NOM-092-SSA1-1994 y NOM-210-SSA1-2014 para el conteo de las unidades formadoras de colonias (UFC) ml⁻¹ de coliformes totales (CT), bacterias mesófilas aerobias (BMA) y *Escherichia coli* (*E. coli*), respectivamente. La diluciones de las muestras se realizaron en base a 1 ml de leche cruda en 9 ml de agua Peptonada (1%; 0.85% NaCl) hasta la dilución 10⁻⁴ (NOM-110-SSA-1994). Las diluciones que se inocularon para el conteo de UFC ml⁻¹, fueron 10⁻², 10⁻³ y 10⁻⁴, la inoculación de CT se realizó en el medio de Agar Bilis Rojo Violeta, para BMA se utilizó Agar Cuenta Estándar y para *E. coli* fue Agar Eosina y Azul de Metileno. La incubación se realizó a 37 °C para su conteo a 24 horas para CT y *E. coli* y 48 horas para BMA. El conteo de las unidades formadoras de colonias se realizó mediante un contador de bacterias digital (Quebec). Con los datos obtenidos se elaboró una base de datos para su análisis estadístico, previa transformación de los valores a logaritmos (Log₁₀), mediante la metodología de los modelos lineales generalizados (GLM) (SAS, 2000). Las diferencias estadísticas entre grupos se obtuvieron mediante el método de medias de mínimos cuadrados (SAS, 2000).

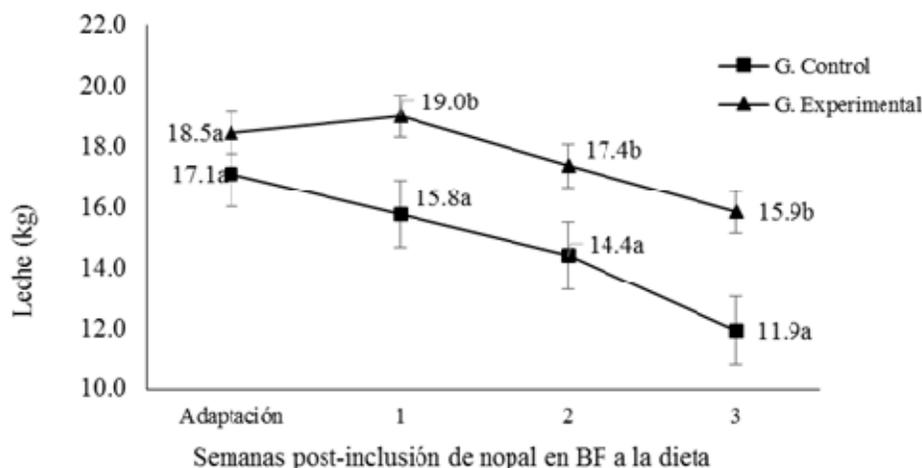
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Efecto de la dieta complementada con nopal sobre la producción de leche de vacas Holstein bajo confinamiento total y en época de lluvias.

El análisis de los resultados sobre producción de la leche de vacas Holstein alimentadas con una dieta complementada con nopal (*O. ficus-indica*), mostraron efecto de grupo ($P=0.0006$), interacción grupo*semana ($P=0.0211$) y de la covariable día de lactancia ($P=0.0003$). Resultados que concuerdan con lo observado por Pérez *et al.* (2010^b) y Ortiz *et al.* (2012), al evaluar una dieta para bovinos productores de leche (Holstein), complementada con 12 kg de nopal vaca⁻¹ día⁻¹ y su efecto sobre la producción de leche. Al respecto del efecto de grupo, se observó que la producción de leche en el Grupo Experimental (G. Experimental) fue mayor ($P<0.05$) en comparación con la producción del Grupo Control (G. Control): 17.6 y 14.8 kg vaca⁻¹ día⁻¹, respectivamente. Es decir que las vacas que consumieron nopal produjeron 2.8 kg vaca⁻¹ día⁻¹ más que las vacas que no consumieron nopal.

En lo que respecta a la producción de leche de acuerdo a la interacción grupo*semana, esta fue similar en ambos grupos analizados ($P>0.05$) en la semana de adaptación a la dieta. Sin embargo, a partir de la 1^a semana de la fase experimental se encontró que, el G. Experimental (vacas que consumieron nopal) presentó un incremento ($P<0.05$) de 3.2, 3.0 y 4.0 kg de leche vaca⁻¹ día⁻¹ en la 1^a, 2^a y 3^{ra} semana post-adaptación de la dieta, ello en comparación con la producción del G. Control (Figura 3). No obstante, este incremento en la producción de leche, se pudo observar que, conforme se incrementaron las semanas de monitoreo, la producción de leche de ambos grupos disminuyó ($P<0.05$) (Figura 3 y 4).

Posiblemente, debido a los días de lactancia en el que se encontraban las vacas de cada grupo al iniciar la fase de experimentación (172 ± 104 días).



G = grupo; BF=base fresca
Literales a, b indican diferencias ($P < 0.05$) dentro de días de lactancia

Figura 3. Medias de mínimos cuadrados de producción de leche (kg) de vacas Holstein bajo confinamiento total y alimentadas con una dieta complementada con 12 kg de nopal (*O. ficus-indica*) en base fresca $\text{día}^{-1} \text{ vaca}^{-1}$

Se ha determinado que la producción de leche de las vacas comienza a descender a partir del día 100 de lactación y, conforme aumentan los días de lactancia, el descenso es más pronunciado (Fernández *et al.*, 2011). Aspecto que concuerda con los resultados encontrados en esta investigación (Figura 3). No obstante, en el G. Control (vacas sin inclusión de nopal en la dieta) la producción de leche decreció en $0.048 \text{ kg día}^{-1}$ ($P < 0.001$), valor mayor ($P < 0.05$) al observado en el G. Experimental, en donde se estimó $-0.015 \text{ kg de leche día}^{-1}$ ($P < 0.001$) (Figura 4); ello de acuerdo con los estimadores de la regresión lineal (β_0 y β_1).

En relación a la mayor producción de leche en el G. Experimental, en comparación con el G. Control, esta podría estar relacionada con una mejor digestibilidad ruminal; misma que se asocia a la mayor fermentación microbiana provocada por la ingesta

de nopal. Puesto que se ha establecido que, los cladodios del nopal tienen una digestibilidad (*in vitro*) hasta de 77% (Tegegne, 2001). Además, están constituidos por 61% de carbohidratos no estructurales (rápidamente fermentables) y únicamente 8% de fibra cruda (Torres, 2011). En este sentido, el incremento de la fermentación microbiana también se relaciona con la modulación de la microbiota del rumen, misma que pudiera favorecer al aumento de los ácidos grasos volátiles (AGV): principal fuente de energía de mantenimiento y producción en rumiantes (Nava y Díaz, 2001).

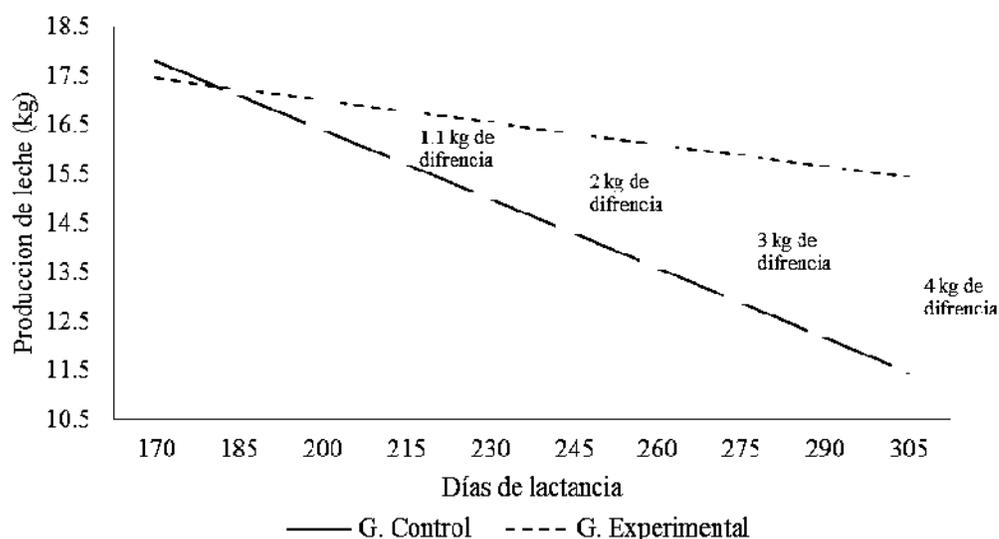


Figura 4. Estimación lineal de la producción de leche (kg) de vacas Holstein bajo confinamiento total y alimentadas con una dieta complementada con 12 kg de nopal (*O. ficus-indica*) en base fresca día⁻¹ vaca⁻¹

Medina *et al.* (2006), encontraron que el aumento de AGV por efecto de la dieta complementada con nopal favoreció, en particular, la formación de propionato (12.02 nM), el cual proporciona entre 25 y 55% de la síntesis de glucosa, misma que puede ser canalizada para la síntesis de la leche. Aspecto que podría explicar el incremento de la producción de leche en el G. Experimental (Figura 3 y 4). Actualmente se ha establecido que, la modulación de la microbiota ruminal podría

estar determinada por los metabolitos secundarios presentes en las plantas que son utilizadas como insumos de la dieta de los ruminantes, tal como sería el caso de los cladodios de *O. ficus-indica* que poseen estos metabolitos (Dib *et al.*, 2013; El- Mostafa *et al.*, 2014). Daglia, 2012, determinó que estos compuestos presentan actividad antimicrobiana y que pueden afectar a ciertas poblaciones de microorganismos ruminales, principalmente a las bacterias metanogénicas (Hess *et al.*, 2003; Sirohi *et al.*, 2014; Jayanegara *et al.*, 2014; Pal *et al.*, 2015); lo que podría favorecer el crecimiento de poblaciones bacterianas con capacidad de producir AGV's y mejorar el rendimiento productivo de las vacas (Cardozo, 2007; Chas *et al.*, 2006).

De Nardi *et al.* (2016), encontraron que la suplementación alimenticia de bovinos con 100 mg de polifenoles (componentes de los metabolitos secundarios) día⁻¹ incrementan la diversidad microbiana del rumen. Por el contrario, Aguiar *et al.* (2014) y Paula *et al.* (2016) encontraron que la adición de extractos con diferentes concentraciones de polifenoles (3.8 a 50.8 mg kg⁻¹ de materia seca día⁻¹) en la dieta de vacas en lactación, causando: a) incremento en la concentración de acetato ruminal, b) disminución de la producción de nitrógeno amoniacal y, c) mayor síntesis y digestibilidad de proteína microbiana. En este sentido, se ha observado que, la concentración de polifenoles en *Opuntia spp* se encuentra en un rango de 396.7 a 1460.0 mg kg⁻¹ de materia seca (El-Mostafa *et al.*, 2014). De aquí que, la ingesta del nopal puede explicar el incremento de la producción de leche en vacas y los resultados de esta investigación; sustentado esto, en el rico contenido de polifenoles que contienen estas cactáceas.

7.2 Efecto de la dieta complementada con nopal sobre la calidad microbiológica de la leche cruda de vacas Holstein bajo confinamiento total y en época de lluvias.

En relación a la calidad microbiológica de la leche cruda, se encontró efecto del grupo y la interacción grupo*semana, sobre el número de unidades formadoras de colonia (UFC ml⁻¹) de bacterias mesófilas aerobias (BMA), coliformes totales (CT) y *Escherichia coli* (*E. coli*). Sin embargo, para *E. Coli* la interacción grupo*semana no afectó las UFC ml⁻¹ (Tabla 5).

Tabla 5. Análisis de efectos fijos para UFC ml⁻¹ de bacterias en leche cruda

F de V	Mesófilas aerobias			Coliformes Totales			<i>Escherichia Coli</i>		
	Gl	F	Pr>F	Gl	F	Pr>F	Gl	F	Pr>F
Grupo	1	12.24	0.001	1	6.72	0.01	1	5.48	0.02
Grupo*Semana	8	2.17	0.03	8	2.21	0.03	8	1.59	0.14

En lo referente al efecto de grupo sobre las UFC ml⁻¹ de BMA y CT, los resultados concuerdan con lo encontrado por Ortiz *et al.* (2012), en donde se evaluaron dos grupos de vacas Holstein en época de estiaje alimentadas con insumos convencionales para este tipo de animales, sin embargo, uno de los grupos recibió además 12 kg de nopal en base fresca (BF) vaca⁻¹ día⁻¹ y se observó que el grupo alimentado con nopal (*O. ficus-indica*) presentó menor carga bacteriológica de BMA y CT en leche cruda. En relación a la interacción grupo*semana, no se encontró información sobre este efecto en investigaciones relacionadas con el consumo de nopal y su efecto (por semana) sobre la carga bacteriana en leche cruda de vacas.

Con respecto a la carga bacteriana (UFC ml⁻¹) por grupo, se observó en la presente investigación que, la leche cruda proveniente de vacas del G. Experimental presentó menor número de UFC ml⁻¹ de BMA, CT y *E. coli* (P<0.05), en comparación con la

carga bacteriana de la leche proveniente de vacas del G. Control (Tabla 6). Así, por ejemplo, se encontró 316.2×10^3 de UFC ml^{-1} para BMA en leche proveniente del G. Control vs 100.0×10^3 UFC ml^{-1} para BMA en la leche de vacas del G. Experimental, ambos promedios diferentes entre sí ($P < 0.05$) (Tabla 6).

Tabla 6. Medias de mínimos cuadrados para bacterias (UFC $\text{ml}^{-1} \times 10^3$) en leche cruda de acuerdo al grupo

Bacteria	Grupo Control		Grupo Experimental	
	Promedio (Log_{10})	\pm	Promedio (Log_{10})	\pm
Mesófilas aerobias	316.2 ^a	0.001	100.0 ^b	0.001
Coliformes Totales	31.6 ^a	0.001	19.9 ^b	0.001
<i>Escherichia Coli</i>	100.0 ^a	0.001	50.1 ^b	0.001

\pm = Error Estándar

Literales ^{a, b} indican diferencias ($P < 0.05$) dentro de fila

Ortiz *et al.* (2012), determinaron que la leche cruda obtenida de vacas alimentadas con *O. ficus-indica*, presentaba menor número de UFC ml^{-1} de BMA y CT (0.4×10^2 y 1.6×10^2 , respectivamente) en comparación con la leche obtenida de vacas alimentadas sin adición de nopal (50.1×10^2 y 31.6×10^2 UFC ml^{-1} de BMA y CT, respectivamente). Aspecto (disminución de carga bacteriana en leche) que concuerda con los resultados de la presente investigación (Tabla 6). No obstante, al comparar los resultados de Ortiz *et al.* (2012) con los obtenidos en este trabajo de investigación se puede observar que, la carga bacteriana en leche cruda para BMA y CT fue menor a la encontrada en esta investigación (316.2×10^3 y 31.6×10^3 UFC ml^{-1} para BMA y CT, respectivamente; Tabla 6). Posiblemente estas diferencias estuvieron relacionadas con los efectos ambientales (época de estiaje vs época de lluvias) y a las técnicas utilizadas en cada sistema de producción analizados (Rojas, *et al.*, 2014): en época de estiaje y en Uruapan Michoacán para Ortiz *et al.* (2012) y en época de lluvias y en Tarímbaro Michoacán para la presente investigación.

La disminución de UFC ml⁻¹ de BMA y CT en leche cruda proveniente de las vacas del G. Experimental posiblemente pudo estar relacionado con las sustancias o compuestos químicos del nopal, quienes son los que realmente tienen efecto sobre los microorganismos que demeritan la calidad bacteriológica de la leche cruda (Delgado, 2016). El efecto antibacteriano del nopal, pudiera asociarse a las defensas químicas que poseen este tipo de plantas y que son parte constitutiva de las mismas (metabolitos secundarios) (Mysore *et al.*, 2004; Glazebrook, 2005; Thatcher *et al.*, 2005; Wiermer *et al.*, 2005). Los metabolitos secundarios que se han identificado en algunas cactáceas y en otro tipo de plantas son los aceites esenciales, sesquiterpenos, lactonas, cetonas, ácidos fenólicos, flavonoides y taninos; mismos que presentan actividad antimicrobiana, ya que inhiben el crecimiento de bacterias y hongos (González, 2014). Tanto en flores como en cladodios y frutos de *O. ficus-indica* se han identificado fitoquímicos con propiedades funcionales (Stintzing y Carle, 2005; Livrea y Tesoriere, 2006) como los fenoles (Scalbert *et al.*, 2005); entre los que se encuentran los ácidos fenólicos, flavonoides y taninos, (Manach *et al.*, 2004). Dichos compuestos fenólicos son parte de la resistencia al ataque de patógenos (Daglia, 2012).

Existen evidencias de que los ácidos fenólicos (cumarico, protocatecuico, gálico ferulico, hidroxibenzoico y salicílico) juegan un papel importante en la resistencia al estrés y ataque de patógenos; el ácido hidroxibenzoico, presenta actividad antimicrobiana, mientras que el ácido gálico posee actividad bacteriostática (Guevara *et al.*, 2010). Estos fenoles ya han sido identificados también en *O. ficus-indica* (en variedades comerciales y silvestres). Independientemente de su origen biocintético (plantas, algas, bacterias y hongos) se ha demostrado que las moléculas citadas anteriormente tienen funciones biológicas similares; por ejemplo,

antioxidantes, antivirales, antibacteriana (Kahdem y Marles, 2010). Por lo que posiblemente, los compuestos fenólicos presentes en el nopal sean los responsables de la disminución de BMA y CT, en leche cruda de bovinos; tanto cuando se alimenta a las vacas con una dieta complementada con nopal, como cuando el nopal es adicionado directamente a la leche cruda (Ortiz *et al.*, 2013^b).

Para el caso de *E. Coli*, se pudo observar (Tabla 6) que la leche cruda proveniente del G. Experimental la carga bacteriana fue menor ($P < 0.05$) en comparación con las UFC ml^{-1} en la leche de las vacas del G. Control: 50.1×10^3 y 100.0×10^3 , respectivamente. Posiblemente esta disminución se deba al efecto de los compuestos metabólicos secundarios presentes en el nopal (*O. ficus-indica*), puesto que se han evaluado diferentes extractos de esta planta y se ha evidenciado que poseen actividad antimicrobiana frente a bacterias patógenas como *E. coli* O157:H7, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterococcus faecium*, *Salmonella spp*, *Listeria monocytogenes*, *Vibrio cholerae*, entre otras más y en algunos casos éste efecto perdura hasta por diez semanas (Kim *et al.*, 2002; Mokbel and Suganuma, 2006; Lou *et al.*, 2012; Umar *et al.*, 2013).

La acción de los fenoles (compuesto de los metabolitos secundarios) sobre las bacterias, de acuerdo con Sánchez *et al.* (2010), puede establecerse a partir de que estos compuestos dañan la membrana celular, provocan la disminución del pH citoplasmático y la producción de ATP. Ultee *et al.* (2002), determinaron que la actividad antimicrobiana de los fenoles se debe a su anillo aromático y principalmente al grupo hidroxilo (-OH), con el que cuentan los fenoles (a veces con más de uno). Con el -OH, los fenoles pueden actuar como acarreadores de cationes monovalentes del citoplasma al espacio extracelular; al llegar un fenol al citoplasma

intercambia su protón hidrogeno (H⁺) por un ion potasio (K⁺) u otro catión (Ultee *et al.*, 2002). Este intercambio provoca la despolarización de la membrana celular (Whiteaker *et al.*, 2001) y, la despolarización o polarización de la membrana celular es considerado como daño en la misma (Yuroff *et al.*, 2003; Bot y Prodan, 2009), afectando la homeostasis y finalmente muerte celular (Ultee *et al.*, 2002).

En relación a los resultados bacteriológicos de la leche cruda de acuerdo a la interacción grupo*semana, se observó que, tanto en la semana de adaptación como la 1^a semana post-adaptación a la dieta de nopal, las UFC ml⁻¹ promedio de BMA, CT y *E. coli* fueron iguales (P>0.05) en ambos grupos evaluados (Tabla 7). No obstante, en la 2^a semana de monitoreo, es donde se observó diferencias entre grupos en los promedios de las UFC ml⁻¹ de las diferentes bacterias analizadas y donde la leche de las vacas del G. Experimental, mostró disminución de las bacterias analizadas (Tabla 7). Sin embargo, en la 3^{ra} semana post-adaptación a la dieta de nopal se encontró que ambos grupos presentaron UFC ml⁻¹ bacteria⁻¹ similares (P>0.05). Pero, además, la carga bacteriana de BMA, CT y *E. coli* se incrementó en comparación con la semana de adaptación, 1^a y 2^a semana de monitoreo (P<0.05) (Tabla 7).

Tabla 7. Medias de mínimos cuadrados para cuentas bacterianas (UFC ml⁻¹ x10³) en leche cruda de vacas Holstein de acuerdo al grupo

Semana	Mesófilas aerobias		Coliformes totales		<i>E. Coli</i>	
	G. Control	G. Exp	G. Control	G. Exp	G. Control	G. Exp
Adaptación	158.5 ^{a1} ±0.001	125.9 ^{a1} ±0.001	31.7 ^{a1} ±0.001	31.7 ^{a1} ±0.001	50.1 ^{a1} ±0.001	50.1 ^{a1} ±0.001
1	125.9 ^{a1} ±0.001	79.4 ^{a1} ±0.001	31.7 ^{a1} ±0.001	31.7 ^{a1} ±0.001	79.4 ^{a1} ±0.001	50.1 ^{a1} ±0.001
2	251.2 ^{a1} ±0.001	79.4 ^{a2} ±0.001	25.1 ^{a1} ±0.001	7.9 ^{b2} ±0.001	63.0 ^{a1} ±0.001	25.1 ^{a2} ±0.001
3	794.3 ^{b1} ±0.001	158.5 ^{b2} ±0.001	79.5 ^{b1} ±0.001	25.1 ^{b2} ±0.001	199.6 ^{b1} ±0.001	50.1 ^{a2} ±0.001

±= Error Estándar; G= Grupo; Exp= Grupo Experimental
 Literales ^{a, b} indican diferencias (P<0.05) dentro de columna
 Numerales ^{1, 2} indican diferencias (P<0.05) dentro de fila/bacteria

El comportamiento de la 3^{ra} semana de monitoreo (Tabla 7) posiblemente se debió al cambio de ordeñador (práctica común en el sistema analizado), así como, el incremento de humedad provocado por una mayor cantidad de lluvia en dicha semana. Gonzáles *et al.* (2010), SAGARPA (2010b) y Rojas *et al.* (2014), han establecido que, los elevados parámetros de las UFC generalmente se asocian con técnicas deficientes para la higiene y salud de la ubre durante la ordeña: limpieza y desinfección de la glándula mamaria, así como, lavado y desinfección de equipos y utensilios de ordeño. Por lo general, en la época de lluvia, es donde se incrementan las infecciones de la glándula mamaria y eso se debe en gran parte a la gran cantidad de material orgánico e inorgánico húmedo que se adhiere a la ubre de la vaca y ante la ausencia de higiene de la misma permite un mayor penetración y reproducción de agentes patógenos en la glándula mamaria mismos que alteran la calidad bacteriológica de la leche (Castro, 2010; Pinzón *et al.*, 2009).

8. CONCLUSIONES

La complementación de la dieta en ganado bovino con 12 kg de nopal en base fresca $\text{vaca}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, adicionado directamente a los animales, permite mejorar la producción de leche ($2.8 \text{ kg vaca}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) en vacas Holstein con más de 172 días de lactación. En este sentido, vacas con más de cien días de lactancia presentan un descenso en su producción. Pero, la ingesta de nopal permite que el descenso de la producción de leche no sea tan drástico como en el caso de las vacas que no consumen una dieta complementada con nopal.

En cuanto a la calidad microbiológica de la leche cruda, la complementación de la dieta en ganado bovino con 12 kg de nopal en base fresca $\text{vaca}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, adicionado directamente a los animales, logra reducir las cuentas bacterianas (UFC ml^{-1}) de la leche, específicamente de mesófilas aerobias, coliformes totales y *E. coli*. Aspecto que permite establecer que el nopal, como parte de la dieta de las vacas, es una alternativa viable para incrementar la calidad de la leche, sobre todo en los sistemas de producción a escala familiar donde no se aplican las técnicas de higiene y salud de la ubre.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Aguiar, S. C. D., Paula, E. M. D., Yoshimura, E. H., Santos, W. B. R. D., Machado, E., Valero, M. V. y Zeoula, L. M. 2014. Effects of phenolic compounds in propolis on digestive and ruminal parameters in dairy cows. *Revista Brasileira de Zootecnia*.43:4:197-206.
- Aranda, O. G., Miranda, R. L. A., Flores, V. C., Hernández, M. O., García, U. G., Flores, B. H. 2010. Enriquecimiento Proteico del nopal para la Alimentación Animal. Posgrado en Producción Animal. En Línea <https://chapingo.mx/produccionanimal/index.php/productos/121-11-enriquecimiento-proteico-del-nopal-para-alimentacion-animal>
- Arias, A. R., 2007. Alternativas de producción ganadera amigables con el medio ambiente. Manejo silvopastoril o Forestogadero. Producción y manejo de pasturas. 9p. (En línea) http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/manejo%20silvopastoril/75-produccion.pdf
- Arriaga, J. C. M., Heredia, N. D., Martínez, G. C. G., Rayas, A. A. A. 2013. Importancia de los Sistemas de Producción de Leche a Pequeña Escala en México. Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR). En memoria del 1er Congreso Nacional de Producción, Calidad, Transformación, Comercialización y Nutrición de la Leche y sus Derivados.
- Blanco, O. M. 2013. Zootecnia de Bovinos Productores de Leche. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma del Estado de México. En línea http://infolactea.com/wp-content/uploads/2016/01/unidad_3_bovinosleche.pdf
- Bot, C., & Prodan, C. 2009. Probing the membrane potential of living cells by dielectric spectroscopy. *Eur. Biophys. J.* 38:1049–1059.
- Bravo, H. H. 1978. Las cactáceas de México. Tomo i. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria. México, DF. Pp 67-71, 147, 334.
- Cardozo, P. W. 2007. Efectos de los extractos de plantas sobre las características de fermentación microbiana ruminal en sistemas *in vitro* e *in vivo* (Doctoral disertación, Tesis Ph. D. Universidad Autónoma de Barcelona. Depto. de Ciencia Animal y de los Alimentos. Barcelona, España).

- Carranza, S. J. A. 2001. Caracterización morfológica de cladodios de opuntia spp. Del campo experimental de la Uruza. U. A. CH. Tesis profesional. Chapingo. México. Pp 82.
- Castillo, S. L. Heredia, N. Contreras, J. F. y García, S. 2011. Extracts of edible and medicinal plants in inhibition of growth, adherence, and cytotoxin production of *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli*. *J. Food Sci.* 76, M421–M426.
- Castro, S. 2010. Factores que hacen a la calidad de leche en periodos de lluvia. *Sitio Argentino de Producción Animal.* 18: 222: 12-18.
- Cavallotti, V. B. 2014. Ganadería bovina de carne y leche. Problemática y alternativas. *Revista de la realidad mexicana actual.* 2:188: 97-100 p.
- Chas, P. V., Pedreira, V., Rodríguez, C. C., Bermúdez, J. H., Alonso, M. M. L., y Casteñote, J. L. B. 2006. Extractos vegetales como alternativa al uso de monensina en la nutrición de terneros de cebo: extractos vegetales. In *Veinte años de buiatría: actas del XIV Congreso Internacional de la Federación Mediterránea de Sanidad y Producción de Rumiantes, Lugo-Santiago de Compostela, 12-15 de julio de 2006* (pp. 537-544). Universidade de Santiago de Compostela.
- Correa, H. J., Carrulla, J. E., Pabón, M. L. 2008. Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia. 20:4:20 p.
- Daglia, M. 2012. Polyphenols as antimicrobial agents, *Current Opinion in Biotechnology,* 23: 174–181.
- De Nardi, R., Marchesini, G., Li, S., Khafipour, E., Plaizier, K.J., Gianesella, M. y Segato, S. 2016. Metagenomic analysis of rumen microbial population in dairy heifers fed a high grain diet supplemented with dicarboxylic acids or polyphenols. *BMC veterinary research,* 12(1), 1.
- Delgado, S. L. A., Pérez, R. E., Roman, R., García, P. A., Esquivel, J., Ortiz, R. 2016. Effects of adding cladode and epidermis extracts of *Opuntia ficus-indica* and *Opuntia atropes* to aerobic mesophilic bacteria and total coliforms in bovine raw milk. *International Journal of pure y applied Bioscience.* 4:3:45-55pp.
- Dib, H., Beghdad, M. C., Belarbi, M., Seladji, M., y Ghalem, M. 2013. Antioxidant activity of phenolic compound of the cladodes of *Opuntia ficus-indica* MILL.

- From northwest Algeria. International Journal of Medicine and Pharmaceutical Sciences, 3, 147-158.
- El-Mostafa, K., El Kharrassi, Y., Badreddine, A., Andreoletti, P., Vamecq, J., El Kebbaj, M. y Cherkaoui-Malki, M. 2014. Nopal cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a source of bioactive compounds for nutrition, health and disease. *Molecules*, 19(9), 14879-14901.
- FAO, (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2015. En línea <http://www.fao.org>.
- FAO, (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2005. Perfiles por País del Recurso Pastura/Forraje. Sistemas de Producción de Ganado Rumiante. 21-23 p.
- FAO, (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2007. Ganadería y deforestación. Política Pecuaria 03. Subdirección de información ganadera y de análisis y política del sector. Dirección de producción animal. 8 p.
- Fernández, L., Tonhati, H., Albuquerque, L. G., Aspilcueta-Borquis, R. R., & Menéndez Buxadera, A. 2011. Modelos de regresiones aleatorias para la estimación de parámetros genéticos y estudios de curvas de lactancia del Holstein en Cuba. *Rev Cubana Cienc Agríc*, 45, 1-6.
- Financiera Rural. 2011. Monografía del Nopal y la Tuna. Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial Dirección Ejecutiva de Análisis Sectorial.
- Fuentes, R. J. M. 1991. A survey of the feeding practices, costs and production of dairy and beef cattle in northern México. IN: Proc. 2nd annual Texas Prickly Pear Council. Kingsville, Tx.
- Garavito, U. 2008. *Moringa oleifera*, alimento ecológico para ganado vacuno, porcino, equino, aves y peces, para alimentación humana, también para producción de etanol y biodiesel. [En línea]. http://www.engormix.com/moringa_oleifera_alimento_ecologico_s_articulos_1891_AGR.htm
- García, D. E., Medina, M. G., Cova, L. J., Clavero T., Torres, A., Perdomo, D., Santos, O. 2009. Evaluación integral de recursos forrajeros para rumiantes en el estado Trujillo, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 26:4:555.

- García, H. L. A., Aguilar, V. A., Luévano, G. A. y Cabral, M. A. 2005. La globalización productiva y comercial de la leche y sus derivados. Articulación de la ganadería intensiva lechera de la Comarca Lagunera. Plaza y Valdés editores, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, México, 278 p.
- Glazebrook, J. 2005. Contrasting Mechanisms of Defense Against Biotrophic And Necrotrophic Pathogens. *Annual Review of Phytopathology*. 43(1): 205-227.
- González, A. L. F. 2014. Planta contra diabetes e hipertensión. *Revista Ciencia y Desarrollo*. mayo-junio. Vol. 40 (271) [en línea] <http://www.cyd.conacyt.gob.mx/>.
- González, C. F. G., Llamas, I., Bonilla, J. A. 1998. Utilización del nopal como sustituto parcial de alfalfa en dietas para vacas lecheras. *Técnica Pecuaria en México*. 36: 73-81.
- González, G., Molina, S. B., Coca, V. R. 2010. Calidad de la leche cruda. En memoria del Primer Foro sobre la Ganadería Lechera de la zona Alta de Veracruz.
- Guevara, F. T., Jiménez, I. H., Reyes, E. M. L., Mortensen, A. G., Laursen, B. B., Li, W. L., De León, R. A., Fomsgaard, S. & Barba, R. A. P. 2010. Proximate composition, phenolic acids, and flavonoids characterization of commercial and wild nopal (*Opuntia* spp.). *Journal of food composition and analysis* 23(6): 525-532.
- Guevara, R. J., González, O. A., Espinosa, G. A., Luna, E. A. 2009. GGAVATT Bovinos Productores de Leche "Dobladense".
- Hernández, M. P., Estrada, F. J. G., Avilés, N. F., Yong, A. G., López, G. F., Solís, M. A. D., Castelán, O. O. 2013. Tipificación de los sistemas campesinos de producción de leche del sur del estado de México. 29:1: 19-31 p.
- Hess, H. D. M., Kreuzer, T. E. Díaz, C. E., Lascano, J. E., Carulla, Carla R. 2003. Soliva a, Andrea Machmüller a Saponin rich tropical fruits affect fermentation and methanogenesis in faunated and defaunated rumen fluid. *Animal Feed Science and Technology*.
- INEGI. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. [En línea] <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/16/16088.pdf>.

- INTA (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria). 2007. Elaboración y uso de saccharina fresca en la alimentación de ganado bovino. CódigoPA-007.
- Jayanegara, A., Wina, E., & Takahashi, J. (2014). Meta-analysis on methane mitigating properties of saponin-rich sources in the rumen: influence of addition levels and plant sources. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 27(10), 1426-1435.
- Juárez, L. F., Vilaboa, A. J., Díaz, R. P. 2009. La caña de azúcar (*Saccharum Officinarum*): una alternativa para la sustitución de maíz (*Zea Mays*) en la alimentación de bovinos de engorda. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Veracruzana. Programa en Agroecosistemas Tropicales; Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. 3-6 p.
- Khadem, S. y Marles, R. J. 2010. Monocyclic Phenolic Acids; Hydroxy- and Polyhydroxybenzoic Acids: Occurrence and Recent Bioactivity Studies. *Molecules* 15: 7985-8005.
- Kim, H. S., Kwon, N. H., Kim, J. Y., Lim, J. Y., Bae, W. K., Mim, J. M., Hoh, K. M., Hur, J., Jung, W. K., Park, J. E., Lee, J. E., Ra, J. C. and Park, Y. H. (2002). Antimicrobial activity of natural product made by *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* against *Salmonella* spp. and *Escherichia coli* O157:H7 *Journal of Food Hygienic Safety* 17 71-78.
- Livrea, M. A., y Tesoriere, L. 2006. Health benefits and bioactive components of the fruits from *Opuntia ficus-indica* [L.] Mill. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 8, 73–90.
- López, G. J. J. 2011. Uso y manejo del Nopal forrajero en el noreste de México. Memoria del IX Simposium-Taller Nacional y II Internacional. Producción y Aprovechamiento del Nopal y Maguey. *Revista Salud Pública y Nutrición*. Edición Especial No 5-2011.129-130 p.
- López, G.J.J., Fuentes R.J.M. y Rodríguez, G.A. 2007. Producción y uso de opuntia como forraje en el centro-norte de México. Departamento de agricultura. Depósito de documentos de la FAO.
- López, G.J.J., Fuentes, R.J.M., Rodríguez, G.A. 2003. Producción y uso de *Opuntia* como forraje en el centro-norte de México. Departamento de Agricultura. Depósito de Documentos Delaware la FAO. *En Línea* <http://www.fao.org/docrep/007/y2808s/y2808s08.htm>.

- Lou Z., Wang H., Rao S., Sun J., Ma C and Li J. 2012. p-Coumaric acid kills bacteria
Microbiol. No. 26 Pp. 355–358.
- Macedo, A., Gutiérrez, E. y Salas, G. 2006. Efecto de suplementación con bloques multinutricionales de melaza urea en vacas anéstricas en Carácuaro, Michoacán. *Livestock Research for Rural Development*. 18:11.
- Magariños, H. 2000. Contaminación de la leche. En: Producción higiénica de la leche cruda. Una guía para la pequeña y mediana empresa. 1ª ed. Guatemala, Guatemala: Producción y Servicios Incorporados S.A. Pp 14-16.
- Manach, C., Scalbert, A., Morand, E., Rémésy, C. y Jimenez, L. 2004. Polyphenols: food sources and bioavailability. *Am J Clin Nutr*. 79, 727- 747.
- Medina, M.R., Tirado, G.E., Mejía, H. I., Camarillo S.I., Cruz, V.C. 2006. Digestibilidad in situ de dietas con harina de nopal deshidratado conteniendo un preparado de enzimas fibrolíticas exógenas. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 41 (7): 1173-1177.
- Mendieta, A. B., Spörndly E., Reyes, S. N., Norell, L. Spörndly, R. 2009. Silage quality when *Moringa oleifera* is ensiled in mixtures with Elephant grass, sugar cane and molasses. *Grass and Forage Science*, 64, 364–373.
- Mojica, E. J., Castro, E., León, J. Cárdenas, A. E., Pabón, L. M. Carulla, E. J. 2009. Efecto de la oferta de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) sobre la producción y calidad composicional de la leche bovina. 21:1:3-4. En línea <http://www.lrrd.org/lrrd21/1/moji21001.htm>
- Mokbel, M.S. and Suganuma, T. 2006. Antioxidant and antimicrobial activities of themethanol extracts from pummelo (*Citrus grandis* Osbeck) fruit albedo tissues. *European Food Research and Technology* 224:39-47.
- Mora, C. M. 2012. Análisis y Perspectivas de la producción de leche de ganado Bovino en el estado de Puebla (1995-2010). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". México. 98 p.
- Moreno, G. A., Herrera, A. G., Carrión, G. M., Álvarez, B. D., Pérez, S. R. E., Ortiz, R. R. 2012. Caracterización y modelación esquemática de un sistema familiar de bovinos productores de leche en la Ciénega de Chapala, México. 20: 3-4: 85-94.
- Murillo, A. B. N.; Ávila, S.; Flores, H. A. 2006. Producción agroecológica de forrajes en zonas áridas. Congreso Mexicano de Ecología. Morelia Mich. México.

- Sociedad Científica Mexicana de Ecología A. C. Resúmenes de las ponencias presentadas en los simposia. p. 37.
- Mysore, K. S. and Ryu, C. M. 2004. Nonhost resistance: how much do we know? Trends in Plant Science, 9(2): 97-104.
- Nava, C. C. y Díaz, C. A. 2001. Introducción a la digestión ruminal. Sitio Argentino de Producción Animal. Departamento de Nutrición Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia UNAM.
- NOM-092-SSA1-1994. Norma Oficial Mexicana NOM-092-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa. Secretaria de salud. México (1994). Available on the Internet: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/092ssa14.html>
- NOM-109-SSA1-1994. Norma Oficial Mexicana NOM -109-SSA1-1994, Bienes y servicios. Procedimientos para la toma, manejo y transporte de muestras de alimentos para su análisis microbiológico. Secretaria de salud. México, (1994). Available on the Internet: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/093ssa14.html>
- NOM-110-SSA1-1994. Norma Oficial Mexicana NOM-092-SSA1-1994, Bienes y servicios. Preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico. Secretaria de salud (1994). México. Available on the Internet: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/110ssa14.html>
- NOM-113-SSA1-1994. Norma Oficial Mexicana NOM-113-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa. Secretaria de salud. México (1994). Available on the Internet: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/113ssa14.html>
- NOM-210-SSA1-2014. Norma Oficial Mexicana NOM-210-SSA1-2014. Productos y servicios. Métodos de prueba microbiológicos. Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos. Secretaria de salud. Mexico (2014). Available on the Internet: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/092ssa14.html>
- NRC, National Research Council. 2001. Nutrient Requirement of Dairy Cattle. National Academy Press, Washington DC, USA, 381 p.
- Ortiz, R. R., Pérez, S. R. E., García, S. P. A., Gómez, R. B y Valdez, A. J. J. 2013^a. Producción y calidad microbiológica de la leche cruda y del queso fresco

provenientes de vacas Holstein bajo una dieta complementada con nopal (*Opuntia ficus-indica*).

- Ortiz, R. R., Valdez, A. J. J., Gómez, R. B., López, M. J., Chávez, M. M. P., García, S. P. A., Pérez, S. R. E. 2012. Yield and microbiological quality of raw milk and fresh cheese obtained from Holstein cows receiving a diet supplemented with nopal (*Opuntia ficus-indica*). African Journal of Microbiology Research. 6:2: 3409-3414pp.
- Ortiz, R. R., Aguilar, B. J. L., Valdez, A. J.J., Esquivel, C. J., Martínez, F. H. E. y Pérez, S, R. E. 2016. Efecto de la adición de mucílago de *Opuntia ficus-indica* y *Opuntia atropes* a la leche cruda sobre bacterias mesófilas aerobia y coliformes totales. Nova Scientia. 8:16:106-122pp.
- Ortiz, R. R., Valdez, A. J. J., Garcidueñas, P. R., Chávez, M. M. P., Val, A. D., Hernandez, V. E. F. and Pérez, S. R. E. 2013^b. Effect of added nopal cactus (*Opuntia ficus-indica*) on microbial content in raw milk. African Journal of Microbiology Research. 7:28: 3675-3680 pp.
- Ortiz, S. J. A., García, T. O., Morales, T. G. 2005. Manejo de Bovinos Productores de leche. Manual Bovinos Leche. Colegio de Posgraduados. Fondo de tierras e Instalación del Joven Emprendedor Rural.
- Pal, K., Patra, A. K., Sahoo, A., & Soren, N. M. (2015). Effects of nitrate and fumarate in tree leaves-based diets on nutrient utilization, rumen fermentation, microbial protein supply and blood profiles in sheep. Livestock Science, 172, 5-15.
- Paula, E. M. D., Samensari, R. B., Machado, E., Pereira, L. M., Maia, F. J., Yoshimura, E. H. y Zeoula, L. M. 2016. Effects of phenolic compounds on ruminal protozoa population, ruminal fermentation, and digestion in water buffaloes. Livestock Science, 185, 136-141.
- Pérez, A., Sánchez, T., Armengol, N., Reyes, F. 2010^a. Características y potencialidades de *Moringa oleifera*, Lamark. Una alternativa para la alimentación animal. Pastos y Forrajes, vol. 33, núm. 4, diciembre, 2010, pp. 1-16. Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey" Matanzas, Cuba.
- Pérez, S. R. E., Mendoza, O. J. L., Martinez, F. H. E., Ortiz, R. R. 2015. The addition of three different levels of cactus pear (*Opuntia ficusindica*) to the diet of Holstein cows and its effect on milk production in the dry season. 17:81-88.

- Pérez, S. R. E., García, S. P. A., Ángel, P. M. E., Valdez, J. J. Gómez, R. B., Ortiz, R. R. y Ramírez, G. M. 2010^b. Producción de la leche provenientes de vacas Holstein bajo una dieta complementada con nopal (*Opuntia ficus-indica*). [En línea] [<http://www.engormix.com/MA-ganaderia-leche/nutricion/articulos/produccion-leche-provenientes-vacas-t3072/141-p0.htm>]
- Pinzón, T. A., Moreno, V. F., y Rodríguez, M. G. 2009. Efectos de la mastitis subclínica en algunos hatos de la cuenca lechera del Alto Chicamocha. Revista de medicina veterinaria. 17:17: 3-4.
- Reveles, H. M. y Flores, O. M. A. 2010. El manejo del nopal forrajero en la producción del Ganado Bovino. En memoria del VIII Simposium-Taller Nacional y 1er Internacional "Producción y Aprovechamiento del Nopal". 12:5:130-132 p.
- Reyes, S. N.; Ledin, S. and Ledin, I. 2006. Biomass production and chemical composition of Moringa oleifera under different management regimes in Nicaragua. Agroforestry Systems 66:231–242.
- Ríos, F. L., Torres, M. M., Ruiz, T. J., Navarrete, M. C., Torres, M. A., Cantú, B.E. 2015. Crecimiento económico de los sistemas de producción bovino lechero en Jalisco, México 2005-2013. Revista Abanico Veterinario. 5:4:20-35.
- Robledo, P. R. 2015. Los Altos de Jalisco y la Comarca Lagunera dentro del contexto nacional de la producción de leche. En memoria del 20° Encuentro Nacional sobre Desarrollo Regional en México. Cuernavaca, Morelos del 17 al 20 de noviembre de 2015. AMECIDER – CRIM, UNAM.
- Rodríguez, L. J. (2008). Urge aumentar la producción e ingresos de ganaderos: diputados. [en línea] [<http://www.lajornadamichoacan.com.mx/2008/11/10/index.php?section=politica&article=006n1pol>]
- Rodríguez, P. R. 2011. Alimentación de vacas lecheras con *Moringa oleifera* fresco o ensilado y su efecto sobre la producción, composición y calidad de leche. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Agraria. Facultad de Agronomía. Nicaragua. 15 p.
- Rojas, R. M. R., Cruz, B. E., Daniel, R.I., Lammoglia, V. M. A. 2014. Determinación de la calidad microbiológica de la leche cruda de vaca durante la temporada invernal en Tuxpan, Veracruz. Academia Journals.
- SAGARPA (Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2001. Situación actual y perspectivas de la producción de

- leche en México. 1990-2000. En línea <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Publicaciones/Lists/Estudios%20de%20situacin%20actual%20y%20perspectiva/Attachments/20/sitlech99.pdf>
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2016. Panorama de la lechería en México. En línea [http://infosiap.siap.gob.mx/opt/boletlech/Brochure%20leche Septiembre2016.pdf](http://infosiap.siap.gob.mx/opt/boletlech/Brochure%20leche%20Septiembre2016.pdf)
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2015. Panorama de la lechería en México. En línea [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/97617/Brochure leche DIC 2015.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/97617/Brochure%20leche%20DIC%202015.pdf).
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2010^a. Situación actual y perspectiva de la producción de leche 2010.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2012. México cuenta con un potencial de desarrollo en producción de leche y derivados: FEPALE. En línea: <http://sagarpa.gob.mx/saladeprensa/2012/Paginas/2014B699.aspx>.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2004. Situación actual de la producción de leche de bovino en México 2004.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2010^b. Manual de Buenas Practicas Pecuarias en Unidades de Producción de leche. 53-55 p.
- Sánchez, E., García, S., Heredia, N. 2010. Extracts of Edible and Medicinal Plants Damage Membranes of *Vibrio cholerae*. Applied and environmental microbiology. 76:20:6888–6894.
- SAS/TAT, 2000. Guide for personal computers version 6. SAS Institute INC. Cary, NC. USA.
- Scalbert, A., Manach, C., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. 2005. Dietary polyphenols and the prevention of diseases. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 45, 287–306.
- Secretaría de Economía. 2012. Análisis del Sector Lácteo en México. Dirección General de Industrias Básicas.

http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/analisis_sector_lacteo.pdf

- Sirohi, S. K., Goel, N., & Singh, N. (2014). Utilization of saponins, a plant secondary metabolite in enteric methane mitigation and rumen modulation. *Annual Research & Review in Biology*, 4(1), 1.
- Stintzing, F.C., y Carle, R. 2005. Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. *Molecular Nutrition and Food Research*, 49, 175–194.
- Tegegne, F. (2001). Nutritional value of *Opuntia ficus-indica* as a ruminant feed in Ethiopia. *FAO PLANT PRODUCTION AND PROTECTION PAPERS*. 91-100.
- Thatcher, L. F., Anderson, J. P. and Singh, K. B. 2005. Plant defence responses: what have we learnt from *Arabidopsis*? *Functional Plant Biology*. 32:1:1-19.
- Torres, M. J. A. 2013. Alternativas para la alimentación de bovinos con base en caña de azúcar. En memoria de Trabajo presentado al XIX Congreso de Técnicos Azucareros de Centroamérica, Costa Rica, Septiembre 2013.
- Torres, S. A. 2011. Composición química del nopal y sus implicaciones en la nutrición de rumiantes (experiencias de Brasil). En memoria del IX Simposium nacional y II internacional de producción del nopal y maguey. "RESPYN" *Revista Salud Publica y Nutrición*. 5:143-151 p.
- Ultee, A., Bennik, M. H. J., Moezelaar, R. 2002. The Phenolic Hydroxyl Group of Carvacrol Is Essential for Action against the Food-Borne Pathogen *Bacillus cereus*. 68:4:1561-1568.
- Umar, M. I., Javeed, A., Ashraf, M., Riaz, A., Mukhtar, M. M., Afzal, S., y Altaf, R. 2013. Polarity-based solvents extraction of *Opuntia dillenii* and *Zingiber officinale* for in vitro antimicrobial activities. *International Journal of Food Properties*. 16(1), 114-124.
- Urdaneta, J. 2005. Manual de Ganadería Doble Propósito. "La caña de azúcar ": una opción para el ganadero. Sitio Argentino de Producción Animal. http://www.produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/Cania_azucar/130-azucar.pdf.
- Villar, J. 2010. Alimento animal y energía de la caña de azúcar. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar. 43:1, enero-abril, 2010, pp. 41-48. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar Ciudad de La Habana, Cuba.

- Whiteaker, K.L., Gopalakrishnan, S.M., Groebe, D., Shieh, C.C., Warrior, U., Burns, D.J., Coghlan, M.J., Scott, V.E., & Gopalakrishnan, M. 2001. Validation of FLIPR membrane potential dye for high throughput screening of potassium channel modulators. *J. Biomol. Screen.* 6:305–312.
- Wiermer, M., Feys, B.J. and Parker, J.E. 2005. Plant immunity: the EDS1 regulatory node. *Current Opinion in Plant Biology*, 8(4): 383-389.
- Yader, R., Junier, H. 2009. Suplementación Nutricional de Veranera (*Cratylia argentea*) y Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) de Vacas Productoras de Leche. *Ciencia e Interculturalidad*. Volumen 4, Año 2, N2 -131-133.
- Yuroff, A.S., Sbat, G. & Hickey, W.J. 2003. Transporter-mediated uptake of 2-chloro and 2-hydroxibenzoato by *Pseudomonas huttiensis* strain D1. *Appl. Environ. Microbiol* 69:7401–7408.
- Zárate, M. J. P., Esqueda, E. V. A., Vinay, V.J.C., Jácome, M. S. M. 2010. Evaluación económico-productiva de un sistema de producción de leche en el Trópico. 21:2:1-11.

Tesis: “EFECTO DE LA COMPLEMENTACION DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) EN LA DIETA DE BOVINOS HOLSTEIN SOBRE LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE LA LECHE CRUDA”