



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE
HIDALGO**

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

**El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): alternativa no
convencional en la alimentación del ganado de la región del
trópico de Tierra Caliente, Michoacán., México.**

TESINA QUE PRESENTA

JOSE DE JESUS GONZALEZ ESCOBAR

PARA OBTENER EL TITULO DE

MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

ASESOR

MC RUY ORTIZ RODRIGUEZ

Morelia mich, marzo del 2022



Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

1. Contenido

2.	INTRODUCCIÓN	3
3.	Revisión de literatura.....	6
3.1	Enfoque metodológico utilizado en la revisión sobre el nopal forrajero (<i>O. ficus-indica</i>) como alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de Tierra Caliente, Michoacán	6
3.2	Modelo esquemático de los factores atribuibles y no atribuibles al nopal (<i>Opuntia</i> spp) en la alimentación del ganado.....	7
3.3	Contexto	7
3.4	Componente humano	10
3.5	Componente animal	12
3.6	Componente agrícola: Insumos para la alimentación del ganado (entradas al sistema)	15
4.	Problemática general de la ganadería para producción de carne de bovino en México 16	
4.1	Características generales de los sistemas de producción bovinos carne en el trópico seco.....	17
4.2	Esquema de alimentación del ganado productor de carne en el trópico michoacano 19	
4.3	Necesidades nutricionales de los bovinos carne en el trópico seco: Reproducción 20	
4.4	Características nutricionales de los principales insumos de la dieta de los bovinos carne en el trópico seco	21
5.	El nopal forrajero (<i>Opuntia</i> spp) adicionado a la alimentación del ganado.....	23
5.1	Aportes nutritivos del nopal en la alimentación animal	25
5.2	Inclusión del nopal en la dieta del ganado y su efecto sobre la productividad.....	27
5.2.1	Variaciones productivas del ganado	27
5.2.2	Producción y calidad de la canal	30
5.2.3	Producción y calidad de la leche	31
5.2.4	Digestibilidad del Nopal (<i>O. ficus-indica</i>)	37
5.2.5	Emisión de gas y cambios en la microbiota por efecto del consumo del Nopal (<i>O. ficus-indica</i>).....	42
5.2.6	Efecto del nopal (<i>O. ficus-indica</i>) sobre los perfiles metabólicos del ganado	44

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

5.2.7	Efecto de la implementación del nopal (<i>O. ficus-indica</i>) sobre el consumo de agua del ganado	47
5.2.8	Costos de producción en los sistemas de producción animal con dietas adicionadas con nopal (<i>O. ficus-indica</i>)	49
6.	Conclusiones	50
7.	Consideraciones generales	51
8.	Bibliografía	52

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1	Visión esquemática de los sistemas de producción animal en torno a implementar el nopal (<i>Opuntia</i> spp) como alternativa alimenticia no convencional.	9
FIGURA 2.	Reformulación de la visión esquemática de los sistemas de producción animal en torno a implementar el nopal (<i>Opuntia</i> spp) como alternativa alimenticia no convencional.	15
FIGURA 3.	Ganancia diaria de peso en ovinos Santa Inés alimentados con diferentes niveles de nopal (<i>O. ficus-indica</i> Mil) en sustitución de maíz (Costa <i>et al.</i> , 2013).....	29
FIGURA 4.	Número de folículos de borregas de raza Barbarina sometidas a tratamientos nutricionales con: concentrado (CC), nopal (CA), nopal harina de soja (CAS) y harina de soja (S); previos y en fase folicular. * Indican diferencias estadísticamente ($P < 0.05$). Fuente: Sakly <i>et al.</i> (2013).	34
FIGURA 5.	Curva de producción láctea de vacas alimentadas con y sin nopal de acuerdo a la época del año (Ortiz <i>et al.</i> , 2012 ^b).	35
FIGURA 6.	Conceptualización del efecto del nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>) como complemento de la dieta de vacas Holstein durante la época seca. Fuente: García <i>et al.</i> 2012.	37
FIGURA 7.	Medias de mínimos cuadrados para la glucosa sanguínea (GS) pre y post prandial en cerdas lactantes GC=cerdas alimentadas convencionalmente; GE=cerdas que consumieron nopal. Fuente: Ortiz <i>et al.</i> , 2014.	46

INDICE DE TABLAS

TABLA 1.	Composición química de <i>Opuntia ficus-indica</i> (Modificado de Andrade <i>et al.</i> , 2011). ..	25
TABLA 2.	Composición química del cladodio según su edad (Modificado de Pinos <i>et al.</i> , 2010).	26

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

TABLA 3. Efecto de la inclusión de nopal vs cebada en el rendimiento de la canal, pH de la carne y pérdida de cocción en ovinos y caprinos (Modificado de Abidi <i>et al.</i> , 2009).	31
TABLA 4. Producción y contenido de grasa en leche de acuerdo a diferentes niveles de inclusión de nopal (<i>O. ficus-indica</i>) en cabras (Modificado de Costa <i>et al.</i> , 2009).	32
TABLA 5. Medias de mínimos cuadrados de las fracciones de nopal adicionadas a leche cruda sobre el contenido microbiano (modificado Ortiz <i>et al.</i> , 2013 y Delgado <i>et al.</i> , 2016).....	35
TABLA 6. Digestibilidad <i>in vitro</i> del cladodio según su edad. (Modificado de Pinos <i>et al.</i> , 2010). .	37
TABLA 7. Digestibilidad aparente de cuatro dietas en corderos de la raza Barbarine (Modificado de Ben Salem <i>et al.</i> 2004).....	38
TABLA 8. Efecto de la suplementación dietética con niveles graduales de nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>) sobre los parámetros de degradación <i>in vitro</i> (Modificado de Tegegne <i>et al.</i> , 2007).	42
TABLA 9. Efecto del sustrato sobre la producción de gas, emisión de metano (ml 200mg ⁻¹ , MS), energía metabolizable estimad y materia orgánica digestible, después de 24 h de incubación (Chentli <i>et al.</i> , 2014).....	43
TABLA 10. Efecto del sustrato sobre la cuantificación relativa de diferentes grupos microbianos por PCR en tiempo real y conteo directo de protozoarios, después de 24 h contra 0 h (control) de incubación (Chentli <i>et al.</i> , 2014).	43
TABLA 11. Parámetros bioquímicos g L ⁻¹ antes y después de la incorporación de <i>Opuntia</i> durante un periodo de 56 día (Modificado de Brahim <i>et al.</i> , 2012)	44
TABLA 12. Efectos del nivel de nopal sobre el comportamiento de los metabolitos y excreción de orina (Modificado de Vieira <i>et al.</i> 2008).....	47
TABLA 13. Efecto de la dieta (cebada vs nopal) sobre el consumo de agua en ovinos y caprinos (Modificado de Abidi <i>et al.</i> , 2009)	47

1. Resumen

La presente revisión se centró en la información de las principales investigaciones sobre el nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*) como alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico durante el periodo 1992-2021, así como, el uso de artículos clásicos generados en la década de los 60's y 90's. La información recabada fue analizada bajo la Teoría General de los Sistemas (TGS). En este sentido, antes de iniciar con cambios estratégicos en la solución de problemas de los sistemas de producción de bovinos productores de carne (SPBC) del trópico de Tierra Caliente (TC) Michoacán, se debe considerar que estos sistemas están compuestos de manera general por tres elementos: el hombre, el animal y la tecnología. Sin embargo, las características del contexto de TC, Michoacán (clima agreste y, en ocasiones, el calor es intolerante (42°C); la presentación de variadas enfermedades debido a sus altas temperaturas; llueve muy poco y con poca regularidad; posee los municipios más marginados de la entidad, con un mayor rezago en educación, salud, vivienda, empleo y un alto índice de migración) limita el desarrollo de la actividad ganadera. Sin embargo, los productores de ganado bovino en esta región están conscientes que deben lograr controlar y manipular, dentro de sus SPBC la alimentación, pues este es pilar fundamental para su supervivencia. Por lo que esta problemática debe atenderse desde los programas de investigación y transferencia de tecnología ya que, el ingreso anual bruto (aproximadamente \$61,383.60 pesos^{MN}) de los SPBC de TC no incentiva al productor a un cambio en la operación de su sistema de producción. Además, en TC, Michoacán los ganaderos priorizan los ciclos de lluvias y crecimiento de los forrajes, así como el rastrojo de las siembras agrícolas en un intento por invertir lo menos posible en el ganado a cambio de recurso económico “voluminoso” en la época de venta de becerros. Sin embargo, para la productividad del ganado del SPBC (bajo condiciones del trópico), se requiere de calidad nutricional de los forrajes. Pero, los forrajes producidos en esta región no satisfacen los requerimientos de minerales de los animales en pastoreo y ello afecta la eficiencia reproductiva de las vacas: no logran el becerro/vaca/año, a pesar de que, en los últimos 40 años, las áreas en pasturas en Michoacán han aumentado de 3.5 a 9.5 millones de hectáreas no logran la producción y continua el sobrepastoreo. En este sentido, el nopal forrajero, podría ser una alternativa viable para aportar no solo minerales a la dieta del ganado de los SPBC en TC Michoacán, si no por los otros aportes nutricionales que ofrece esta cactácea: elevado coeficiente de digestibilidad de la fibra soluble (>50%); contenido de agua (70 a 93%), mismo que reduce la necesidad de agua de bebida de los animales; producción de biomasa (62 y 226 t ha⁻¹ base fresca), palatabilidad y tolerancia a la salinidad. Por ello, esta cactácea se ha considerado como forraje alternativo en la alimentación animal, ya que puede producir más de 10 ton de materia seca (MS) ha⁻¹ y es resistente a la sequía. El nopal no solo provee gran parte de los requerimientos de agua de los animales; pero, debido a sus limitaciones en proteína cruda (PC), es preciso adicionarlo con insumos ricos en PC. Así, el ganado sometido a dietas con insumos de pobre calidad nutricional ya sea por condiciones agroecológicas adversas (estiaje o alteraciones ambientales), insumos costosos o poca disponibilidad de estos, el nopal puede cubrir satisfactoriamente las necesidades de energía del ganado, sin recurrir a sus reservas energéticas; puesto que, mejora la digestibilidad de la fibra dietética; ello debido a una mayor eficiencia en la fermentación ruminal, que favorece mayor producción de ácidos grasos volátiles (AGV's), producto de: la estimulación salivación, estabilidad del pH ruminal y de la mejora la microbiota ruminal. Ello sin considerar que, el incremento de los AGV's favorecen el aumento (tamaño) de las vellosidades del rumen; lo cual pudiese tener efecto favorable sobre mayor reabsorción de nutrientes y ello se reflejaría en una mayor productividad del SPBC de TC, Michoacán. En conclusión, el nopal forrajero se presenta como una alternativa de alimentación no convencional desde hace muchos años en las zonas semiáridas y áridas, pero, en la actualidad existen un mayor número de evidencias que hacen de esta cactácea un insumo viable dentro de la alimentación del ganado bajo condiciones de trópico seco o subhúmedo.

ABSTRACT

The present review focused on the information of the main investigations on the forage prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) as a non-conventional alternative in the feeding of cattle in the tropical region during the period 1992-2021, as well as the use of articles classics generated in the 60's and 90's. The information collected was analyzed under the General Systems Theory (TGS). In this sense, before starting with strategic changes in the solution of problems of the production systems of beef cattle (SPBC) of the tropics of Tierra Caliente (TC) Michoacán, it should be considered that these systems are generally composed of three elements: man, animal and technology. However, the characteristics of the context of TC, Michoacán (wild climate and, at times, the heat is intolerant (42°C); the presentation of various diseases due to its high temperatures; it rains very little and with little regularity; it has the most marginalized municipalities of the entity, with a greater lag in education, health, housing, employment and a high rate of migration) limits the development of livestock activity. However, cattle producers in this region are aware that they must be able to control and manipulate feeding within their SPBC, since this is a fundamental pillar for their survival. Therefore, this problem must be addressed from the research and technology transfer programs, since the gross annual income (approximately \$61,383.60 pesosMN) of the SPBC of TC does not encourage the producer to change the operation of its production system. In addition, in TC, Michoacán, ranchers prioritize the rainy cycles and forage growth, as well as the stubble of agricultural crops in an attempt to invest as little as possible in livestock in exchange for a "bulky" economic resource at the time of harvest. sale of calves. However, for the productivity of cattle in the SPBC (under tropical conditions), nutritional quality of forages are required. But, the fodder produced in this region does not satisfy the mineral requirements of grazing animals and this affects the reproductive efficiency of the cows: they do not achieve the calf/cow/year, despite the fact that, in the last 40 years, the Pasture areas in Michoacán have increased from 3.5 to 9.5 million hectares. They do not achieve production and overgrazing continues.

In this sense, the forage prickly pear could be a viable alternative to provide not only minerals to the diet of the cattle of the SPBC in TC Michoacán, but also for the other nutritional contributions that this cactus offers: high coefficient of digestibility of soluble fiber (>50%); water content (70 to 93%), which reduces the animals' need for drinking water; biomass production (62 and 226 t ha⁻¹ fresh base), palatability and tolerance to salinity. Therefore, this cactus has been considered as an alternative forage in animal feed, since it can produce more than 10 tons of dry matter (DM) ha⁻¹ and is resistant to drought. The nopal not only provides a large part of the water requirements of the animals; but, due to its limitations in crude protein (CP), it must be added with inputs rich in CP. Thus, the cattle subjected to diets with inputs of poor nutritional quality, whether due to adverse agroecological conditions (dry season or environmental alterations), expensive inputs or little availability of these, the nopal can satisfactorily cover the energy needs of the cattle, without resorting to its energy reserves; since, it improves the digestibility of dietary fiber; This is due to greater efficiency in ruminal fermentation, which favors greater production of volatile fatty acids (VFA's), as a result of: salivation stimulation, ruminal pH stability and improved ruminal microbiota. This without considering that the increase in AGV's favors the increase (size) of the rumen villi; which could have a favorable effect on greater reabsorption of nutrients and this would be reflected in a greater productivity of the SPBC of TC, Michoacán. In conclusion, forage prickly pear has been presented as a non-conventional feeding alternative for many years in semi-arid and arid zones, but currently there is a greater number of evidences that make this cactus a viable input within the feeding of the Livestock under dry or sub-humid tropical conditions.

Keywords: Tropics, Livestock, Beef cattle, Nopal.

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

Palabras clave: Trópico, Ganadería, Bovinos productores de carne, Nopal

2. INTRODUCCIÓN

El creciente incremento demográfico plantea desafíos sin precedentes para los sistemas alimentarios, debido a que los recursos naturales esenciales para sostener la productividad de los sistemas de producción animal (SPA) no aumentara al ritmo de la demanda de alimento. Por lo tanto, el incremento en la demanda de alimentos estimado para los próximos años someterá a los SPA a una mayor presión, puesto que, estos sistemas son considerados como estrategia social, económica y cultural factible para afrontar las predicciones del crecimiento demográfico y sus necesidades de alimentación (FAO, 2006; FAO, 2011; FAO, 2013).

Para afrontar el desafío de la demanda de alimentos de origen animal, los SPA primero deben solucionar ciertos problemas, tales como: oferta, demanda y canales de comercialización, mismos que provocan inestabilidad económica e incremento de los costos de producción (Nava *et al.*, 2009; FAO 2013). Además de estos factores, también se debe resolver la disponibilidad de insumos de calidad para estos sistemas; puesto que, en la actualidad son limitados (Blanco *et al.*, 2010) debido a la creciente urbanización que deja desprotegido el sector agrícola (principal proveedor de materia prima para los SPA) e incide de manera negativa sobre el ambiente, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria en poblaciones vulnerables (FAO, 2013).

Además de enfrentar los retos de: a disponibilidad de insumos de calidad para el ganado y reducción de costos de producción, los SPA también deben implementar técnicas y tecnologías para disminuir la contaminación ambiental que generan estos sistemas (Tegegne *et al.*, 2005; Nava *et al.*, 2009). Estudios de la FAO (2006 y 2013) establecen la urgente necesidad de mitigar la emisión de gases de efecto invernadero producto de la ganadería, mismo que asciende a: 44% metano (CH₄); 29% óxido nitroso (N₂O) y 27% dióxido de carbono (CO₂). Por lo que, las estrategias para mitigar dicho

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

impacto ambiental están encaminadas a mejorar la gestión de los desechos orgánicos, adopción de energías energéticas más eficaces y, mejorar la calidad de los alimentos, la sanidad animal y la producción en sistemas intermedios. Siendo este último punto, opción viable para los SPA, debida a que, la calidad de los alimentos incurre directamente en la productividad, costos de producción e impacto ambiental (Nava *et al.*, 2009).

En la actualidad, la comunidad científica está abocada a evaluar, desarrollar o validar técnicas o tecnologías que contribuyan con las empresas para aminorar el deterioro ambiental, producto de sus procesos de producción (FAO, 2013); mismos que contribuyen, directa o indirectamente, con el déficit de insumos (por parte del sector agrícola) para la alimentación humana y animal debido al calentamiento global (Méndez *et al.*, 2010); el cual, genera fluctuaciones ambientales y limitan la cantidad y calidad de los alimentos (Tegegne *et al.*, 2007; Amare *et al.*, 2009).

La problemática referida en el párrafo anterior puede constatarse con el crecimiento de la ganadería en Michoacán, México., en los últimos 40 años. Este crecimiento requirió de pasar de 3.5 a 9.5 millones de hectáreas para el mantenimiento del ganado, el cual ha experimentó un aumento de 4.2 a 9.6 millones de cabezas; expansión asociada a la pérdida y fragmentación de bosques y la creación de paisajes con mosaicos de monocultivos de pastos cultivos agrícolas y fragmentos de bosques (Kaimowitz 2001). No obstante, las praderas existentes difícilmente cubren las necesidades forrajeras del ganado y ello provoca el sobrepastoreo. Aunado a ello, los sistemas de producción de ganado para producción de carne se asientan en las regiones tropicales en el estado de Michoacán (trópico seco y subhúmedo), en donde la falta de agua para abrevaderos en temporadas de estiaje es un problema fuerte para el productor. Puesto que, significa un incremento de los costos de producción y la disminución de los rendimientos de las praderas e incluso puede llegar a la pérdida por muerte de los animales (SAGARPA 2012).

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

Dentro de las estrategias para mejorar la productividad de los SPA (específicamente los sistemas de producción de bovinos carne) y contribuyan en menor deterioro ambiental, se encuentra la complementación de las dietas para el ganado con nopal (*Opuntia* spp): insumo que puede fungir como alternativa alimenticia del ganado (Ortiz *et al.*, 2013^a; Sakly *et al.*, 2014) bajo un contexto de sostenibilidad (Andrade *et al.*, 2011), debido a la amplia distribución geográfica de esta cactácea (Cervantes, 2005), a su tolerancia a la sequía (Blanco *et al.*, 2010); al excelente rendimiento de biomasa ha⁻¹ (Pinos *et al.*, 2010) y, a su costo de producción relativamente bajo (Gutiérrez *et al.*, 2008).

Actualmente, la implementación del nopal, como parte de la alimentación animal se vincula a sus múltiples adaptaciones morfológicas y fisiológicas que lo hacen apto para persistir en condiciones adversas de temperatura (-16 a 35 °C) y humedad (125 a 1300 mm) (Griffith, 2004); así como, a su elevado coeficiente de digestibilidad de la fibra soluble (>50%) (Cavalcante y Carvalho, 2006); al contenido de agua (70 a 93%), mismo que reduce la necesidad de agua de bebida de los animales (Nefzaoui y Ben Salem, 2002^a); a la producción de biomasa (62 y 226 t ha⁻¹ base fresca), palatabilidad y tolerancia a la salinidad (Ben Salem *et al.*, 1996). Por ello, el objetivo fue revisar a través del enfoque sistémico, el estado del arte del uso del nopal forrajero (*Opuntia* spp) como estrategia no convencional en la alimentación animal.

3. Revisión de literatura

3.1 Enfoque metodológico utilizado en la revisión sobre el nopal forrajero (*O. ficus-indica*) como alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de Tierra Caliente, Michoacán

Para efectos de la presente revisión, se utilizó la información de las principales investigaciones sobre el nopal forrajero (*O. ficus-indica*) como alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico durante el periodo 1992-2021, así como, el uso de artículos clásicos generados en la década de los 60's y 90's. La información recabada fue analizada bajo el enfoque metodológico de la Teoría General de los Sistemas (TGS); teoría que postula que, con la integración de diferentes disciplinas científicas, de una misma área o de un conjunto de ellas, se puede estar en posibilidad de solucionar problemas de manera integral (Ortiz *et al.*, 2015).

El concepto de sistema refiere a toda estructura que están conformadas por dos o más elementos en compleja organización; elementos que interactúan entre sí para obtener un resultado cuantitativo o cualitativo al considerar todos los mecanismos de interacción o retroalimentación entre los componentes participantes (Ortiz y Ortega, 2001). En este sentido, antes de iniciar con cambios estratégicos en la solución de problemas de los sistemas de producción animal, tal como sería el caso de los sistemas de producción bovinos carne del trópico de Tierra Caliente Michoacán, se debe considerar que estos sistemas están compuestos de manera general por tres elementos: el hombre, el animal y la tecnología (Van Gigch, 1998). Sin embargo, se considera que estos sistemas de producción el elemento técnico puede estar presente en dos ámbitos: 1) físico; asociado a las alternativas que se utilizan para modificar el ambiente y, 2) biológico; asociado con el conocimiento generado para controlar variables biológicas. Tomando estas consideraciones, se revisó el efecto que puede ocasionar la implementación del nopal en la alimentación de los bovinos productores de carne, bajo condiciones del trópico seco.

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

3.2 Modelo esquemático de los factores atribuibles y no atribuibles al nopal (*Opuntia spp*) en la alimentación del ganado

3.3 Contexto

La demanda de alimentos para el consumo humano debido al crecimiento demográfico pone a la actividad agropecuaria como el principal rubro para salvaguardar la producción de alimentos para la sociedad (FAO, 2013). Sin embargo, el potencial de esta actividad está limitado por economías de escala que limitan la comercialización y ponen el alza el precio de los insumos requeridos para desarrollar dicha actividad, tal es el caso de los alimentos (Martínez *et al.*, 2003). Este contexto determina en gran medida la maximización productiva de los SPA, puesto que el control y manipulación de cada uno de los eventos biológicos reproductivos y productivos típicos de cada especie estará supeditada por el conocimiento [de los productores, técnicos y especialistas en cada área] sobre estos eventos biológicos (Ortiz *et al.*, 2001).

No obstante, las características del contexto de cada región en particular están vinculado a su historia, así, la región de Tierra Caliente (TC), Michoacán, ubicada en el suroeste del Estado, posee un clima agreste y, en ocasiones, el calor es intolerante (42°C); esta región también es reconocida por la presentación de variadas enfermedades y la proliferación de animales venenosos debido a sus altas temperaturas, las precipitaciones son muy ocasionales; llueve muy poco y con poca regularidad, aspecto que le otorga la característica de zona calurosa y, en ocasiones sofocante. La planicie esta bañada por el Río Gordo de Tepalcatepec que la atraviesa de este a oeste y el Río Balsas con la Presa de Infiernillo (González, 2001).

En sus orígenes (inicios del siglo XX) TC Michoacán se caracterizó por albergar a evasores de la ley, debido a su pequeño tamaño poblacional. Sin embargo, el apogeo de la agricultura comercial, propiciada en el porfiriato, provocó que esta región fuera un foco de atracción de población. En 1889

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

(con la llegada del ferrocarril a Uruapan) la zona se trasformó: las praderas se convirtieron en arrozales y limoneros y se incrementó la cría de ganado (Pureco, 2008; citado por Guerra, 2017).

Para Guerra (2019), los problemas de pobreza y violencia que se suscitan en la TC, Michoacán, tienen origen en las políticas gubernamentales impuestas durante el periodo de 1940-1980; política agraria y política económica (modelo de desarrollo excluyente), emprendidas por la Comisión del Tepalcatepec y luego del Balsas, lo que detonó: acelerado crecimiento demográfico en la región, florecimiento de una agricultura comercial volcada a la exportación de algodón, melón y limón, entre otros. Sin embargo, la falta de crédito obligó a muchos ejidatarios a arrendar sus tierras a ejidatarios ricos o a empresarios privados. Ello provocó, ciclos de violencia agrarios que tuvieron diversas expresiones: conflictos por invasiones de tierras, por cargos sindicales, ejidales o municipales. En la mayor parte de las organizaciones agrarias surgieron mecanismos de monopolio.

En la actualidad, producto del contexto histórico de TC y la Costa michoacana, estas dos regiones se caracterizan por poseer ser los municipios más marginados de la entidad, lo que se traduce en un mayor rezago educativo, salud, vivienda, empleo, narcotráfico, inseguridad y un alto índice de migración. Además, las condiciones físico-geográficas de TC y la Costa michoacana han incidido de manera negativa en el desarrollo local y regional, así como en el crecimiento de la agricultura, ganadería e industria, lo que representa un obstáculo en la generación de proyectos productivos que puedan reactivar la economía (Leco y Romero, 2009).

Finalmente, para Medina y Torres (2018), la ganadería en la región TC Michoacán se caracteriza por el sistema cría y venta de becerros al destete; actividad en donde prevalece el pastoreo extensivo de los agostaderos naturales (también se cuenta con praderas introducidas en algunas áreas). Sin embargo, la topografía (sinuosa) y la precipitación pluvial (tres meses del año) ocasionan que el mal manejo de estos recursos genere ineficiencia productiva en este sistema. Aunado a ello, los hatos

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

están conformados básicamente por vacas y hembras en desarrollo, ya que los becerros son vendidos al final de la temporada de lluvias. Por lo que, la rentabilidad del sistema se basa en la reproducción de las vacas; la variable tecnológica más importante. Sin embargo, la fertilidad media de los hatos en toda la región es muy baja (no logran el becerro/vaca/año), por consiguiente, éste debía de ser uno de los objetivos básicos de los programas de investigación y transferencia de tecnología.

La problemática social y la época de estiaje son aspectos que limitan el desarrollo ganadero. Sin embargo, los productores de ganado bovino en esta región están conscientes que deben lograr controlar y manipular, dentro de los SPA, la alimentación (Figura 1), pues este es pilar fundamental para su supervivencia, debido a que incide en la productividad y rentabilidad de estos sistemas (Parra *et al.*, 2009). Por lo tanto, se deben buscar nuevas estrategias alimenticias que no pongan en riesgo la productividad animal y a la vez sean económicamente viable; ante ello, el uso del nopal (*Opuntia* spp) es un recurso viable.

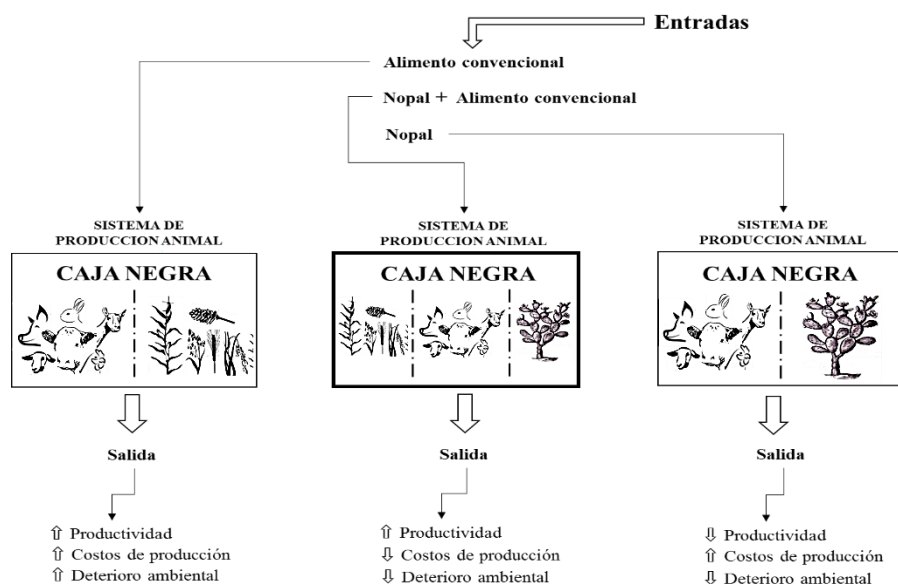


FIGURA 1. Visión esquemática de los sistemas de producción animal en torno a implementar el nopal (*Opuntia* spp) como alternativa alimenticia no convencional.

3.4 Componente humano

La visión que los productores tienen sobre la eficiencia productiva de los SPA es muy ambigua, ya que, no establecen con objetividad los aspectos atribuibles a cada uno de los componentes que delimitan la producción, entre ellos la alimentación. Ante esta situación, es común que la productividad y por lo tanto rentabilidad de los SPA sea atribuible únicamente al animal, sin considerar la alimentación suministrada, tanto en aspectos de calidad, como el costo del insumo. Con respecto a esto, Ortiz y Ortega (2001) establecen que toda alteración (por pequeña que sea), se propaga a todo el sistema de forma ondulatoria, aumentando el tamaño de onda conforme se propaga. La dificultad con esta manifestación es que se ataca el efecto del problema y no al problema mismo, cuyo origen es casi imperceptible dadas sus características de baja intensidad. De acuerdo con esta premisa, es importante considerar los aspectos que determinan o modifican la productividad de los SPA, cuyo resultado final se verá reflejado en la productividad y costos de producción del sistema.

Es importante resaltar que, en el caso de México, el pequeño productor pecuario se define como: persona física o jurídica o sociedades integradas por este tipo de productores con producción de hasta cuarenta cabezas de ganado o sus equivalentes por unidad de producción (UP) y/o de hasta veinte hectáreas de riego, o sus equivalentes en otros tipos de tierras. en el resto de los países, en México se reconoce la importancia del sector pecuario a escala familiar de cara al futuro como fuente de abastecimiento de productos necesarios para la alimentación de la población y de crecimiento económico o disminución de la pobreza de las zonas rurales o marginales (FAO, 2015). Por lo que, la agricultura (agrícola y pecuaria) familiar en la actualidad es asunto estratégico para el desarrollo de las naciones (Perfetti, 2013).

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

En la actualidad se considera que, los problemas más importantes del sector agropecuario de México (además de los aspectos agroclimáticos) son atribuibles al factor humano, puesto que los productores poseen poca capacitación, nivel de tecnificación bajo, desconocen aspectos básicos de sanidad animal y de comercialización de productos cárnicos. Todos estos aspectos, se consideran como limitantes para que la pequeña empresa ganadera del trópico logre consolidarse, tanto productivamente como económicamente (Callejas-Juárez et al., 2014; Martínez-González et al., 2017; Fonseca, 2017; Bautista-Martínez et al., 2019). Aspecto que limita la mejora de los SPA en TC a corto plazo.

Otro aspecto por considerar es el tamaño del número de vientres dentro del SPA, los productores de bovinos carne con mayor número de vientres en producción presentan un margen de ganancia mayor, con base en una mayor inversión en activos productivos, alimentación, manejo y calidad genética del hato y con menor inversión vinculada a la producción agrícola, debido a los altos costos de esta última. Sin embargo, aun en este tipo de ganaderos existe usencia de registros productivos de sus animales y de registros contables de la inversión en las tierras destinadas al mantenimiento (alimentación) de su ganado y ello, revela una ausencia de gestión empresarial en este tipo SPA (Rodríguez et al., 2018).

La falta de gestión empresarial en la pequeña empresa ganadera, la ubican entre sistemas de producción ordinarios o sistemas de producción en paralelo; ello, acorde a clasificación de los sistemas establecidos por Luhmann (1998): “el sistema ordinario es aquel en donde los eventos se le imponen al hombre a pesar de los esfuerzos de este por controlarlos; mientras que, en el sistema en paralelo hombre y sistema de producción llevan existencias paralelas (el sistema se presenta de forma indiferenciada), pero de forma simbiótica”

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

Por otro lado, se ha establecido que, la creación, supervivencia y reproducción de los sistemas de producción animal responden a los *motivos* del hombre (componente humano). Es decir, los motivos y el grado de conocimiento sobre la empresa y sus procesos de producción son los responsables de la cantidad y calidad de las tecnologías (componente tecnológico) presentes para procurar un ecosistema artificial donde nacen, crecen, se desarrollan y reproducen los animales que conforman el componente animal. Pues finalmente, este componente (animal) tendrá un confinamiento parcial o total. Pero, independientemente del grado de confinamiento de los animales, estos dependerán del hombre en la satisfacción de sus necesidades fisiológicas (Ortiz et al., 2015).

3.5 Componente animal

La productividad del ganado en TC es muy baja no logran el becerro/vaca/año. Por consiguiente, se sugiere que la rentabilidad de las pequeñas empresas ganaderas de esta región es muy baja, por lo que esta problemática debe atenderse desde los programas de investigación y transferencia de tecnología (Medina y Torres, 2018).

Para la mayoría de las investigaciones en torno a la problemática de productividad de la ganadería de TC Michoacán, esta se centra en la producción tradicional: escaso o nulo financiamiento, falta de capacitación de personal y poca tecnificación; aunado ello, los problemas agroecológicos inherentes a dicha región (sequías prolongadas) y la desvinculación con el mercado nacional de productos cárnicos (García-Díaz et al 2017; Naranjo-Ramírez y Ruiz-Buitrago 2020). Sin embargo, gran parte de dichos factores, desde la teoría de sistemas, los sistemas de producción al estar expuestas a su contexto, parte de los factores que deben de cambiarse (agroecología) a corto (educación) o largo plazo (cultura empresarial, financiamiento); por lo que, la estrategia de mejora continua a corto plazo debe girar en torno a las variables cuyo impacto sea observado rápidamente por la pequeña empresa ganadera.

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

Ortiz et al. (2021) establecieron que, la producción de becerros/año/SPA en TC es de 16.0 becerros (50% hembras y 50% machos) lo que genera un ingreso bruto promedio/UP de \$61,383.60 $\pm$ 9, 918.48 pesos^{MN}. Ingreso bruto anual que no satisface las necesidades diarias del productor y su familia; puesto que, si a este ingreso anual bruto se le divide en 365 días, aproximadamente la pequeña empresa ganadera percibiría un ingreso bruto diario de \$168.17 pesos^{MN}. En este sentido, un jornalero agrícola o un vaquero recibe un sueldo diario de \$160.19 o \$144.07 pesos^{MN}, ello acorde a los salarios mínimos en México en el 2021 (CONASAMI, 2021).

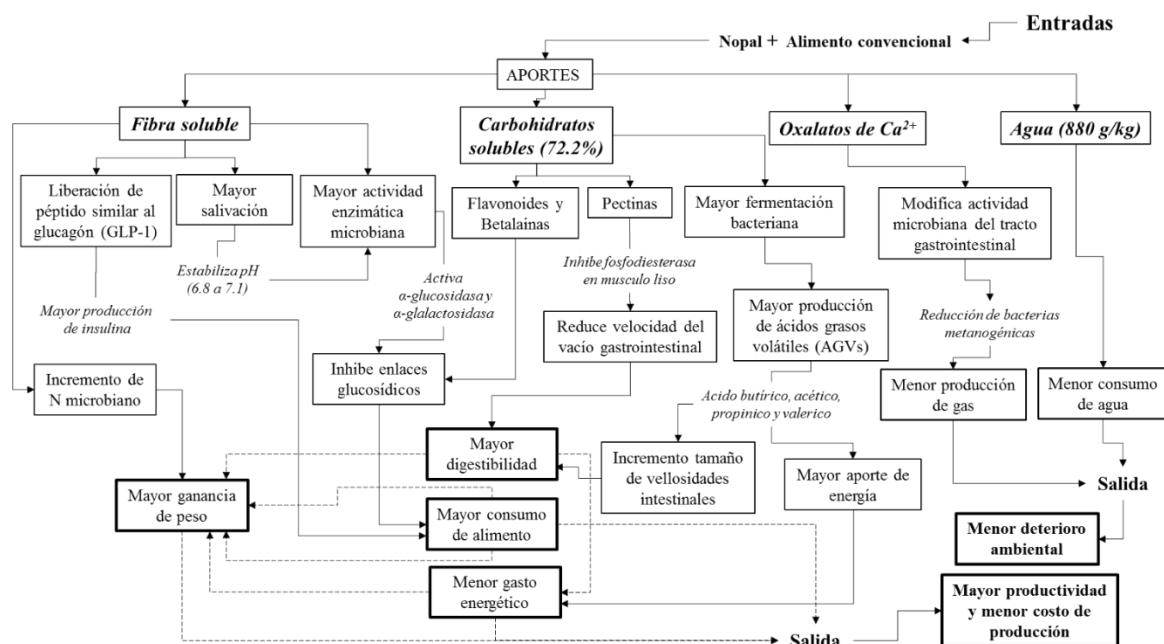
El ingreso anual bruto/SPA para los productores de ganado bovino de carne no es un elemento como para incentivar al productor a un cambio en la operación de su SPA; puesto que, si se considera que el 60% de los costos totales de la producción animal es la alimentación, esto significa que el ingreso para satisfacer las necesidades mínimas de la familia no les alcanzaría. Además, el sistema de producción vaca-becerro, prioriza el aprovechamiento, lo más eficiente posible, de los ciclos de lluvias y crecimiento de los forrajes, con los ciclos reproductivos y productivos del ganado, así como el rastrojo de las siembras agrícolas (Medina y Torres, 2018) y esta es la primera característica de los productores de TC, es decir, invertir lo menos posible en el ganado a cambio de recurso económico “voluminoso” en una época dada (época de venta de becerros).

Los aspectos reproductivos y productivos del componente animal, Faverin y Machado (2019), refieren que en el trópico las vacas presentan entre 150 y 210 días abiertos, lo que incrementa el intervalo de partos (14 a 16 meses) y por ello no se logra el becerro/año/vaca. El éxito en la disminución de este indicador está en la adaptación del ganado a las condiciones agroclimáticas de las regiones tropicales, a través de la obtención de híbridos. Sin embargo, los problemas más evidentes (para dicha adaptación) se relacionan con el mantenimiento de los bovinos híbridos F1, el mantenimiento de las razas parentales puras y la sostenibilidad del equilibrio de la proporción de

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

genes apropiada a las condiciones del ambiente específico. Aspectos que implican la generación de información de cruzamientos que sincronicen la habilidad de la vaca con un comportamiento reproductivo eficiente, para aprovechar la heterosis del apareamiento (Ordaz et al., 2010).

Un elemento importante para la productividad del ganado bajo condiciones del trópico es la calidad nutricional de los forrajes en estas regiones. Sin embargo, los forrajes producidos en esta región no satisfacen los requerimientos de minerales de los animales en pastoreo (limitante), la deficiencia de minerales, la segunda más importante en los bovinos bajo pastoreo, afectan la eficiencia reproductiva de las vacas (incremento de días abiertos), puesto que, incrementa los días abiertos/vaca y disminuye la fertilidad $\geq 45\%$; además de incrementar los abortos (10%) y el intervalo entre partos (Salamanca, 2010). En este sentido, el nopal forrajero, podría ser una alternativa viable para aportar no solo minerales (Tabla 1) a la dieta del ganado de TC Michoacán, si



no por los otros aportes nutricionales que ofrece esta cactácea (Figura 2).

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

FIGURA 2. Reformulación de la visión esquemática de los sistemas de producción animal en torno a implementar el nopal (*Opuntia* spp) como alternativa alimenticia no convencional.

2.6 Componente agrícola: Insumos para la alimentación del ganado (entradas al sistema)

Dentro de los SPA uno de los rubros más importantes a tomar en cuenta es la alimentación (FAO, 2013) puesto que esta se relaciona de manera directa con la productividad y economía del sistema. Sin embargo, durante los últimos años, se ha observado deficiencia en la producción y calidad de insumos para abastecer la alimentación del ganado; deficiencia que está asociada con la sobreexplotación de las tierras agrícolas, lo cual a su vez repercute de manera negativa sobre el ambiente (Blanco *et al.*, 2010).

La variabilidad en la producción de insumos genera fluctuaciones productivas y económicas dentro de los SPA, lo cual pone en riesgo su permanencia y, por lo tanto, la producción de alimentos de origen animal (FAO, 2006; Nava *et al.*, 2009). Por ello, la búsqueda de estrategias alimenticias no convencionales, como es el caso del nopal (*Opuntia* spp.) son esenciales para sobrellevar dicha carencia de insumos.

No obstante que, los aspectos nutricionales son importantes, tomar este punto como partida de análisis sobre la productividad de los SPA limitaría el entendimiento de este fenómeno y, además, podría inferirse que únicamente con la mejora de la alimentación: la producción del ganado se mejoraría y se lograría la sustentabilidad del sistema. Aunado a ello, no se estaría tomando en cuenta el postulado de que cualquier alteración en un componente de sistema afecta a los

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

componentes restantes y a todo el sistema en conjunto (Bertalanffy, 1976; Ortiz y Ortega 2001). Por ello, se discutirá en este documento, primeramente, otros factores que inciden en la modificación del sistema (animal) y su relación con el comportamiento productivo del ganado al ser sometido a una alimentación adicionada con nopal (*Opuntia* spp.) (Figura 2).

4. Problemática general de la ganadería para producción de carne de bovino en México

En México la ganadería bovina es la actividad productiva más difundida en el medio rural y se realiza en todas las regiones agroecológicas del país. Esta actividad productiva se desarrolla en aproximadamente 110 millones de hectáreas lo que representa aproximadamente el 60% de la superficie del territorio nacional en la que los sistemas de producción van desde los más altamente tecnificados e integrados hasta los tradicionales (Ruiz, 2004).

La ganadería es una de las principales actividades económicas de los pobladores dado que existe diversidad de sistemas de producción de bovinos carne, unas de las más recurridas ya sea por las regiones agroecológicas o la extensión de hectáreas para su producción son producción de vaca cría y la venta de becerros a destete. Pero esta actividad ha representado una amenaza a los ecosistemas por la deforestación que se ha realizado para el establecimiento de praderas para alimentación del ganado contribuyendo a los cambios en el clima de la región debido a que el ganado es directamente afectado por los cambios en la temperatura la precipitación, la frecuencia y gravedad de los fenómenos extremos como sequías, inundaciones (CONABIO, 2016).

En los análisis de la ganadería del sector cárnico existe consenso sobre el reconocimiento de la falta de conocimiento de sus recursos (agrícolas y pecuarios) y la incipiente o nula utilización de registros de producción. Aspectos estos que no permiten establecer planes de mejoramiento productivo que

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

redundan en una mayor eficiencia y rentabilidad de los sistemas de producción de bovinos carne (Magaña, 2006).

La problemática de ganadería bovina en México es diferente para los diversos tipos de sistemas de producción, ya que estos cuentan con diferentes paquetes tecnológicos y diferente economía. Por lo que, claramente se puede observar el contraste entre un sistema altamente tecnificado y un sistema familiar o del pequeño productor, en donde para los primeros el objetivo es la inversión y capitalización mientras que para los segundos se vuelve una opción complementaria de sus ingresos o fuentes de ahorro (SAGARPA, 2007).

Esta problemática se acentúa aún más en los pequeños productores puesto que estos presentan bajos niveles de producción y baja competitividad, ello debido a las escasas fuentes de financiamiento que otorgan las instituciones financieras al sector pecuario; motivo por el cual, los productores no disponen del capital suficiente para invertir en la modernización y equipamiento de sus unidades de producción (Mata, 2009).

A nivel productor los problemas están referidos hacia la falta de diagnósticos confiables de características y recursos involucrados en las unidades de producción considerando en estas las diferentes regiones de México, esto se ve reflejado en la baja productividad y rentabilidad de la ganadería. En este último aspecto, no se encuentran documentados los impactos sociales económicos y ambientales de los procesos de innovación y adopción de tecnología en la producción de bovinos productores de carne (Aguirre, 2015).

4.1 Características generales de los sistemas de producción bovinos carne en el trópico seco

Los sistemas de producción de bovinos carne presentan una amplia gama de sistemas, mismos que van desde los altamente tecnificados e integrados hasta los sistemas de tipo tradicional o sistemas

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

familiares (orientados principalmente hacia el autoconsumo). Los sistemas de bovinos carne que se encuentran en el trópico seco son: Sistemas intensivos y sistemas extensivos y sistemas familiares, dentro de estos, a su vez, se pueden encontrar: el sistema vaca cría y el sistema de producción de becerros al destete (Dávalos, 2015).

Los sistemas intensivos de bovinos carne están representados por la ganadería estabulada, los cuales poseen un modelo que se corresponde con la producción de grandes volúmenes de carne en un lapso relativamente corto. En estos sistemas, los bovinos reciben cantidad y calidad de suplementos concentrados (basados en cereales y fuentes proteicas) de alto costo; ello, complementado con ensilados o forrajes de buena calidad (pastos introducidos) (SAGARPA, 2010).

En cuanto a los sistemas de producción extensivos, estos son los sistemas tradicionales de los pequeños y medianos productores ganaderos del sector rural. Dichos sistemas representan la aproximación más cercana a un ecosistema natural y por ello, su creación se basa en una amplia relación con el medio ambiente; donde interactúan pasto-animal-hombre. Lo cual consiste en que los animales son conducidos por el hombre (vaquero) hacia los potreros naturales o inducidos para que estos se alimenten (pastoreo) permaneciendo la mayor parte del tiempo en estas extensiones de terreno (Pérez, 2009).

Para el caso del sistema vaca – cría, este se limita a la producción de becerros al destete para su venta. Por lo tanto, los becerros son alimentados por amamantamiento no restringido y ello permite aprovechar el consumo de pastos y toda la leche que la madre produce. La edad a la que se destetan los becerros oscila entre 7 a 8 meses con un peso promedio de 170 kg (Callejas, 2014). Sin

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

embargo, este sistema también tiene la característica de ser extensivo; por lo que se aprovecha al máximo las condiciones agroecológicas benéficas (época de lluvias) de la región: abundancia de pastos en los potreros.

Por último, el sistema de producción familiar, este produce el 80% de los alimentos producidos en el mundo y constituye la mayor fuente de empleo (Cervantes, 2007). En este sistema la característica principal es la mano de obra familiar de manera predominante a lo largo del año y la segunda característica más importante es que cuenta con alrededor de 25 a 30 cabezas de ganado/sistema. Los bovinos del sistema familiar se encuentran en instalaciones cercanas a la vivienda del productor y que la alimentación de estos animales se basa en cultivos agrícolas (maíz) y residuos de cosecha provenientes de parcelas de cultivos de autoconsumo del productor. En ocasiones, esta alimentación se complementa con concentrado comercial. Pero, de manera general, la alimentación del ganado se sustenta en el pastoreo de especies nativas en los potreros (FAO, 2014).

4.2 Esquema de alimentación del ganado productor de carne en el trópico michoacano

En los últimos 40 años, las áreas en pasturas en Michoacán han aumentado de 3.5 a 9.5 millones de hectáreas y el inventario de ganado bovino ha experimentado un aumento de 4.2 a 9.6 millones de cabezas. Esta expansión ha sido asociada a la pérdida y fragmentación de bosques y la creación de paisajes con mosaicos de monocultivos de pastos cultivos agrícolas y fragmentos de bosques (Kaimowitz 2001).

De acuerdo con la población ganadera actual y aun considerando las praderas existentes y los esquilmos agrícolas difícilmente se cubren las necesidades forrajeras para evitar el sobrepastoreo escasez de agua. La falta de agua para abrevaderos en temporadas de estiaje es un problema

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

fuerte para el productor que significa un incremento de los costos de producción y la disminución de los rendimientos y puede llegar a la pérdida por muerte de los animales (SAGARPA 2012).

En México los sistemas de producción de becerros al destete se basan principalmente en la productividad en la alimentación con pastos cuya calidad y disponibilidad depende en gran parte de la precipitación pluvial y en ocasiones la alimentación se complementa con forrajes de corte minerales o raciones balanceadas que aportan proteína energía y minerales las zonas tropicales de Michoacán se asocian con costos bajos de producción por el uso estratégico de los recursos disponibles (Absalón 2012).

4.3 Necesidades nutricionales de los bovinos carne en el trópico seco: Reproducción

La dieta de los rumiantes se basa fundamentalmente en el uso del recurso pastizal el cual se encuentra sujeto a las variaciones climáticas que inciden directamente sobre la cantidad y la calidad de los pastos producidos. Durante la época seca los pastos cubren insuficientemente los requerimientos de los animales. Una suplementación estratégica debe ir acompañada de un plan de alimentación que incluya raciones o dietas alimenticias con todos los elementos necesarios como fuentes adecuadas de agua carbohidratos proteínas energía minerales vitaminas y aditivos que con llevan a acelerar los procesos de digestión-asimilación por parte de la fisiología propia del animal (Pírela, 1996)

La composición mineral de los forrajes varía de acuerdo a numerosos factores, entre los cuales se destacan el estado vegetativo las diferencias entre especies y aún entre variedades el suelo la fertilización las inundaciones el clima las estaciones del año la parte de la planta la sanidad de la planta la frecuencia de defoliación el sistema de pastoreo la digestibilidad el retorno de los minerales

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

al suelo la estructura de la pastura el método de conservación del forraje y otras variables (Bavera, 2006).

Como se ha venido mencionando los desequilibrios de minerales (deficiencias o excesos) en suelos y en los forrajes han sido considerados como responsables de la baja producción y problemas reproductivos de los rumiantes en pastoreo en los trópicos (Klassen, 2010)

4.4 Características nutricionales de los principales insumos de la dieta de los bovinos carne en el trópico seco

La alimentación de los bovinos en el trópico depende casi exclusivamente de pastos y estos muestran una irregular oferta durante cierta época del año. En la época de lluvias pueden resultar satisfactorios para una producción de carne de 500 a 750 g/d y de leche hasta 10 l/d sin embargo durante la estación seca su calidad y cantidad se ve seriamente comprometida constituyendo un material altamente fibroso y pobre en nitrógeno de tal forma que los animales en crecimiento pierden peso y las vacas lactantes reducen su producción a valores inferiores (Minson 1990). Las alternativas forrajeras para el ensilado son múltiples de tal forma que el tipo de forraje puede provenir de gramíneas leguminosas cultivos forrajeros (sorgo, maíz), residuos de cosechas u otros subproductos. (Mannetje. 2001)

El ensilado de maíz requiere menos trabajo para producir una tonelada de forraje que muchos otros cultivos forrajeros además se puede prolongar el período de cosecha para toda la superficie sembrada y provee una oportunidad para salvar cosechas estresadas o dañadas también puede reciclar los nutrientes de las plantas eficientemente, especialmente grandes cantidades de N y K sin embargo, el ensilado de maíz tiene algunas desventajas como por ejemplo su venta y transporte lejos el ensilado de maíz puede también llevar a un incremento en el potencial de erosión del suelo

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

y consecuentemente una pérdida en la productividad del suelo cuando las prácticas de conservación del suelo no son parte del sistema de producción (Villa, 2008).

El ensilado de maíz es un componente importante en la dieta de las vacas debido a que constituye una opción de bajo costo por unidad energética y es el perfecto complemento en las raciones de los sistemas intensivos de estabulación, estabulación temporal y pastoril. El almidón proporciona a las dietas una gran cantidad de energía de fácil digestión. Principalmente proviene de los granos de cereales y en segundo lugar de ensilados de granos tradicionales principalmente del maíz (Demanet, 2014).

Los esquilmos se caracterizan por ser materiales fibrosos ricos en carbohidratos estructurales de baja digestibilidad y contenido de proteína minerales y vitaminas. Están compuestos por la fracción de menor digestibilidad y valor nutritivo porque al envejecer la planta y terminar su ciclo productivo almacena en el fruto las sustancias nutritivas. Sin embargo, pueden ser utilizados como suplementos en dietas o raciones de los rumiantes sobre todo en épocas críticas por falta de forraje o alimento (Reyes, 2013)

La producción de rastrojo y pajas se enmarca en un sistema de producción que lo define el producto principal que se cultiva situación que ha provocado que en el caso de México el tema sobre la importancia económica del rastrojo se estudie poco sin embargo cada vez juega un papel más relevante porque es clara su existencia. Aunque es un subproducto agrícola existe una oferta y demanda de ellos por lo tanto la producción y venta de los esquilmos involucra actores factores y acciones que se ubican dentro y al exterior de la unidad de producción primaria (Cuevas, 2011).

La producción de rastrojo representa aproximadamente 50% del total de la materia seca por lo que se calcula que por cada kilogramo de grano producido se obtiene un kilogramo de residuo (Macedo,

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

2000). El consumo de éstos está ligado a su disponibilidad en las regiones con actividad agrícola, aunque también existen zonas del país a las cuales se movilizan grandes cantidades de rastrojo para cubrir los requerimientos alimenticios que el inventario ganadero necesita (Villegas ,2001).

5. El nopal forrajero (*Opuntia spp*) adicionado a la alimentación del ganado

Desde tiempos prehispánicos el nopal ha tenido un rol importante en la cultura mexicana; por ser parte importante de la dieta y economía agrícola de este pueblo (Prieto *et al.*, 2008). Actualmente, el nopal se distribuye en todo el mundo (López *et al.*, 2007); hay más de 300 especies del género *Opuntia*, de las cuales hay alrededor de 104 especies en México (López, 2011). Históricamente, se tienen registros desde el siglo XVI (Prieto *et al.*, 2008) que, revelan la implementación del nopal (*Opuntia spp*) en la alimentación de bovinos, ovinos y caprinos durante la época de estiaje (Anaya y Bautista, 2008). Actualmente, la implementación del nopal, como parte de la alimentación animal se vincula a sus múltiples adaptaciones morfológicas y fisiológicas que lo hacen apto para persistir en condiciones adversas de temperatura (-16 a 35 °C) y humedad (125 a 1300 mm) (Griffith, 2004); así como, a su elevado coeficiente de digestibilidad de la fibra soluble (>50%) (Cavalcante y Carvalho, 2006); al contenido de agua (70 a 93%), mismo que reduce la necesidad de agua de bebida de los animales (Nefzaoui y Ben Salem, 2002^a); a la producción de biomasa (62 y 226 t ha⁻¹ base fresca), palatabilidad y tolerancia a la salinidad (Ben Salem *et al.*, 1996).

Esta cactácea se ha considerado como forraje alternativo en la alimentación animal, ya que puede producir más de 10 ton de materia seca (MS) ha⁻¹ y es resistente a la sequía. Además, el nopal al pertenecer a las plantas tipo MAC (metabolismo ácido de las crasuláceas) tiene mayor potencial de producción de biomasa por unidad de agua en condiciones óptimas que las plantas C₃ y C₄ (Cushman y Borland, 2002). Con relación a la producción de biomasa en MS ha⁻¹, las plantas C₃, C₄

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

y MAC pueden producir cantidades similares de forraje bajo condiciones óptimas de temperatura y humedad, pero en circunstancias de sequía, las plantas MAC son superiores a C₃ y C₄ (Harris y Martin, 1991).

Ante lo antes descrito, se analizará el efecto de la implementación del nopal (*Opuntia* spp) en la alimentación del ganado. Abordando a esta cactácea no solo como complemento alimenticio durante la época de estiaje, tal como ha sido enfocado a lo largo del tiempo, sino, establecer su funcionalidad como alimento capaz de aportar metabolitos, más que nutrientes, los cuales modifican la digestibilidad y rutas metabólicas, que inciden en el desarrollo y productividad del ganado, y a su vez, mejora la productividad, calidad de los alimentos y economía de los SPA.

Por lo tanto, el enfoque tradicional del uso del nopal en la alimentación del ganado [fuente de alimentación de “emergencia” durante la época de estiaje (Abidi *et al.*, 2009)], en la actualidad debe cambiarse, debido al efecto que este insumo provee al suministrarse en la dieta del ganado: reducción en los costos de la ración e incremento productivo del ganado (Ortiz *et al.*, 2013). Aspectos esenciales para la rentabilidad y persistencia de los SPA. Puesto que, después de las variables reproductivas, los indicadores productivos son los de mayor importancia dentro de los sistemas pecuarios (Sakly *et al.*, 2013).

No obstante, a pesar de que la alimentación no es el único factor que incide sobre la eficiencia de los SPA [analizándola desde un punto de vista sistémico] (Vadell *et al.*, 2010), dicho factor (alimentación) es el que mayormente limita la productividad de los SPA, pues esta determina (en más del 50%) la productividad de los animales y representa, al menos, el 70% de la inversión económica (Bobadilla *et al.*, 2013). Este porcentaje de inversión por concepto de alimentación está sujeto al costo, disponibilidad y calidad de los insumos de cada región, factores estos que originan variabilidad en la composición de la dieta (Gutiérrez *et al.*, 2008). Sin embargo, el nopal forrajero

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

puede cumplir con estos criterios (económico, disponible por su amplia distribución geográfica y mejora la calidad de la dieta) mejorando la cantidad y calidad de los productos generados en los SPA (Andrade *et al.*, 2008).

5.1 Aportes nutritivos del nopal en la alimentación animal

El nopal se ha utilizado como fuente de energía, agua y vitaminas para el ganado en época de estiaje (Ben Salem, 2008); presenta alto nivel de agua en su composición, importante en regiones áridas, debido a que provee gran parte de los requerimientos de agua de los animales (Córdoba *et al.*, 2009). No obstante, debido a las características que presenta el nopal no debe ser ofrecido como única fuente de alimento, por sus limitaciones en proteína cruda (PC) principalmente (Tabla 1). Por lo tanto, es preciso adicionarlo con insumos ricos en PC.

TABLA 1. Composición química de *Opuntia ficus-indica* (Modificado de Andrade *et al.*, 2011).

Variedad	MS	MO	PC	FDN	FDA	Ceniza	Autor
<i>O. ficus indica</i> VC, P	16.5	86.6	4.6	35.9	20.2	13.4	Córdoba <i>et al.</i> (2009)
<i>O. ficus indica</i> VC, M	15.5	83.5	5.2	39.6	21.3	16.5	Córdoba <i>et al.</i> (2009)
<i>O. ficus indica</i> , P	8.3	76.3	7.7	36.8	11.8	23.7	Villegas <i>et al.</i> (2008)
<i>O. ficus indica</i> , P	9.7	75.2	5.8	44.9	17.8	24.8	Villegas <i>et al.</i> (2008)
<i>O. ficus indica</i> , G	10.3	74.4	5.9	43.5	16.0	25.5	Villegas <i>et al.</i> (2008)

MS=materia seca; MO=materia orgánica; PC=proteína cruda; FDN=fibra detergente neutra; FDA=fibra detergente ácida; VC=variedad coopena; P=cladodio pequeño; M= cladodio mediano; G= cladodio grande

Además de la variabilidad de la composición química del nopal, debido a la variedad o tamaño del cladodio (Tabla 1), la composición nutricional del nopal también esta influenciada por otros factores; entre ellos, la edad del cladodio (Tabla 2), característica esencial para tomar en cuenta al momento de implementarlo en la alimentación animal (Guzmán y Chávez, 2007; Waramit *et al.*, 2011). Se ha establecido (Guevara *et al.*, 2004) que, el cladodio de un mes de edad es más rico en vitamina C (4.15 mg/100g), carbohidratos y proteína, mientras que el cladodio de un año presenta mayor cantidad de Ca (0.59 mg/100g), P (24.93 mg/100g), K (2.80 mg/100g), Fe (1.34 mg/100g) y fibra,

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

características reportadas en diversos clones de *Opuntia ficus-indica*, *O. robusta*, *O paraguayensis*, *O spinulifera* (Pinos *et al.*, 2010).

TABLA 2. Composición química del cladodio según su edad (Modificado de Pinos *et al.*, 2010).

	Edad (días)					
	30	37	45	60	75	90
Materia seca (MS), g kg ⁻¹ L	53	56	57	58	61	63
Proteína cruda, g kg ⁻¹ MS L	180	156	153	123	106	104
Fibra detergente neutra, g kg ⁻¹ MS ^L	288	296	300	306	311	319
Fibra detergente acida, g kg ⁻¹ MS L	154	163	166	193	207	217
Cenizas, g kg ⁻¹ MS	193	203	211	213	216	228
Energía bruta, MJ kg ⁻¹ MS Q	14.3	13.8	12.9	12.9	12.9	12.9
Nitratos, g kg ⁻¹ MS L	2.4	2.2	1.7	1.6	1.6	1.3

Efecto de día de crecimiento: ^LLineal (P < 0.05); ^QCuadrático (P < 0.01).

Aunado a la edad del cladodio, como factor determinante del contenido nutricional, se suman también las condiciones agroecológicas y prácticas agronómicas como factores que influyen en las modificaciones nutritivas del nopal (Blanco *et al.*, 2010). Como referente a esto último, la aplicación de fertilizante, además de incrementar el rendimiento, mejora la calidad nutritiva del forraje (Martínez *et al.*, 2009): incremento en el contenido de proteína [67, 124 y 135 kg de N ha⁻¹ produce 3.1, 4.2 y 4.4 % de PC, respectivamente] (Mulas y Mulas, 2004; Ramírez *et al.*, 2007). Otras mejoras en las condiciones agronómicas propician variabilidad en la composición nutricional del nopal (Costa *et al.*, 2009; Córdoba *et al.*, 2009) producen mayores contenidos de: MS, 8.3 a 21.8% (Villegas *et al.*, 2008), PC, 3.0% a 12.8% (Misra *et al.*, 2006; Tegegne *et al.*, 2007), fibra detergente neutra (FDN), 23.8% a 25.6% (Tegegne *et al.*, 2007; Misra *et al.*, 2006) y cenizas, 13.1% a 25.5% (Villegas *et al.*, 2008; Córdoba *et al.*, 2009). Estos resultados sugieren la pertinencia de realizar un análisis químico proximal del nopal antes de su implementación en la alimentación del ganado, para prever las modificaciones en la estructura de la dieta implementada (Waramit *et al.*, 2011).

5.2 Inclusión del nopal en la dieta del ganado y su efecto sobre la productividad

5.2.1 Variaciones productivas del ganado

De acuerdo con el efecto del nopal sobre el crecimiento y conversión alimenticia del ganado se ha observado mejora ($P<0.05$) al implementarlo en la dieta (Wanderley *et al.*, 2002; Abidi *et al.*, 2009). Ben Salem *et al.* (2005) observaron una ganancia diaria de peso (GDP) de 20.5 g d⁻¹ en ovinos en pastoreo (*Atiplex*) complementado con nopal (*O. ficus-indica*); superior ($P<0.001$) a la GDP en animales no complementados con nopal (-34.9 g d⁻¹).

Se ha establecido (Ben Salem *et al.*, 2004) que la GDP mejora substancialmente si los insumos de la dieta a complementar con nopal son de mayor calidad: 119 g d⁻¹ de GDP en ovinos con dieta a base de soja-nopal (*O. ficus-indica* y *f. inermis*). Tikabo *et al.* (2006) reportan mayor GDP ($P<0.05$) en ovinos, cuando se sustituyó *Eragrostis tef* por nopal (*O. ficus-indica*) en proporción de 50 y 75% de la ración, siendo la ganancia de: 48.9 y 52.8 g d⁻¹ respectivamente; a diferencia de dietas a base de *Eragrostis tef*, (23.5 g d⁻¹). No obstante, Amare *et al.* (2009) establecen que, ovinos alimentados con una dieta complementada con nopal presentaron menor GDP ($P<0.001$): 19.8 g d⁻¹, en contraste a ovinos que recibieron una dieta a base de semilla de algodón, semilla de noug y torta de maní, cuyas GDP fueron de: 69.1, 35.2 y 56.7 g d⁻¹, respectivamente, debido al mayor contenido proteico (25 a 40%) de estos insumos.

Muciño *et al.* (2014), al implementar nopal deshidratado en dieta para ovinos reportaron menor ganancia de peso: 267.0 y 175.0 g d⁻¹ con sustitución de 25 y 50%, respectivamente ($P<0.05$) a diferencia de la dieta no complementada con nopal (298.0 g d⁻¹). A pesar de que la GDP obtenida al implementar nopal fresco (19.8 g d⁻¹) o deshidratado (267.0 y 175.0 g d⁻¹) en la dieta son inferiores a la GDP con dietas convencionales, dicha ganancia debe evaluarse a la luz de los costos de los

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

insumos y es posible encontrar que, el nopal como parte de la dieta ofrece mayores ventajas en relación con la variable GDP.

El hecho de que en las dietas complementadas con nopal produzcan GDP viables en el ganado ovino pudiera atribuirse a que, el nopal es rico en carbohidratos solubles (Nefzaoui y Ben Salem, 1998): concentración de almidón ($130.9 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$), azúcar soluble ($60.1 \text{ g kg}^{-1} \text{ DM}$), fructosa (90%); niveles que satisfacen las necesidades de energía de los animales (Ayadi *et al.*, 2009). Por lo tanto, el ganado sometido a dietas con insumos de pobre calidad nutricional ya sea por condiciones agroecológicas adversas (estiaje o alteraciones ambientales), insumos costosos o poca disponibilidad de los mismos, el nopal puede cubrir satisfactoriamente las necesidades de energía del ganado, sin recurrir a sus reservas energéticas (Andrade *et al.*, 2008).

Se ha establecido (Tegegne *et al.*, 2007) que el nivel óptimo de nopal en la ración de ovinos es del 20% ($P < 0.05$), ello en función de la GDP obtenida con diferentes niveles de inclusión de nopal: 0% (11.0 g d^{-1}); 20% (33.0 g d^{-1}); 40% (25.0 g d^{-1}); 60% (28.0 g d^{-1}) y 80% (0.0 g d^{-1}). En cambio, Costa *et al.* (2012^a) y Costa *et al.* (2013) no encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) al sustituir el nopal (*O. ficus-indica* Mill) de 0 a 100% de la dieta base por nopal (Figura 3). En relación a la productividad en ovinos de lana, Ríos (1954) y Revuelta (1963) observaron que, en ovinos alimentados con nopal, además de mantener su peso vivo se mejoró el rendimiento y calidad de la lana, observándose un aumento de la lanolina en la lana.

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

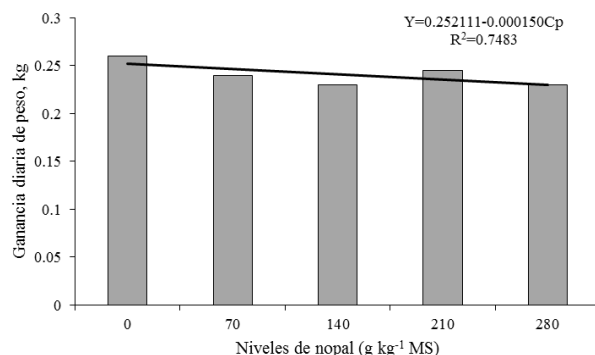


FIGURA 3. Ganancia diaria de peso en ovinos Santa Inés alimentados con diferentes niveles de nopal (*O. ficus-indica* Mil) en sustitución de maíz (Costa *et al.*, 2013)

Así mismo, se ha reportado (Rekik *et al.*, 2010) mayor peso ($P<0.05$) en corderos de madres alimentadas con nopal (6.8 kg) respecto a corderos provenientes de madres con dieta a base de cebada (6.2 kg). No obstante, a los 30 días de edad, el peso de los corderos de ambos tipos de madres fue de 9.5 kg ($P>0.05$). Por lo tanto, se puede deducir que la implementación del nopal en ovinos reproductores modifica de cierta manera la composición y producción de la leche, e incluso puede propiciar alteraciones favorablemente en el tracto gastrointestinal de animales amamantados por madres suplementadas con nopal.

A pesar de que el nopal (*O. ficus-indica*) ha sido implementado principalmente en la alimentación de rumiantes, actualmente se tienen reportes (Pérez *et al.*, 2016;) positivos del uso del nopal en la alimentación de monogástricos. Pérez *et al.* (2016) reportan menor consumo de alimento comercial en cerdos en fases de 20 a 50 kg y 50 a 100 kg a los cuales se les adición nopal (1% de acuerdo con el peso corporal) a la dieta ($P<0.05$): 2.0 ± 0.4 y 2.0 ± 0.5 kg, respectivamente en contraste a cerdos a los que no se les adiciono nopal a la dieta 2.3 ± 0.6 kg para la fase de 20 a 50 kg y 2.7 ± 0.6 kg para la fase de 50 a 100 kg. A pesar de este menor consumo de alimento, no se encontró diferencia en GPD, peso y edad a sacrificio ($P>0.05$) entre cerdos que recibieron nopal y los que únicamente consumieron alimento comercial. Así mismo, los cerdos que consumieron nopal presentaron menor conversión alimenticia en la fase de 50 a 100 kg ($P<0.05$): 3.4 ± 0.8 vs 4.5 ± 1.5 kg.

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

De acuerdo, al adicionar de nopal (1% de acuerdo con el peso corporal) a la dieta de cerdas lactantes se ha reportado (Ortiz *et al.*, 2015b) mayor consumo de alimento (5.4 vs 4.5 kg d⁻¹), menor pérdida de peso corporal al destete (7.4 vs 12.4%) y menor intervalo destete estro (5.2 vs 6.0 días) en contraste a cerdas alimentadas convencionalmente (P<0.05). Así mismo, Ortiz *et al.* (2015c) reportan mayor ganancia de peso (1.4 kg semana⁻¹) y peso al destete (5.5 kg) en lechones provenientes de cerdas que consumieron nopal en contraste a lechones de madres alimentadas convencionalmente (P<0.05): GPD 1.2 kg semana⁻¹ y peso al destete 5.0 kg. Aunado a ello, los lechones que provenían de cerdas alimentadas con nopal mantuvieron mayor peso durante toda la fase productiva, lo cual propicio reducción en los días para obtener el peso a mercado: 161 días (96.9 kg) vs 182 días (99.1 kg) para cerdos provenientes de madres a las que se les adiciono nopal durante la lactancia y madres alimentadas convencionalmente, respectivamente.

Con respecto a la adición de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de aves, se ha reportado (Ortiz *et al.*, 2016) que la adición de 24 g d⁻¹ ave⁻¹ en base fresca en gallinas de postura Plymouth Rock Barrada no modifica el porcentaje de fertilidad e incubabilidad con respecto a gallinas alimentadas convencionalmente (P>0.05): 80.0 y 91.2% de fertilidad y 52.4 y 77.2% de incubabilidad, para gallinas que consumieron nopal y gallinas alimentadas convencionalmente, respectivamente. No obstante, los indicadores de viabilidad de pollito mejoran al adicionar nopal a la dieta (P<0.05): 85.3 vs 70.3% (ombligo bien cerrado), 68.7 vs 55.6% (peso corporal), 91.0 vs 79.6% (patas y dedos normales), 75.4 vs 56.1% (abdomen reducido) y 186.0 vs 175.9% (índice de calidad).

5.2.2 Producción y calidad de la canal

Además de que la complementación de dietas con nopal mejora los patrones de GDP y la conversión alimenticia de los animales, también modifica la calidad de la canal de estos (Abidi *et al.*, 2009): i) menor contenido de grasa dorsal al sacrificio (0.28 cm) en ovinos complementados con

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

nopal a diferencia de ovinos suplementados con semilla de algodón (0.52 cm), semilla de noug (0.40 cm) y torta de maní (0.70 cm) (Amare *et al.*, 2009); ii) afecta la composición de ácidos grasos de la canal. El nopal ($P < 0.05$) la acumulación de *trans*-11 C18:1 en comparación con la carne de animales alimentados con dieta a base de cebada (+32% para ovinos y +43% para caprinos); iii) no modifica el pH, pérdida en cocción y el rendimiento de la canal ($P > 0.05$; Tabla 3) (Abidi *et al.*, 2009).

TABLA 3. Efecto de la inclusión de nopal vs cebada en el rendimiento de la canal, pH de la carne y pérdida de cocción en ovinos y caprinos (Modificado de Abidi *et al.*, 2009).

	Pérdida de cocción en ovinos y caprinos (medicados de Nopal et al., 2003).			
	Ovinos		Caprinos	
	Dieta			
	Nopal	Cebada	Nopal	Cebada
Peso de la canal, kg	14.2	15.1	8.6	10.0
Rendimiento de la canal, %	42.5 ^a	42.0 ^a	42.3 ^a	45.6 ^b
Ph	5.8	5.7	5.7	5.7
Pérdida en la cocción, %	16.6	15.0	18.3	19.3

^{a,b} Literales diferentes indican diferencia estadística ($P < 0.05$).

Aunado a ello, con la sustitución de cebada por nopal en dieta de pequeños rumiantes se observó que el ácido vaccénico (AV) se encuentra elevado (Abidi *et al.* 2009). Bessa *et al.* (2000) indican que el AV se origina exclusivamente en el rumen durante la biohidrogenación de ácido linoleico y ácido linolénico y su incremento en animales alimentados con nopal se asocia a la mayor cantidad de su precursor (ácido linolénico, C18:3n-3). Este ácido graso (AV), puede ejercer efectos favorables en el sistema cardiovascular (Roy *et al.*, 2007), por lo tanto, su aumento en la canal de animales alimentados con nopal puede considerarse favorable.

5.2.3 Producción y calidad de la leche

En sistemas de productores de leche en regiones semi-áridas de México, se ha reportado que la implementación del nopal en la dieta de caprinos y bovinos incremento producción y calidad de la leche (Mahouachi *et al.*, 2012; Ortiz *et al.*, 2013), así como, su consistencia y durabilidad, ello debido a la resistencia a la oxidación que le proporcionan los componentes del nopal (Mahouachi *et al.*,

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

2012). Wanderley *et al.* (2002) al implementar nopal en dietas de bovinos (*O. ficus-indica* Mill) en sustitución de ensilado de sorgo (0, 12, 24, 36%) encontraron mayor producción de leche ($P<0.05$), manteniendo la grasa en niveles normales (3.5%).

Resultados similares se han encontrado en cabras (Urrutia *et al.*, 2014), donde la implementación de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de esta especie provocó aproximadamente el doble ($P<0.001$) de producción de leche (300 g d^{-1}) en contraste con la alimentación con *Atriplex* (152 g d^{-1}). Además, no se encontraron cambios significativos ($P<0.05$) en la densidad de la leche al implementar el nopal (1.02 ± 0.05 y 1.01 ± 0.02 para *Atriplex* y nopal, respectivamente). No obstante, Costa *et al.* (2009) a pesar de no encontrar incremento lineal ($P>0.05$) en la producción de leche de cabras alimentadas con nopal (*O. ficus-indica*), indican decremento ($P>0.05$) de la grasa en leche con forme se incrementa la inclusión de nopal (Tabla 4). Aspecto que ya se había observado en el año de 1960: De Klerk (1960) encontró mayor digestibilidad en la leche de borregas alimentadas con nopal; ello fue asociado al menor contenido de grasa, pero a pesar del menor contenido de grasa en leche las crías conservaron su peso corporal.

TABLA 4. Producción y contenido de grasa en leche de acuerdo a diferentes niveles de inclusión de nopal (*O. ficus-indica*) en cabras (Modificado de Costa *et al.*, 2009).

	Nivel de nopal (%)					L x P
	0	7	14	21	28	
Producción de leche, kg d^{-1}	1.50	1.58	1.63	1.63	1.54	0.96
Grasa en leche, %	3.84	3.84	3.74	3.46	2.97	0.04

^{L x P} Probabilidad lineal.

Al parecer el incremento en la producción de leche se asocia a los carbohidratos solubles del nopal, y no a las reservas corporales de los animales (Ben Salem *et al.*, 2005). Ello se puede comprobar por la menor pérdida de peso corporal (PPC) en cabras alimentadas con nopal; independientemente de una mayor productividad láctea y, porque el tipo de carbohidratos del nopal mejora el

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar "El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

aprovechamiento del nitrógeno soluble de los demás insumos de la dieta (principalmente proteicos), lo que genera mayor síntesis de proteína microbiana (Veras *et al.*, 2005; Ben Salem *et al.*, 2010).

Por otra parte, Rekik *et al.* (2010), observaron una tendencia hacia una mayor producción de calostro al parto y a 24 h post-parto en borregas alimentadas con nopal: 408 y 1650 g, respectivamente, a diferencia de borregas sin complemento de nopal: 205 y 1400 g, al parto y 24 h post-parto. Además, no se encontró diferencia significativa ($P>0.05$) en la concentración de IgG: 149 y 160 g L⁻¹ para borregas complementadas con nopal y borregas sin complementación, respectivamente.

Respecto al contenido de proteína del calostro, en esta se encontró una rápida caída: 21.1 y 19.7% pos-parto y 8.1 y 7.8% a las 24 h para las borregas alimentadas con cebada y nopal, respectivamente. El contenido de grasa en leche post-parto fue de $14.7\pm0.85\%$ para ambas dietas, mismo que disminuyó gradualmente a una concentración de $10.3\pm0.82\%$ a las 24 h (Rekik *et al.*, 2010). Para Costa *et al.*, (2009), la reducción de grasa está asociada a la disminución energética del nopal, ya que la síntesis de lípidos de la leche y la lipólisis es afectada por los triglicéridos de la dieta (Chilliard *et al.*, 2003), mismos que disminuyen con la complementación de la dieta con nopal (Tabla 11).

Un efecto relevante al implementar el nopal en la dieta de cabras es, menor pérdida de peso corporal (PPC): 8.2% vs 11.3% en cabras alimentadas con *Atriplex*, ello independientemente de la mayor producción láctea. Resultados que pueden explicar la mayor eficiencia reproductiva encontrada en borregas alimentadas con nopal (Figura 4) (Sakly *et al.*, 2013). Puesto que, se ha establecido que, la implementación de tratamientos glucogénicos mejora la calidad de los ovocitos y desencadena el estro en borregas (Viñoles *et al.*, 2005). Por lo tanto, los altos contenidos de

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

carbohidratos del nopal (Nefzaoui y Ben Salem, 2002), podría haber proporcionado un nivel alto de energía, afectando la dinámica folicular positivamente.

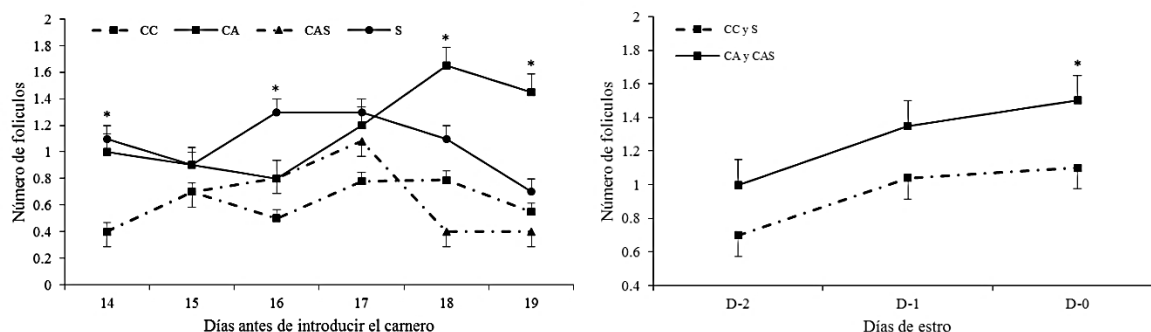


FIGURA 4. Número de folículos de borregas de raza Barbarina sometidas a tratamientos nutricionales con: concentrado (CC), nopal (CA), nopal harina de soja (CAS) y harina de soja (S); previos y en fase folicular. * Indican diferencias estadísticamente ($P < 0.05$). Fuente: Sakly *et al.* (2013).

En relación con el efecto del nopal (*Opuntia ficus-indica*), como complemento de las dietas en bovinos, sobre la producción de la leche en bovino, se ha encontrado (Ortiz *et al.*, 2012^a) que vacas alimentadas con nopal obtuvieron mayor ($P < 0.05$) producción láctea (8.5 L d^{-1}) en comparación con la producción de vacas alimentadas convencionalmente (7.4 L d^{-1}). Pérez *et al.* (2010) reportan un incremento de 3.70 L d^{-1} en vacas con dietas complementadas con nopal ($12 \text{ kg d}^{-1} \text{ vaca}^{-1}$), similar a lo encontrado por García *et al.* (2013) en el pico de lactancia: 10.7 y 7.0 L d^{-1} para vacas que recibieron dietas complementadas con y sin nopal, respectivamente. Araújo *et al.* (2004) observaron que las producciones totales corregida de vacas alimentadas con nopal vs maíz no mostraron diferencia estadística ($P > 0.05$); mientras que López *et al.* (2007) establecen que vacas alimentadas con nopal (*O. ficus-indica*) muestran incremento en la producción de leche.

En lo referente a la implementación del nopal por época (lluvia y sequía) sobre la producción de leche en bovinos, Ortiz *et al.* (2012^b) reportan producción similar ($P > 0.05$) con dietas complementadas con nopal vs dietas convencionales en la época de lluvias (Figura 5). En cuanto a la producción láctea durante la época de estiaje, las vacas alimentadas con nopal mostraron mayor

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

producción ($P<0.05$), a diferencia de vacas alimentadas convencionalmente. Sin embargo, analizando los datos a lo largo del tiempo, se puede observar que la complementación de la dieta de las vacas con nopal evita una caída súbita de la producción láctea, de acuerdo con las curvas de lactación ajustadas a 305 días (Figura 4).

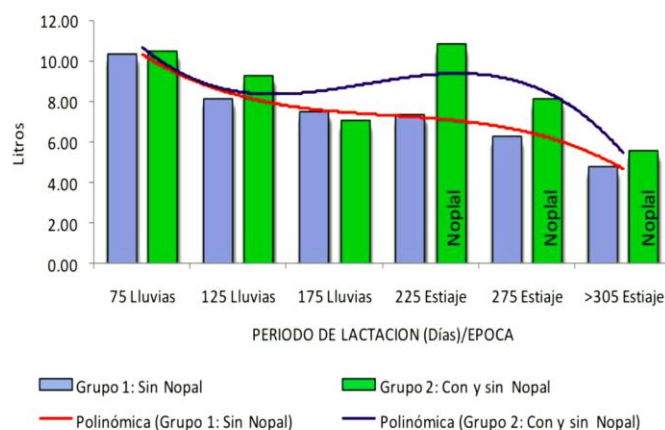


FIGURA 5. Curva de producción láctea de vacas alimentadas con y sin nopal de acuerdo con la época del año (Ortiz *et al.*, 2012^b).

Existen evidencias (Ortiz *et al.*, 2012^b) que la leche proveniente de vacas alimentadas con nopal (12 kg d⁻¹ vaca⁻¹), posee menores ($P<0.05$) cargas bacterianas de Mesófilas Aerobias y Coliformes totales (Ortiz *et al.*, 2013; Delgado *et al.*, 2016) al adicionar nopal por componentes y a través de extractos de epidermis directamente a leche cruda, obteniendo el mismo efecto bacteriostático (Tabla 5).

TABLA 5. Medias de mínimos cuadrados de las fracciones de nopal adicionadas a leche cruda sobre el contenido microbiano (modificado Ortiz *et al.*, 2013 y Delgado *et al.*, 2016)

Tratamiento		Mesófilas aerobias		Coliformes totales		
		Media	E.E.	Media	E.E.	
Mucilago*	<i>O. ficus-indica</i>	6.3 ^a	0.12	5.8 ^a	0.10	Ortiz <i>et al.</i> (2013)
Nopal CP*	<i>O. ficus-indica</i>	5.8 ^b	0.10	5.7 ^{ab}	0.12	
Epidermis*	<i>O. ficus-indica</i>	5.9 ^b	0.09	6.1 ^{ac}	0.09	
Nopal SP*	<i>O. ficus-indica</i>	7.1 ^c	0.28	6.7 ^d	0.28	
Control	---	1.5x10 ⁶ ^a	0.14 x10 ¹	1.5x10 ⁶ ^a	0.13 x10 ¹	Delgado <i>et al.</i> (2016)
	<i>O. ficus-indica</i> , CP	1.9x10 ⁵ ^b	0.14 x10 ¹	7.9x10 ⁴ ^b	0.13 x10 ¹	
Cladodio	<i>O. ficus-indica</i> , SP	3.1x10 ⁵ ^b	0.14 x10 ¹	3.9x10 ⁴ ^b	0.13 x10 ¹	
	<i>O. atropes</i> , SP	5.0x10 ⁴ ^c	0.14 x10 ¹	5.0x10 ⁴ ^b	0.13 x10 ¹	

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

	<i>O. ficus-indica</i> , CP	1.9x10 ⁵ b	0.14 x10 ¹	1.9x10 ⁵ c	0.13 x10 ¹
Epidermis	<i>O. ficus-indica</i> , SP	1.5x10 ⁵ b	0.14 x10 ¹	1.0x10 ⁵ c	0.13 x10 ¹
	<i>O. atropes</i> , SP	7.9x10 ⁴ c	0.14 x10 ¹	3.9x10 ⁴ b	0.13 x10 ¹

* (log¹⁰) CFU/ml; CP=con prácticas agronómicas; SP=sin prácticas agronómicas.

a, b, c, d = Diferencias estadísticas (P < 0.05) dentro de columna.

Con respecto a la reducción en las cargas bacterianas en leche cruda, por efecto del nopal, ya sea como parte de la dieta de las vacas o adicionado directamente a la leche (Tabla 5), se sugiere que, compuestos secundarios de esta planta tienen efectos antimicrobianos contra las bacterias, protozoarios y hongos. Dentro de los metabolitos secundarios, los compuestos fenólicos son los principales componentes activos (Burt, 2004) y su acción antimicrobiana provienen principalmente del potencial de interacción de estos compuestos sobre la pérdida o fuga de iones de la membrana de los patógenos, aspecto que ocasiona pérdida de integridad de la membrana y, por lo tanto, su destrucción (Bodas *et al.*, 2012). Ante estos hallazgos, se puede establecer que el nopal modifica, de cierta manera, los patrones digestivos del ganado, y ello a su vez, propicio incremento de ciertos metabolitos secundarios, mismos que ejercen un incremento en la producción y calidad de la leche (Figura 6).

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

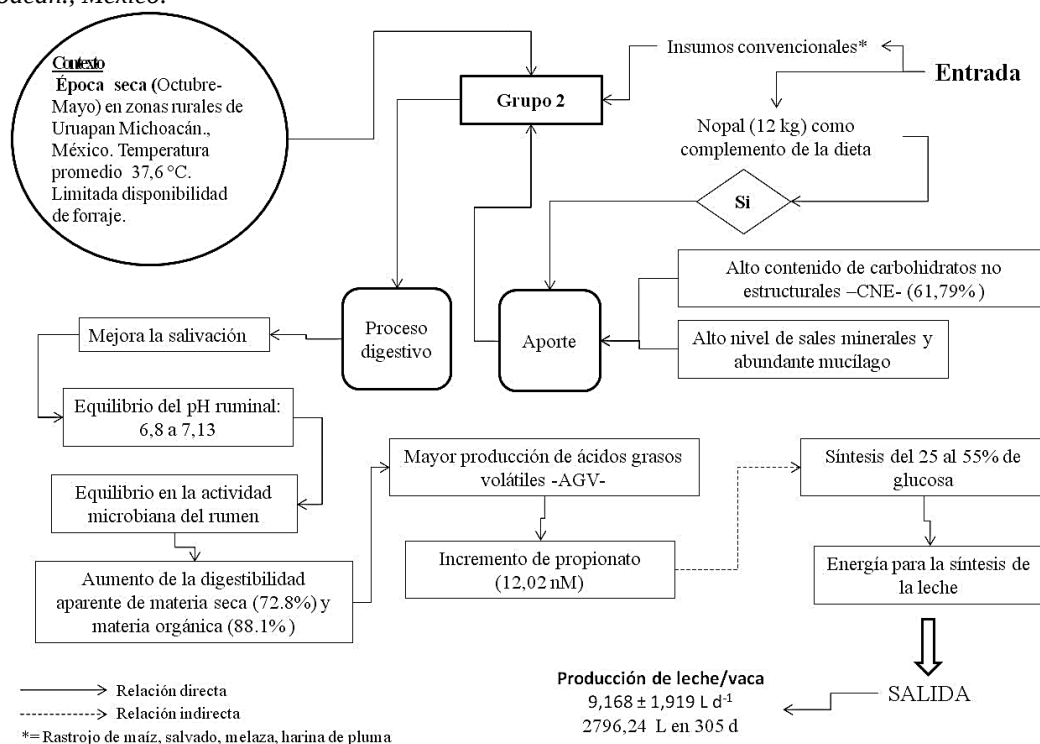


FIGURA 6. Conceptualización del efecto del nopal (*Opuntia ficus-indica*) como complemento de la dieta de vacas Holstein durante la época seca. Fuente: García *et al.* 2012.

5.2.4 Digestibilidad del Nopal (*O. ficus-indica*)

La digestibilidad de un alimento está estrechamente relacionada con su valor nutritivo, por lo tanto, esta variable determina la eficiencia nutricional de la dieta proporcionada a los animales (Parra *et al.*, 2009). Santos *et al.* (2001) determinaron que, la implementación del nopal en la alimentación animal aumenta el consumo de MS y FDN. No obstante, la digestibilidad del nopal como de cualquier otro forraje se relaciona con su edad (Tabla 6), por lo que en la complementación de la dieta con nopal no debe eludir la correlación negativa entre digestibilidad y edad de la planta (Tegegne, 2001; Pinos *et al.*, 2010).

TABLA 6. Digestibilidad *in vitro* del cladodio según su edad. (Modificado de Pinos *et al.*, 2010).

	Edad (días)					
	30	37	45	60	75	90
Solubilidad (a), g kg ⁻¹ MS ^L	357	347	345	340	293	289
Proteína digestible (b), g kg ⁻¹ MS ^L	483	460	408	396	389	378

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar "El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

Digestibilidad total (a+b), g kg ⁻¹ MS ^Q	840	807	753	736	682	667
Rango de digestibilidad (k), g MS h ⁻¹ ^L	61	57	54	50	48	46

Efecto de día de crecimiento: ^LLineal (P < 0.05); ^QCuadrático (P<0.01).

Se ha reportado (Ben Salem *et al.*, 2004) mayor digestibilidad aparente de materia orgánica, FDN y FDA, ello en comparación con dietas a base de soja-cebada (P<0.05; Tabla 7). Sin embargo, Tikabo *et al.* (2006) observaron reducción en la digestibilidad de la FDN (0.48%) y FDA (0.47%) en dietas complementadas con nopal (P<0.05), cuando fueron comparadas con dietas convencionales (0.50 y 0.52 para FDN y FDA, respectivamente). Esta posible reducción se asocia al alto contenido de carbohidratos solubles y de minerales que presenta el nopal, que en conjunto deprimen la actividad celulolítica del rumen y por ello, un exceso de nopal en la dieta del ganado limita el crecimiento microbiano ruminal (Ben Salem *et al.* 1996).

TABLA 7. Digestibilidad aparente de cuatro dietas en corderos de la raza Barbarine (Modificado de Ben Salem *et al.* 2004)

	Dieta base: Rastrojo de cebada			
	Cebada- Soja	Cebada- <i>Atriplex</i>	Nopal-Soja	Nopal- <i>Atriplex</i>
Digestibilidad de la dieta, %				
Materia seca	67.1 ^b	68.1 ^b	66.6 ^b	72.1 ^a
Materia orgánica	69.5 ^b	68.2 ^b	71.0 ^b	75.4 ^a
Proteína cruda	72.7	71.3	71.2	72.8
Fibra detergente neutra	68.3 ^b	68.2 ^b	68.8 ^b	73.5 ^a
Fibra detergente acida	61.2 ^{bc}	59.9 ^c	65.7 ^b	70.3 ^a
Celulosa	66.4 ^{bc}	64.5 ^d	76.9 ^a	75.2 ^{bc}
Consumo, g kg ⁻¹ W ^{0.75}				
Materia orgánica digestible	47.5 ^d	64.0 ^b	59.0 ^c	74.7 ^a
Proteína cruda digestible	7.2 ^b	7.9 ^a	6.9 ^c	7.8 ^a

^{a,b,c,d} Literales diferentes indican diferencia estadística (P<0.05).

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

En investigaciones sobre el efecto de varios niveles de sustitución de *O. ficus-indica* Mill (Veras *et al.*, 2002) de 0, 25, 50 y 75% a la dieta convencional, encontraron efecto lineal en la digestibilidad de la FDA; efecto que originó que el nitrógeno digestible total en rumen no se modificara, independientemente de un mayor consumo de nopal (Andrade *et al.*, 2008), ello debido a una mayor eficiencia en la fermentación ruminal, que favorece mayor producción de ácidos grasos volátiles (AGV's): 71.1, 80.9 y 79.4 mmol L⁻¹ en 0, 25 y 50% de inclusión de nopal deshidratado, respectivamente. Además, el incremento de la FDN que estimula la salivación, favoreciendo estabilidad del pH ruminal y a su vez, propicia persistencia en la flora microbiana y aumento de la digestibilidad (Costa *et al.*, 2012^a; Muciño *et al.*, 2014). Ello sin considerar que, el incremento de los AGV's favorecen el aumento (tamaño) de las vellosidades del rumen; lo cual pudiese tener efecto favorable sobre mayor reabsorción de nutrientes (Neiva *et al.*, 2006)

Así mismo, Fotius *et al.* (2014^a) establecen que, el nopal estimula la rumia y, en consecuencia, el aumento de la producción de saliva, con cantidades considerables de pectina; favoreciendo la producción de acetato y optimizando la fermentación ruminal. De hecho, es el efecto buferante del nopal, lo que estimula aumento de la actividad microbiana y en consecuencia se obtiene una fermentación más eficiente (Misra *et al.*, 2006). Sin embargo, se ha sugerido (Moreira *et al.*, 2009) que, las dietas con alta concentración de carbohidratos fermentables en rumen reducen pH ruminal (<6) debido a la síntesis de lactato, originando acidosis y reducción del consumo y absorción de nutrientes. No obstante, el nopal no favorece la producción de lactato y sí, propionato y acetato; sustratos volátiles que mantienen estable el pH ruminal, efecto de la pectina que genera gran cantidad de energía con fermentación acética, caracterizado en la celulosa y la hemicelulosa proporcionando mejor patrón de fermentación ruminal (Fotius *et al.*, 2014^b).

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar "El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

Anteriormente se afirmaba que el efecto del nopal era similar al de la melaza, debido al bajo contenido de MS y a la gran cantidad de carbohidratos solubles del nopal (Tabla 2). Sin embargo, esta hipótesis fue rechazada (Ben Salem *et al.*, 1996), ello se demostró incrementando los niveles de nopal como complemento dietético (0, 150, 300, 450 y 600 g MS), observando incremento en la ingesta de materia orgánica, PC digeribles y mejorando la fermentación ruminal; en contraste con el efecto clásico de la melaza, el pH del rumen no se redujo con el suministro de nopal. La abundancia de minerales del nopal aumenta la salivación, por tanto, mantiene el pH en el rango normal (6.5-7.0).

Menezes *et al.* (2010) al implementar *O. ficus-indica* mezclado (deshidratado-fresco), encontraron incrementó de la FDN (0.638 vs 0.582% para 0 y 36% de nopal, respectivamente) y aumento en: digestibilidad de MS (0.653 y 0.723%), PC (0.730 y 0.793%) y lípidos (0.587 y 0.725%); todos estos valores para 0 y 36% de nopal respectivamente. Ben Salem (2005) encontró mayor digestibilidad ($P<0.001$) de materia orgánica en dieta *Atriplex* complementadas con nopal (78%), ello en comparación con alimentación solo *Atriplex* (70.3%) y *Atriplex*-Cebada (77.1%); no obstante, la digestibilidad proteica fue menor en la dieta con nopal (71.0%) que en las otras dos: 83.5 y 80.8% para dieta de *Atriplex* y *Atriplex*-Cebada, respectivamente ($P<0.001$). Resultado que concuerda con Tikabo *et al.* (2006) quien reporta menor digestibilidad ($P<0.05$) proteica del nopal (0.41 y 0.38% en sustitución de 50 y 75% de la dieta, respectivamente) en contraste con dieta no complementada con nopal (0.48%).

Las menores digestibilidades proteicas encontradas en dietas complementadas con nopal podrían deberse al contenido de taninos del nopal, puesto que, la precipitación de las proteínas en el alimento en los complejos de proteína-taninos disminuye la digestibilidad (Mengistu, 2001). No obstante, los componentes nutricionales y fisicoquímicos del nopal están en función de las condiciones agroecológicas, así como, las prácticas agronómicas que presente el nopal, puesto que

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

se han mostrado resultados en donde no se encontró taninos condensados en el análisis físico químico de *O. ficus-indica* y *O. amyclae* (Abidi *et al.*, 2009).

Por otra parte, los componentes del nopal principalmente la fibra soluble, tienen un rol importante en el incremento del nitrógeno microbiano. Ben Salem *et al.* (2004) establecieron que, el uso de nopal en dietas de ovinos incrementa el nitrógeno microbiano (11.4 g kg^{-1}) en contraste a dietas a base de cebada-soja (3.5 g kg^{-1}); en presencia de cantidades adecuadas de proteína en la dieta, la cantidad de nitrógeno sintetizada por la flora ruminal aumenta con el nivel de energía suministrada (Chen *et al.*, 1992; Balcells *et al.*, 1993); por lo tanto, el tipo de energía que aporta el nopal (carbohidratos altamente solubles) favorece el incremento del nitrógeno microbiano.

A pesar de los beneficios favorables del nopal en la digestibilidad ruminal antes descritos, también hay evidencias (Nefzaoui y Ben Salem, 2001; Tegegne *et al.*, 2005) que indican que la sustitución total o en grandes niveles (>60%) de nopal en la dieta del ganado, propician alteraciones digestivas como lo es la presentación de diarreas y timpanismo. Ello debido a la fermentación rápida que desencadena el nopal producto de las pectinas que se encuentran en cantidades relativamente altas (Van Soest, 1991). Pero, Tegegne *et al.* (2007) no encontraron dichos trastornos al implementar nopal en 80% en dietas de ovinos. Ello fue asociado, a una ingesta de fibra suficiente para afectar la viscosidad y estabilidad de la espuma (Van Soest, 1991). Además, la rápida eliminación ruminal puede haber reducido la incidencia de timpanismo. Por lo tanto, ello demuestra que el nopal tiene efecto en los cambios microbianos del rumen y por lo tanto en la emisión de gases (Tegegne *et al.*, 2007; Chentli *et al.*, 2014).

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

5.2.5 Emisión de gas y cambios en la microbiota por efecto del consumo del Nopal (*O. ficus-indica*)

Existen evidencias de reducción de emisión de gases con la complementación de la dieta del ganado con nopal (Méndez *et al.*, 2011; Gebremeskel *et al.*, 2013). Tegegne *et al.* (2007) encontraron que alrededor del 85% del gas degradado después de 72 h de incubación *-in vitro-* (54 ml 200mg⁻¹ MS) fue producida en 24 h. Ante este dato, se intuye que el nopal mejora la tasa de degradación (valor c): 5.4% h⁻¹ para la dieta sin complemento de nopal vs 8.4% h⁻¹ para la dieta con 80% de nopal (Tabla 8).

TABLA 8. Efecto de la suplementación dietética con niveles graduales de nopal (*Opuntia ficus-indica*) sobre los parámetros de degradación *in vitro* (Modificado de Tegegne *et al.*, 2007).

	Tratamientos (% de nopal)				
	0	20	40	60	80
Parámetro de degradación <i>in vitro</i>					
<i>Un</i>	-3.9	-1.2	0.9	2.1	1.8
<i>B</i>	54.2	52.5	49.3	48.9	49.6
<i>C</i>	0.0536	0.0565	0.0648	0.07033	0.0836

C= Tasa de degradación % h⁻¹.

Abidi *et al.* (2009) reportan para *O. ficus-indica* en época de verano e invierno una producción de gas a 72 h de incubación de: 131.3 y 125.1 ml 0.5g⁻¹ respectivamente; superior a lo reportado por Tegegne *et al.* (2007) [54 ml 200mg⁻¹]. Así mismo, la degradación (valor c) de *O. ficus-indica* establecida por Abidi *et al.* (2009) fue inferior (3.9 y 4.0% invierno y verano, respectivamente) a la obtenida por Tegegne *et al.* (2007) en los diferentes niveles de inclusión de nopal (Tabla 8). A pesar de estas diferencias, estos investigadores coinciden en que, la mayor producción de gas se lleva a cabo durante las primeras 24 h de digestión (*in vitro*).

El gas producido es resultado de la fermentación de carbohidratos a acetato, propionato y butirato (Taasoli *et al.*, 2011). Por lo que, la mayor cantidad de carbohidratos solubles presentes en el nopal aceleran la fermentación, aspecto observado en la degradación *in vitro* entre las 6 y 12 h post

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

incubación, donde la degradación fue mayor (Nefzaoui y Ben Salem, 2001). Chentli *et al.* (2014)

encontró mayor ($P < 0.05$) producción de gas *in vitro* durante 24 h para heno de avena y, menor para nopal (*O. ficus-indica*) y acacia -*A. nilotica* y *A. saligna*- (Tabla 9).

TABLA 9. Efecto del sustrato sobre la producción de gas, emisión de metano (ml 200mg⁻¹, MS), energía metabolizable y materia orgánica digestible, después de 24 h de incubación (Chentli *et al.*, 2014)

	<i>O. ficus indica</i>	Heno de avena	<i>A. nilotica</i>	<i>A. cyanophylla</i>
GT, ml	25.50 ^b	29.00 ^a	15.00 ^c	13.00 ^d
CH ₄ , ml	5.00 ^b	8.00 ^a	3.50 ^c	3.00 ^d
EM, MJ Kg ⁻¹ MS	6.11 ^b	6.73 ^a	5.62 ^c	4.86 ^d
MOD, %	41.05 ^b	45.33 ^a	39.15 ^c	33.50 ^d

GT: gas total; EM: energía metabolizable; MOD: materia orgánica digestible.

a,b,c,d Literales diferentes indican diferencia estadística ($P < 0.05$).

La menor producción de gas en nopal vs heno de avena (Tabla 9) pudo deberse a su mayor contenido en materia orgánica; además, los oxalatos de calcio del nopal podrían haber limitado la actividad microbiana ruminal (Ben Salem *et al.*, 2002^b). Cieslak *et al.* (2012) y Szumacher y Cieslak, (2012) afirman que la producción propionato y metanogénesis son competitivos. Así mismo, Tavendale *et al.* (2005) establecen que, la relación inversa propionato-CH₄ molar dependen de las interacciones en la población microbiana del rumen; por lo tanto, los cambios de sustrato como lo es el nopal generan modificación en la flora ruminal y la producción de gas (Wang *et al.*, 2012; Chentli *et al.*, 2014), apreciándose los principales cambios poblacionales de flora ruminal en las poblaciones de *R. flavefaciens*, *F. succinogenes* y metanógenos (Tabla 10).

TABLA 10. Efecto del sustrato sobre la cuantificación relativa de diferentes grupos microbianos por PCR en tiempo real y conteo directo de protozoarios, después de 24 h contra 0 h (control) de incubación (Chentli *et al.*, 2014).

Especies	Control	<i>O. ficus indica</i>	Heno de avena	<i>A. nilotica</i>	<i>A. cyanophylla</i> a
Bacterias totales	1.0 ^a	0.03 ^e	0.03 ^d	0.10 ^b	0.06 ^c
Metanogénicos	1.0 ^d	0.90 ^e	1.34 ^c	6.48 ^a	1.73 ^b
Hongos anaerobios	1.0 ^c	0.03 ^e	1.24 ^b	0.30 ^d	2.0 ^a
<i>R. flavefaciens</i>	1.0 ^b	0.08 ^e	1.17 ^a	0.38 ^c	0.33 ^d

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

<i>F.succinogenes</i>	1.0 ^e	4.86 ^c	19.79 ^a	3.07 ^d	8.5 ^b
Recuento (*104 Cell ml ⁻¹)					
Protozoarios	1.9 ^e	5.59 ^b	12.12 ^a	5.34 ^c	3.68 ^d

a,b,c,d Literales diferentes indican diferencia estadística (P<0.05).

En el año de 1979, Bauchop estableció que dietas altas en fibra promueven mayor población de hongos que las dietas altas en PC; ello justifica la menor población de hongos con *O. ficus indica* y *A. nilótica* como sustrato después de 24 h de fermentación, debido a su alto contenido en carbohidratos fermentables. Respeto a la reducción de metanogénicos con nopal como sustrato, podría estar relacionado con el alto contenido de oxalatos de calcio del nopal. Belenguer *et al.* (2013) encontró variaciones *in vitro* en la microflora ruminal al implementar ácido oxálico en dietas de ovinos. El oxalato tiende a formar quelato fuerte con el calcio de la dieta en forma de cristales de oxalato de calcio (Contreras *et al.*, 2011), haciendo este anión menos disponible para los animales (Nefzaoui y Ben Salem, 2001).

5.2.6 Efecto del nopal (*O. ficus-indica*) sobre los perfiles metabólicos del ganado

Se ha reportado efecto del nopal en la modificación de ciertos indicadores bioquímicos en humanos (Van Bennekum *et al.*, 2005). No obstante, el estudio de la interacción nopal*metabolitos es relativamente reciente en animales. Brahim *et al.* (2012) reporta diferencias significativas (P<0.001) para glicemia, uremia, colesterol y triglicérido, implementando *Opuntia* en la dieta de ovinos (Tabla 11).

TABLA 11. Parámetros bioquímicos g L⁻¹ antes y después de la incorporación de *Opuntia* durante un periodo de 56 días (Modificado de Brahim *et al.*, 2012)

		Dieta				T
		SB	OS	SOF	O	
Glicemia	A	0.77±0.01 ^a	0.59±0.03 ^b	0.73±0.05 ^a	0.67±0.04 ^c	**
	D	0.52±0.04 ^a	0.48±0.05 ^a	0.40±0.09 ^a	0.60±0.05 ^b	*
Uremia	A	0.24±0.03 ^a	0.35±0.07 ^a	0.31±0.03 ^a	0.33±0.02 ^a	NS
	D	0.23±0.03 ^a	0.14±0.03 ^b	0.33±0.02 ^c	0.04±0.01 ^b	*
Colesterol	A	1.11±0.18 ^a	1.02±0.13 ^a	1.07±0.17 ^a	1.07±0.17 ^a	NS

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

	<i>D</i>	0.55±0.03 ^a	0.44±0.15 ^a	0.25±0.07 ^b	0.38±0.04 ^b	*
Triglicéridos	<i>A</i>	0.66±0.07 ^a	0.59±0.02 ^a	0.63±0.03 ^a	0.60±0.05 ^a	NS
	<i>D</i>	0.4±0.05 ^a	0.08±0.01 ^b	0.06±0.01 ^b	0.08±0.01 ^b	**
Albumina	<i>A</i>	32.38±2.24 ^a	29.31±2.54 ^a	29.07±5.1 ^a	30.0±2.48 ^a	NS
	<i>D</i>	29.4±2.06 ^a	30.5±3.16 ^a	28.2±5.34 ^a	22.37±1.72 ^a	NS

SB: rastrojo de cebada; OS: rastrojo de cebada + *Opuntia*; SOF: rastrojo de cebada + frijol + *Opuntia*; O: *Opuntia*; *A*: antes; *D*: después.

Referente al comportamiento de metabolitos de tipo lipídico (colesterol y triglicéridos), debido al efecto del consumo de nopal, se asocia a las pectinas del nopal que interfiere en la biosíntesis lipídica (Fernández *et al.*, 1992). Estudio en ratas (Kritchevsky *et al.*, 1988) mostraron que la pectina del nopal tiende a reducir el colesterol al unirse a los ácidos biliares, efecto que mejora el catabolismo de colesterol. Motivo por el cual, es probable que la pectina proveniente del nopal interfiere en la absorción de lípidos (Van Bennekum *et al.*, 2005); no obstante, son muchos metabolitos del nopal los que interaccionan para producir hipolipidemia: flavonoides, vitamina E y betalainas (Lee y Lim, 2000).

Halmi *et al.* (2013) Observaron una reducción ($P<0.05$) de la glucosa (21.18%) en conejos alimentados con *O. ficus-indica*; demostrando que el nopal juega un rol importante en la concentración de glucosa: i) estimula la secreción de insulina, ii) acción extra-pancreática o, iii) estimula la reabsorción de glucosa por diferentes tejidos. Ante ello, el nopal pudiera actuar de la misma manera que ciertos antidiabéticos orales; cerrando los canales de K^+/ATP , despolimerizando la membrana y acelerando la estimulación de Ca^{2+} [primera llave para estimular la secreción de insulina] (Pari y Latha, 2005).

Este efecto que tiene el nopal sobre la regulación de la glucosa posiblemente es el que propicia la reducción de glucosa sanguínea reportada en cerdas en fase de lactancia (Figura 7; Ortiz *et al.*, 2015 alpa). Fase en la cual dicho metabolito (glucosa) se encuentra elevado (>70 mg/Dl) debido a procesos fisiológicos por los que transita la cerda inmediatamente después del parto, los cuales

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

propician hipofagia fisiológica lactacional, y a su vez, pérdida de peso corporal de las cerdas al destete (Ortiz *et al.*, 2014 monterrey). Por lo tanto, el nopal podría fungir como una estrategia alimenticia no convencional en cerdas lactantes con la finalidad de incrementar el consumo de alimento voluntario y mejorar los indicadores asociados a ello como fue descrito en los párrafos anteriores.

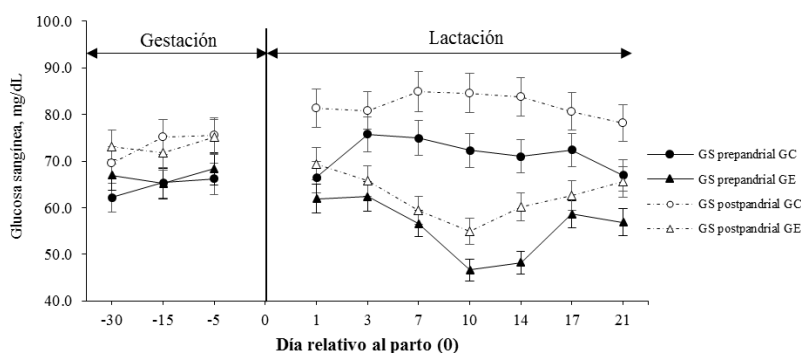


FIGURA 7. Medias de mínimos cuadrados para la glucosa sanguínea (GS) pre y post prandial en cerdas lactantes GC=cerdas alimentadas convencionalmente; GE=cerdas que consumieron nopal. Fuente: Ortiz *et al.*, 2014.

Además del efecto hipoglucémico, Galati *et al.* (2002) establecieron que, el nopal posee propiedades diuréticas; el consumo de cladodios, frutas y extracto de flor de *O. ficus-indica* aumento de la diuresis en ratas. Efectos similares se han reportado en *O. megacanth* (Bwititi *et al.*, 2001). Las propiedades diuréticas de nopal pueden atribuirse en parte al alto contenido de K, mismo que caracteriza a fármacos y plantas con actividades diuréticas; que ejerce efecto sobre el epitelio renal (Galati *et al.*, 2002). Así como, a las altas concentraciones de agua que posee el nopal (Tikabo *et al.*, 2006). Concentraciones que ejercen efecto positivo en la reducción del consumo de agua del ganado alimentado con nopal. Respecto a las concentraciones urinarias, Vieira *et al.* (2008) reportan disminución lineal ($P < 0.05$) de creatinina, urea y K con forme se incrementa el nopal en la dieta (Tabla 12).

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

TABLA 12. Efectos del nivel de nopal sobre el comportamiento de los metabolitos y excreción de orina (Modificado de Vieira *et al.* 2008)

	Niveles de nopal en la dieta, g kg ⁻¹ MS					L x P nopal/dieta
	370	470	570	670	770	
Metabolitos en orina						
Urea, mg dL ⁻¹	374.3	409.0	259.0	322.7	162.0	<0.01
Ácido úrico, mg dL ⁻¹	2.7	3.5	2.2	1.9	1.9	0.09
Creatinina, mg dL ⁻¹	16.2	19.8	13.2	14.8	10.9	<0.05
Na, mg dL ⁻¹	45.2	24.9	24.5	20.7	30.5	NS
K mg dL ⁻¹	494.9	578.9	394.7	399.8	285.7	<0.05
Excreción urinaria						
Urea g d ⁻¹	11.8	11.2	11.0	11.7	7.2	<0.05
Ácido úrico mg d ⁻¹	78.8	91.9	85.8	77.9	79.3	NS
Creatinina mg d ⁻¹	474.2	533.1	513.7	480.0	455.5	NS
Na g d ⁻¹	1.37	1.27	1.13	1.14	1.27	NS
K g d ⁻¹	14.54	14.71	13.68	12.29	11.51	<0.05
Volumen de orina (ml/día)	3097	3011	4397	4706	4658	< 0.01

L x P Probabilidad lineal.

5.2.7 Efecto de la implementación del nopal (*O. ficus-indica*) sobre el consumo de agua del ganado

Debido a los elevados aportes de agua que contiene el nopal (880 g kg⁻¹) ello puede satisfacer parcialmente los requerimientos de agua del ganado (Tikabo *et al.*, 2006; Costa *et al.*, 2012^b). Tegegne *et al.* (2007) reporta que el nopal (*O. ficus-indica*) suplementado en ovinos, redujo drásticamente (P<0.001) el consumo de agua en zonas áridas y semiáridas. De la misma manera, Mengistu (2001) y Abidi *et al.* (2009) observaron reducción del consumo de agua del ganado cuando se suministró nopal a libre acceso (Tabla 13).

TABLA 13. Efecto de la dieta (cebada vs nopal) sobre el consumo de agua en ovinos y caprinos (Modificado de Abidi *et al.*, 2009)

Ovinos	Caprinos	P-Valor
Dieta		

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

	Nopal	Cebada	Nopal	Cebada	Dieta	Especie	Diet* Espe
Ingesta de agua, g d ⁻¹							
De alimento	2173	107	2484	183	<0.001	0.170	0.114
De bebida	2478	3885	1379	3203	0.002	0.059	0.639
Total	4651	3992	3862	3286	0.214	0.137	0.931

De igual manera, Ben Salem *et al.* (2005^a) observaron reducción ($P<0.001$) en el consumo de agua en ovinos en pastoreo con *Atiplex* en complemento con nopal y cebada, siendo el consumo de: 2.44 L d⁻¹ para la dieta sin complemento; 2.75 L d⁻¹ dieta complementada con cebada y 0.46 L d⁻¹ dieta complementada con nopal. Así mismo, Tikabo *et al.* (2006) reportan efecto lineal ($P<0.05$) en la reducción de agua en ovinos, con forme se incrementa el consumo de nopal en la dieta; reducción que fue de 0.0024 L g⁻¹ de nopal (MS) consumido: $Y=0.9719 - 0.0024x$; $R^2=0.8692$.

Respecto al contenido de agua que presenta el nopal López (2011) establece que los ovinos pueden subsistir entre 400 y 525 días en época de sequía prolongada consumiendo únicamente nopal. De igual manera De kock (1980) indica que ovinos en confinamiento podrían sobrevivir sin acceso a agua por más de 500 días con cantidad suficiente de nopal diario en base fresca. Sin embargo, Waal *et al.* (2006) reportan que el nopal deshidratado en la dieta de ovinos tiene un efecto lineal en el incremento del consumo de agua (2235.5; 2695.3; 2949 y 3189.3 ml d⁻¹ para 0, 12, 24 y 36% de nopal), datos que concuerdan con Menezes *et al.* (2010) quienes no encontraron reducción en el consumo de agua en ovinos de genotipo Dorper alimentados con nopal en combinación deshidratado con fresco, efecto de la eliminación de cierto porcentaje de mucilago y su efecto osmo-regulador.

De acuerdo con el consumo de agua en cerdos a los que se les adiciono nopal en base fresca a la dieta (1% de acuerdo con su peso corporal), se ha reportado (Pérez *et al.*, 2016) reducción en el consumo de agua ($P<0.05$) en cerdos en fases de 20 a 50 kg (6.3 ± 1.3 vs 6.9 ± 1.4 L d⁻¹) y 50 a 100 kg: 5.5 ± 1.5 vs 7.8 ± 1.7 L d⁻¹ en cerdos que consumieron nopal y cerdos alimentados

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

convencionalmente, respectivamente ($P < 0.05$). Por lo tanto, es evidente que el nopal tiene una clara ventaja en la alimentación animal durante la estación seca, cuando hay escasez de alimento y agua, que suele aparecer en zonas semiáridas y áridas (Tikabo *et al.*, 2006). Ello sin considerar los beneficios económicos que trae consigo la implementación del nopal en la dieta del ganado (Blanco *et al.*, 2010).

5.2.8 Costos de producción en los sistemas de producción animal con dietas adicionadas con nopal (*O. ficus-indica*)

Aunque el contenido de proteína del nopal no es alto (2.78 a 8.98%), el nopal constituye una fuente de alimento con un costo relativamente bajo (Blanco *et al.*, 2010). La implementación del nopal para la reducción de los costos de producción se ha venido observando en las diversas especies en las cuales se ha utilizado este recurso; en la producción de carne de ganado ovino se ha visto una reducción de un 48 a 65%, cuando se incluye en proporciones entre 15 y 30% (MS) de la dieta (Aranda *et al.*, 2008).

Ello radica en parte a la biomasa de nopal producida (62 y 226 $t\ ha^{-1}$ en base fresca), en contraste con otros cultivos (13.9 a 21 $t\ ha^{-1}$ en base seca) como la alfalfa y el silo de maíz (Flores *et al.*, 2004; Alpura, 2005; Pinos *et al.*, 2010); no obstante, esta variación es afectada por las condiciones agroecológicas donde se encuentra el cultivo, así como, a las prácticas agronómicas implementadas. Aunado a ello, el rendimiento y nutrientes digestibles por hectárea de nopal en contraste con otros forrajes (silo de maíz) es mayor [80 vs 25 $t\ ha^{-1}$ de rendimiento y 5.0 vs 4.2 $t\ ha^{-1}$ de nutrientes digestibles] (Nefzaoui and Ben Salem, 2001).

En cuanto a las implicaciones prácticas, el reemplazo total de la cebada por nopal mantuvo la misma tasa de crecimiento de los corderos y también la proporción de ovejas que reinició la actividad ovárica pos-parto. El peso similar de corderos con el respaldo de datos en calostro y leche

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

rendimientos que no fueron afectadas por el régimen de alimentación, lo cual es consistente con la energía y proteína bruta ingestas similares por las ovejas (Rekik *et al.*, 2010). En lo que respecta a los costos de alimentación en cerdos que recibieron nopal en la dieta, se reporta (Pérez *et al.*, 2016) reducción en 13%, ello debido a menor consumo de alimento para alcanzar el peso a sacrificio (100 ± 10 kg): 287.3 vs 330.1 kg en cerdo que no consumieron nopal; lo cual genero costo de alimentación cerdo⁻¹ de \$ 1,002.10 y \$ 1,152.50 para cerdos que recibieron nopal y cerdos alimentados convencionalmente, respectivamente.

6. Conclusiones

- El nopal forrajero se presenta como una alternativa de alimentación no convencional desde hace muchos años en las zonas semiáridas y áridas, pero, en la actualidad existen un mayor número de evidencias que hacen de esta cactácea un insumo viable dentro de la alimentación del ganado bajo condiciones de trópico seco o subhúmedo.
- La explotación ganadera de la regiones semiáridas y áridas es fuertemente afectada por las constantes sequias e irregularidades de las lluvias causando así una baja disponibilidad de forraje, provocando que los ganaderos utilicen alimentos de alto costo; aspecto que incrementan sus costos de producción. Sin embargo, el nopal se presenta como una alternativa para estas regiones lo cual es un excelente fuente de forraje de bajo costo, que al combinarse con insumos tradicionales del trópico seco permite una mejor fermentación ruminal, lo que genera una mayor cantidad de nitrógeno bacteriano (proteína) utilizado para el mantenimiento y producción de los bovinos productores de carne.
- La ganadería es afectada principalmente por la época secas y, esta, es cada vez más prolongada, lo que se traduce en escases de forrajes y agua. En este sentido, el nopal ofrece una alternativa puesto que, esta cactácea puede satisfacer parcialmente los

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

requerimientos de agua del ganado; la adición de nopal a la dieta del ganado tiende a reducir drásticamente el consumo de agua en zonas áridas y semiáridas. De la misma manera, se reduce el consumo de agua del ganado cuando se suministró nopal a libre acceso. (68 al 93% de agua respecto al peso del cladodio) evita que el ganado se deshidrate y sea menos vulnerable a enfermedades.

- Los productores de ganado de las regiones del trópico seco y subhúmedo de Michoacán pueden utilizar el nopal como una alternativa nutricional para su ganado al ser adicionado con otros alimentos (ensilado) que aporten nutrientes como proteínas, vitaminas y minerales para eficientar la producción de los sistemas de producción de bovinos carne.

7. Consideraciones generales

Para la explicación de fenómenos, bajo condiciones de campo, como es el uso del nopal como alternativa alimenticia no convencional en el ganado, la teoría general de sistemas determina que los sistemas suelen ser muy complejos; pero, para fines de explicación se debe aumentar su complejidad al momento de descomponerlo, para que en su reestructuración sea mayor la comprensión del fenómeno. Ante este reto se pudo establecer que los componentes del nopal mejoran la productividad de los sistemas de producción animal, reducen costos de producción e inciden de manera favorable al cambio climático. Así, la modificación del proceso digestivo que ejerce el nopal modula procesos tales como: productividad del ganado, producción y composición de sub-productos (carne y leche), digestibilidad, cambio de la flora microbiana, emisión de gas, regulación de perfiles metabólicos, consumo de agua y costos de producción. De lo anteriormente expuesto y bajo la clásica teoría general de sistemas, se puede deducir que el aporte del nopal genera cambios favorables en los sistemas de producción animal; partiendo de la premisa de la 3^{ra} ley de la teoría general de sistemas: *Cualquier cambio en uno de los componentes del sistema, por*

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

insignificante que sea, modifica la totalidad del sistema. Ello alude que, a pesar del carente aporte nutricional del nopal, la formación de metabolitos intermediarios durante el proceso digestivo, potencializa el aprovechamiento de las dietas convencionales. Este efecto se puede visualizar una vez culminada la ruta que sigue el nopal, desde la forma en que se cultiva, pasando a ser parte de la alimentación animal, hasta los desechos que genera, 4^{ta} ley de la teoría general de sistemas: *Toda alteración por pequeña que sea ésta, se propaga a todo el sistema de forma ondulatoria, aumentando el tamaño de onda conforme se propaga.* Siendo para este caso un aumento ondulatorio positivo, ya que, debido a la truncada aceptación del uso del nopal en la alimentación animal, al finalizar genera efectos favorables.

8. Bibliografía

- Abidi S, Ben Salem, H Martín, GAI Molina, AM. 2009. Ruminal fermentation of spiny (*Opuntia amyclae*) and spineless (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*) cactus cladodes and diets including cactus. *Animal Feed Science and Technology* 149:333–340.
- Absalón-Medina, V. A., R. W. Blake, D. G. Fox, F. I. Juárez Lagunés, C. F. Nicholson, E. G. Canudas-Lara, and B. L. Rueda-Maldonado. 2012a. Economic analysis of alternative nutritional management of dual-purpose cow herds in central coastal Veracruz, Mexico. *Trop. Anim. Health Prod.* 44: 1143-1150
- Aguirre A. Con la digitalización fiscal la devolución de impuestos es más rápida para el ganadero. *Revista Ganadero* 2015; 2:44-50.
- Alpura, 2005. Summer evaluation of corn hybrids for ensiling. Department of Technical Service. Grupo Alpura, México.
- Amare D, Solomon M, Gebreyohannes B. 2009. Supplementation of isonitrogenous oil seed cakes in cactus (*Opuntia ficus-indica*)–tef straw (*Eragrostis tef*) based feeding of Tigray Highland sheep. *Animal Feed Science and Technology*. 148:214–226.
- Anaya PMA, Bautista ZR. 2008. El nopal forrajero en México: siglo XVI al siglo XX. *Agricultura, sociedad y desarrollo*. Julio-diciembre 5(2): 167-183.
- Andrade FMH, Alegría RRM, Pacheco LH, Aguilar BFLO, Villegas DR, Basurto GH, Jiménez SHR, Vera A. 2008 Composition, digestibility and degradability of dry roasted mesquite pods as a

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar "El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

feed supplement in goats. 9th International Conference on Goats, Querétaro, Mexico. p. 354.

Andrade HM, Cordova AV, García T, Kawas, JR. 2011. Alternative foods for small ruminants in semiarid zones, the case of Mesquite (*Prosopis laevigata* spp.) and Nopal (*Opuntia* spp.). Small Ruminant Research. 98:83-92.

Aranda OG, Flores VCA, Cruz MMF. 2008. Inclusion of cactus pear cladodes in diets for finishing lambs in México. Journal of the Professional Association for Cactus Development. 10:49-55.

Araújo PRB, Ferreira MdeA, Brasil LHdeA, Santos DC, Lima RMB, Vêras ASC, Santos MVF, Bispo SV, Azevedo M. 2004. Substituição do milho por palma forrageira em dietas completas para vacas em lactação. Revista Brasileira de Zootecnia. 33:1850-1857.

Ayadi MA, Abdelmaksoud W, Ennouri M, Attia H. 2009. Cladodes from *Opuntia ficus indica* as a source of dietary fiber: effect of dough characteristics and cake making. Ind. Crops Prod., doi: 10.1016/j.indcrop. 01.003.

Balcells J, Fondevila M, Guada JA, Castrillo C, Surra JCE. 1993. Urinary excretions of purine derivatives and nitrogen in sheep given straw supplemented with different sources of carbohydrates. Anim. Prod. 57:287-292.

Bauchop T. 1979. Rumen anaerobic fungi of cattle and sheep. Appl. Environ. Microbiol. 38:148-158.

Bavera, G. 2006. Suplementación mineral y con nitrógeno no proteico. Editorial Hemisferio Sur. ISBN 987-05- 1157-0. 280 pp

Belenguer A, Ben Bati M, Hervás G, Toral PG, Yáñez RDR, Frutos, P. 2013. Impact of oxalic acid on rumen function and bacterial community in sheep. Animal. 7(6): 940-947.

Ben Salem H, Nefzaoui A, Abdouli H, Orskov ER. 1996. El efecto de aumentar el nivel de nopal (*Opuntia ficus-indica* var-*intermis*) sobre el consumo y la digestión por las ovejas dado paja basada dieta. Registro 203 de 217-CAB Abstracts 1 / 96-10 / 96.

Ben Salem H, Nefzaoui A, Ben Salem L. 2002^a. Supplementation of *Acacia cyanophylla* Lindl. foliage-based diets with barley or shrubs from arid areas (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis* and *Atriplex nummularia* L.) on growth and digestibility in lambs. Small Ruminant Research 96:15-30.

Ben Salem H, Nefzaoui A, Ben Salem L. 2002^b. Supplementing spineless cactus (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*) based diets with urea-treated straw or oldman saltbush (*Atriplex nummularia*). Effects on intake, digestion and sheep growth. J. Agric. Sci. Cambr., 138:85-92.

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar "El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

Ben Salem, H., Nefzaoui, A., Ben Salem, L. 2004. Spineless cactus (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*) and oldman saltbush (*Atriplex nummularia* L.) as alternative supplements for growing Barbarine lambs given straw-based diets. *Small Ruminant Research* 51:65–73.

Ben Salema H, Abdouli H, Nefzaoui A, El-Mastouri A, Ben Salem L. 2005. Nutritive value, behaviour, and growth of Barbarine lambs fed on oldman saltbush (*Atriplex nummularia* L.) and supplemented or not with barley grains or spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis*) pads. *Small Ruminant Research* 59:229–237.

Ben Salema H, Normanb HC, Nefzaoui A, Mayberry DE, Pearce KL, Revell DK. 2010. Potential use of oldman saltbush (*Atriplex nummularia* Lindl.) in sheep and goat feeding. *Small Ruminant Research* 91:13–28.

Bertalanffy LV. 1976. Fundamentos, Desarrollo, y Aplicaciones; Teoría General de los Sistemas. Ed. Fondo de Cultura Económica. México D.F. 13-64 pp.

Bessa RJB, Santos SJ, Ribeiro JMR, Portugal AV. 2000. Reticulo-rumen biohydrogenation and the enrichment of ruminant edible products with linoleic acid conjugated isomers. *Livest. Prod. Sci.*, 63:201-211.

Blanco MF, Valdez CRD, Reveles HM, Flores OMA. 2010. El manejo del nopal forrajero en la producción del ganado bovino. *Rev. Salud Pública y Nutrición*. Ed 5.

Bobadilla SEE, Rebollar ROS, Rouco YA, Martínez CFE. 2013. Determinación de costos de producción en granjas productoras de lechón. *Rev. Méx. Agron.* XVII(32). p. 268-279.

Bodas R, Prieto N, García GR, Andrés S, Giráldez FJ, López S. 2012. Manipulation of rumen fermentation and methane production with plant secondary metabolites. *Anim. Feed Sci. Technol.* 176:78-93.

Brahim KL, Abdelkader D, Miloud H, Kheira G. 2012. Effect of Incorporation of the Spineless *Opuntia ficus Indica* in Diets on Biochemical Parameters and its Impact on the Average Weight of Ewes During the Maintenance. *Global Veterinaria* 8 (4):352-359.

Burt S. 2004. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods-a review. *Int. J. Food Microbiol.* 94:223–253.

Bwititi PT, Machakaire T, Nhachi CB, Musabayne CT. 2001. Effects of *Opuntia megacantha* leaves extract on renal electrolyte and fluid handling streptozotocin (STZ)-diabetic rats. *Ren. Fail.* 23:148–158.

Callejas-Juárez, N., Aranda-Gutiérrez, N., Rebollar-Rebollar, S., De la Fuente-Martínez, M. (2014). Situación económica de la producción de bovinos de carne en el estado de Chihuahua, México. *Agronomía Mesoamericana*, 25(2), 133-140. DOI: 10.15517/am.v25i1.14213

Cavalcante FSC, Carvalho SL. 2006 Palma frorrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) como alternativa na alimentacao de ruminantes. *RedVet*. Vol VII(10):1-13.

- Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar "El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.
- Cervantes RC. 2005. Plantas de importancia económica en zonas áridas y semiáridas de México. Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina -20 a 26 de março de 2005- Universidade de São Paulo.
- Cervantes, E. F y Cesin, V. A La lechería natural y urbana en Mexico análisis comparado entre los altos de Jalisco y Xalmimilulco, Puebla. Alvares, M. A; Cervantes, E, F. y Espinoza, O. A. Agroindustrias rural y territorio. Tomo11. México, CIGOME, S. A. de C. V. 2007,p.81-97
- Cervantes, P., Hernández, A., y Domínguez, B. 2009. Características de la leche, viabilidad de los genotipos del trópico mexicano. Veracruz Pecuario. La Revista del Productor. No. 03.Mata, B.
- Cervantes, P., Hernández, A., y Domínguez, B. 2009. Características de la leche, viabilidad de los genotipos del trópico mexicano. Veracruz Pecuario. La Revista del Productor. No. 03.V-LUZ, XXI (1):57–63.
- Chen XB, Abdurrazak SA, Shand WJ, Ørskov ER. 1992. The effect of supplementing straw with barley or unmolassed sugar-beet pulp on microbial protein supply in sheep estimated from urinary purine derivative excretion. Anim. Prod. 55:413–417.
- Chentli A, Gillmann L, Bouazza L, Medjkal S, Limami AM, Le Pave MChM, Bousseboua H. 2014. Effects of secondary compounds from cactus and acacias trees on rumen microbial profile changes performed by Real- Time PCR. International Journal of Advanced Research Volume II(2):660-671.
- Chilliard Y, Ferlay A, Rouel J. 2003. A review of nutritional and physiological factors affecting goat milk lipid synthesis and lipolysis. J. Dairy Sci., 86:1751-1770.
- Cieslak A, Zmora P, Pers-Kamczyc E, Szumacher SM. 2012. Effects of tannins source (*Vaccinium vitis idaea* L.) on rumen microbial fermentation in vivo. Anim. Feed Sci. Technol. 176:102–106.
- Contreras PM, Pérez TE, Hernández UMI, Hernández QG, Del Real A, Rivera MEM, Rodríguez GME. 2011. Evaluation of oxalates and calcium in nopal pads (*Opuntia ficus-indica* var. redonda) at different maturity stages. J Food Compos Anal. 24: 38-43.
- Costa RG, Hernández TI, Rodriguez MG, Nunes MA, Gonzaga NS, Acevedo SP, Ferreira PT. 2013. Feeding behavior and performance of sheep fed cactus pear in substitution of corn. R. Bras. Zootec. 42(11):785-791.
- Costa RG, Mesquita E, Filhoa B, Nunes MA, Naves GPE, De Cássia RR, Queirogac DoE, Aparecido AS. 2009. Effects of increasing levels of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) in the diet of dairy goats and its contribution as a source of water. Small Ruminant Research 82:62–65.

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar "El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

Costa RG, Treviño IH, Medeiros GR, Medeiros AN, Pinto TF, Oliveira RL. 2012^a. Effects of replacing corn with cactus pear (*Opuntia ficus indica* Mill) on the performance of Santa Inês lambs. Small Ruminant Research. 102:13–17.

Costa RG1, Hernández TIA, Medeiros GR, Medeiros AN, Azevedo PS, Pinto TF, Delgado JV. 2012^b. Consumo de agua de ovinos alimentados con diferentes niveles de nopal (*Opuntia ficus indica*) en Brasil. Arch. Zootec. 61(234): 301-304.

Cushman JC, Borland AM. 2002. Induction of crassulacean acid metabolism by water limitation. Plant Cell and Environment 25, 295-310.

De Klerk JC. 1960. Spineless Cactus a Succulent Supplementary Feed. Farming in South Africa. South Africa. pp. 36-37.

De Kock GC. 1980. Resistentes cultivos de arbustos forrajeros sequía en África del Sur. HN Le Houérou (Ed.). El estado actual del conocimiento, ILCA, Etiopía. pp. 109-114.

FAO (2016). Estrategias innovadoras de gestión de riesgos en mercados financieros rurales y agropecuarios: experiencias en América Latina. Roma, Italia: FAO.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2011. World Livestock 2011 – Livestock in food security. FAO, Roma.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2013. Hacer frente al cambio climático a través de la ganadería. FAO, Roma.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2006. La larga sombra del ganado: problemas ambientales y opciones, por H. Steinfeld, P. J. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales, & C. de Haan. FAO, Roma.

Fernández ML, Lin EC, Trejo A, McNamara DJ. 1992. Prickly pear (*Opuntia* sp.) pectin reverses low density lipoprotein receptor suppression induced by hypercholesterolemic diet in guinea pigs. J. Nutrition, 122:2330-2340

. FAO. (2014a). Hacia una agricultura familiar más fuerte. En: Plataforma de conocimientos sobre agricultura familiar [En línea] <http://www.fao.org/3/a-i4171s.pdf>

Flores HA, Orona CI, Murillo AB, García HJL, Troyo DE. 2004. Yield and physiological traits of prickly pear cactus 'nopal' (*Opuntia* spp.) cultivars under drip irrigation. Agric. Water Manag. 70:97-107.

Fotius AChA, Ferreira MA, Bispo SV, Vêras ASCh, Salla LE, Chagas JC. 2014^a. Behavior of sheep fed different sequences of ingredients in a spineless cactus (*Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck) based-diet Rev. Bras. Saúde Prod. Anim., Salvador, 15(1):74-82.

Fotius AChA, Ferreira MA, Vêras ASCh, Salla LE, Souza ARDL, Bispo SV. 2014^b. Estratégia de nutrientes para ovinas em distintas sequências de fornecimento alimentar em dieta a base

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar "El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

de palma forrageira Feeding strategy for sheep in different sequences in supplying ingredients based diet of spineless cactus. Rev. Bras. Saúde Prod. Anim. 15(2):504-516.

Galati EM, Tripodo MM, Trovato A, Miceli N, Monforte MT. 2002. Biological effect of *Opuntia ficus-indica* L. Mill. Cactaceae waste matter. Journal of Ethnopharmacology. 79:17-21.

García GRA, Román BRM, Val AD, Pérez SRE, Ortiz RR. 2013. Caracterización y modelación de la curva de lactancia de vacas holstein complementadas con nopal (*Opuntia ficus-indica*) durante la época seca. Revista Científica, XXIII(5):426-433.

Gebremeskel G, Getachew A, Tegegne F. 2013. Assessment of the potential of cactus pear (*Opuntia ficus indica*) as livestock feed in Northern Ethiopia. Livestock Research for Rural Development 25(2).

Griffith P. 2004. The origins of an important cactus crop, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae): new molecular evidence. Am. J. Bot. 91:1915-1921.

Guevara JC, Silvia JH, Estevez OR. 2004. Nutrient content of *Opuntia* forage clones in the Mendoza Plain, Argentina. Journal of the Professional Association for Cactus Development. 6:62-77.

Gutiérrez OE, Elías A, Bernal H. 2008. USOS ALTERNATIVOS DEL NOPAL FORRAJERO. VI Simposium taller producción y aprovechamiento del nopal en el noreste de México. 7 y 8 diciembre, Maríny, N.L. México.

Gutiérrez OE, Elías A, Bernal H. 2008. Usos alternativos del nopal forrajero. VI Simposium taller producción y aprovechamiento del nopal en el noreste de México. 7 y 8 diciembre, Maríny, N.L. México.

Guzmán L, Chávez J. 2007. Estudio bromatológico del cladodio de Nopal (*Opuntia ficus indica*) para el consumo humano. Rev. Soc. Quím. Perú 73 (1), 41-45.

Halmi BS, Benlaksira B, Bechtarzi K, Berouel K, Serakta M, Richi F, Djaalab H, Maameri Z, Djerrou Z, Hamdipacha Y. 2013. Pharmacotoxicological study of *Opuntia ficus indica* L. aqueous extract in experimental animal. Int. J. Med. Arom. Plants. 3(3):375-381.

Harris FS, Martin CE. 1991. Correlation between CAM-Cycling and photosynthetic gas exchange in five species of *Talinum* (Portulacaceae). Plant Physiology 9, 1118- 1124.

Kaimowitz, D. 2001. Will livestock intensification help save Latin America's Tropical Forest? In: Angeles; Kaimowitz, D. eds. Agricultural Technologies and Tropical Deforestation. Wallingford, UK, CABI. P 1-20

KLASSEN, Norman. 2010. Para animales en pastoreo Suplementacion con minerales

Kritchevsky SA, Satchithanandasm T, Cassidy M, Vahouny GV. 1988. Dietary fiber supplements: effects on serum and liver lipids and on liver phospholipid composition in rats, Lipids, 23:318-321.

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar "El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

Landini, F. 2016. Problemas de la extensión rural en América Latina. Perfiles Latinoamericanos, 24(47):47-68.

Lee JC, Lim KT. 2000. Effects of cactus and ginger extracts as dietary antioxidants on reactive oxidant and plasma lipid level. Food Sciences. Biotechnology. 9:83-88.

López GJJ, Fuentes RJM, Rodríguez GA. 2007. Producción y uso de opuntia como forraje en el centro-norte de México. Departamento de agricultura. Depósito de documentos de la FAO. pp. 36-45.

López GJJ. 2011. Uso y manejo del nopal forrajero en el noreste de México. Rev. Salud pública y nutrición. No 5, pp 121-134.

Macedo, B. R. J. 2000. Análisis del sistema de alimentación pecuario rastrojo de maíz alimenticio pecuario (*Zea mays* L.) – pasto estrella (*Cynodon plectostachyus* P.) en la zona norte del estado de Colima. Tesis Doctoral. Universidad de Colima. Colima México. 126 p.

Mahouachi M, Atti N, Hajji H. 2012. Use of spineless cactus (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*) for dairy goats and growing kids: Impacts on milk production, kid's growth, and meat quality. The scientificWorld Journal. Vol 2012. pp 1-4.

Mannetje, L. T. (2001a). Introducción a la Conferencia sobre el Uso del Ensilaje en el Trópico. En L. Mannetje (Ed.), Uso del ensilaje en el trópico privilegiando opciones para pequeños campesinos (pp. 1-4). Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

Martínez CFE, Herrera HJG, García AAD, Pérez PJ. 2003 indicadores productivos y de sustentabilidad económica de granjas porcinas urbanas en el norte de México D.F. (resultados preliminares). Arch. Zoot. 52(197): 101-104.

Martínez LJR, Eustacio VA, Gutiérrez EO, Peña RMA, López RC, Olivares SE, Vidales CJA, Valdez CRD. 2009. Mycorrhiza effect on nutritional quality and biomass production of Agave (*Agave americana* L.) and cactus pear (*Opuntia lindheimeri* Engelm.). Journal of the Professional Association for Cactus Development. 11:69-77.

Méndez LIF, Gonzalo RRL, López CMA, Rodriguez FH, Arechig, FCF, Bonilla SB, Nuñez GMA, Aguilera SJI. 2011. Performance and nutrient digestion of lambs fed incremental levels of wild cactus (*Opuntia leucotrichia*), Journal of Applied Animal Research. 39(3): 248-251.

Menezes CMD, Schwalbach LMJ, Combrinck WJ, Fair MD. 2010. Effect of sun-dried *Opuntia ficus-indica* on feed and water intake and excretion of urine and faeces by Dorper sheep. South African Journal of Animal Science. Available at: <http://www.sasas.za/sajas.asp>.

Mengistu W. 2001. Prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica*) as feed to ruminants. MSc Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.

- Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar "El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.
- Minson, D. J. 1990. Forage in Ruminant Nutrition. Academic Press, Inc. San Diego, CA
- Misra AK, Mishra AS, Tripathi MK, Chaturvedi OH, Vaithyanathan S, Prasad R, Jakhmola RC. 2006. Intake, digestion, and microbial protein synthesis in sheep on hay supplemented with prickly pear cactus [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] with or without groundnut meal. Small Ruminant Research. 63:125–134.
- Moreira PC, Mendonça AC, Martins AF, Wascheck RC, Souza PR, Dutra AR, Grandsire C, Rezende PLP, Cardoso JR, Benetti EJ, Silva MSB. 2009. Avaliação do pH do fluido ruminal de vacas leiteiras. Estudos, 36(11/12):1201-1218.
- Muciño CG, Miranda RLA, González MS, Bárcena GR, Crosby GM.M. 2014. Efecto de la inclusión de harina de nopal en dietas en la fermentación *in vitro* y la engorda de corderos. *XLI Reunión de la Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria A.C. (AMPA) y VII Reunión Nacional de Sistemas Agro y Silvopastoriles. Mérida, Yucatán, México del 2-4 de Julio.* pp 340-345
- Mulas, M, Mulas G. 2004. The strategic use of *Atriplex* to combat desertification. Short and medium-term priority. Environmental action programme (SMAP). Deseertification research group. University of Sassari. Italy. pp 101.
- Nava NJ, Trueta R, Finck B, Barranco B, Osorio E, Lecumberri J. 2009. Impactos del nivel tecnológico en la eficiencia productiva y variables económicas, en granjas porcinas de Guanajuato, Sonora y Yucatán. *Téc. Pec. Méx.* 47: 157-172.
- Nefzaoui A, Ben Salem H. 1998. Spineless cacti: a strategic fodder for West Asia and North Africa arid zones. 58-76, in: Proc. Int. Symp. Cactus Pear and Nopalitos Processing and Use. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales/FAO, Santiago, Chile.
- Nefzaoui A, Ben Salem H. 2001. *Opuntia* spp. A strategic fooder and efficient tool to compact desertification in tWANA region C. Mondragón-Jacobo, S. Pérez-González (Eds.), Cactus (*Opuntia* spp) as Forage, Plant Production and Protection Paper, vol. 169, FAO, Rome, Italy.
- Nefzaoui A, Ben Salem H. 2002 La suplementación de *Acacia cyanophylla* Lindl. dietas basadas follaje con cebada o arbustos de zonas áridas (*Opuntia ficus-indica* var *intermis* y *Atriplex nummularia* L.) en el crecimiento y la digestibilidad en los corderos. *J. Anim. Alimentación. Sci. Tecnología.*, 96:15-30.
- Neiva MGS, Da Mota DL, Batista VAM, Sousa RCF. 2006. Mucous membrane of the rumen of ovines, fed with spineless, forage cactus or palm (Barbary fig) (*Opuntia ficus indica* Mil): Histochemical study by means of light microscopy. *Int. J. Morphol.* 24(4):723-728.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), (2009). El estado mundial de la Agricultura y la Alimentación; la ganadería a examen. Disponible en

- Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar "El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.
[<http://www.fao.org/docrep/012/i0680s/i0680s.pdf>]. Accedido en [04/03/2011]. ISSN 0251 - 1371. Roma, Italia. Pag.138.
- Ortiz RR, Ortega GR. 2001. Importancia del factor humano en la productividad de los sistemas. En: Acontecer Porcino. Agosto-septiembre 2001. IX (50):86-98.
- Ortiz RR, Sánchez VM, Gómez, B.; Pérez, R.E. 2004. Factores del personal que contribuyen a la variabilidad productiva en los sistemas intensivos de producción porcina. Rev. Comp. Prod.
- Ortiz, R.R., Ortega, R., Becerril, J. 2008. Efectos ambientales en cerdas sometidas a lactancias de 12 y 21 días en México. Características de la productividad. Rev Comp Prod Porc 15(3): 342-344. Porc. 11(3): 342-344.
- Ortiz RR, Valdez AJJ, García SPA, Pérez SRE. 2012. Evaluación de la producción de leche en vacas con una dieta complementada con nopal (*Opuntia ficus-indica*) en época de estiaje. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. 21(2): 79-82.
- Ortiz R.R., Valdez A.J.J., Gomez R.B., Lopez M.J., Chavez M.M.P., Garcia S.P.A. y Perez, 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*). Afr J Microbiol Res 6: 3409-3414.
- Ortiz RR, Valdez AJJ, Garcidueñas PR, Chávez MMP, Val AD, Hernandez EF, Pérez SRE. 2013. Effect of added nopal cactus (*Opuntia ficus-indica*) on microbial content in raw milk. African Journal of Microbiology Research. 7(28):3675-3680.
- Ortiz RR, Valdez AJJ, Gómez RB, López MJ, Chávez MMP, García SPA, Pérez SRE. 2012^a. 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(14):3409-3414.
- Ortiz, RR., Pérez SRE., Juárez CA, y Gómez RB. (2015). Teoría de sistemas en la producción animal. 1^a Edición 2015. Morelia, México. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Ortiz, RR., Aguilar-Barrera, J.L., Valdez-Alarcón, J.J., Val-Arreola, D., Esquivel-Córdoba, J., Martínez-Flores, H.E., Pérez-Sánchez, R.E. 2016. Effect of adding mucilage from *Opuntia ficus-indica* and *Opuntia atropes* to raw milk on mesophilic aerobic bacteria and total coliforms. Efecto de la adición de mucilago de *Opuntia ficus-indica* y *Opuntia atropes* a la leche cruda sobre bacterias mesófilas aerobias y coliformes totales. Nova Scientia 8(1): 106-122.
- Pari L, Latha M. 2005. Antidiabetic effect of *Scoparia dulcis*: effect on lipid peroxidation in streptozotocin diabetes. Gen Physiol Biophys. 24:13-26.

- Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar "El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.
- Parra S, Gómez J, Andrés Z. 2009. Importancia de la utilización de diferentes técnicas de digestibilidad en la nutrición y formulación porcina. Revista MVZ Córdoba, 14(1):1633-1641.
- Pérez SRE, García SPA, Angel PME, Valdez JJ, Ramos B, Ortiz RR, Ramirez G. 2011 Producción de la leche provenientes de vacas Holstein bajo una dieta complementada con nopal (*Opuntia ficus-indica*). 2010. International Business Community Related to Animal Production. México. En línea:<http://www.engormix.com/MAGanaderiache/nutricion/articulos/produccionleche-provenientes-vacas-t3072/141-p0.htm>.1/03/2011
- Pinos RJM, Velázquez JC, González SS, Aguirre JR, García JC, Álvarez G Jasso Y. 2010 Effects of ocladode age on biomass yield and nutritional value of intensively produced spineless cactus for ruminants. South African Journal of Animal Science. 40(3):245-250.
- Pinto, R. R. Gomes, B, Hernández, A., Medina, Medina, F. J Gutiérrez, R.Escoba, E., Vasquez, j. 2005. Árboles y arbustos forrajeros en el sur de Mexico. Pastos y Forrajes, 28:87-98
- Pírela, G., M. Romero.; O. Araujo-Febres. 1996. Alimentación estratégica con bloques multinutricionales. Suplementación de mautas a pastoreo. Revista Científica FCV-LUZ. (6):95-98.
- Prieto GF, Méndez MMA (2008). Morfología, tamaño y distribución de partículas en semillas de cinco especies del género *Opuntia*. Universidad y ciencia, trópico húmedo. 24(2):159-162.
- Ramírez THM, Reyes JA, Pinos JM, Aguirre JR. 2007. Efecto de la especie y madurez sobre el contenido de nutrientes en cladodios de nopal. Agrociencia. 41(6):619-626.
- Rekika M, Ben Salemb H, Lassouedb N, Chalouati H, Ben Salema I. 2010. Supplementation of Barbarine ewes with spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis*) cladodes during late gestation-early suckling: Effects on mammary secretions, blood metabolites, lamb growth and postpartum ovarian activity. Small Ruminant Research. 90:53-57.
- Revuelta GL. 1963. Bromatología zootécnica y alimentación animal. Segunda ed. Salvat. Madrid. España. p 1044.
- Reyes, L., Camacho, T. C. & Guevara, F. 2013. Rastrojos: manejo, uso y mercado en el centro y sur de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico Núm. 7. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México. I-viii, 1-242 p
- Ríos LA. 1954. El nopal y la oveja, una esperanza para la una desértica mexicana. Secretaria de recursos hídricos. Memorándum técnico. México. p 6.
- Roy A, Chardigny JM, Bauchart D, Feraly A, Lorenz S, Durand D, Gruffat D, Faulconnier Y, Sebedio JL, Chilliard Y. 2007. Butters rich either in trans-10-C18:1 or in trans-11-C18:1 plis cis

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar "El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

9, trans-11 CLA differentially affect plasma lipids and aortic fatty streak in experimental atherosclerosis in rabbits. *Animal*, 1:467–476.

SAGARPA 2007 Sistema de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Sistema Interactivo de Consulta (SIACON). México, D.F.

SAGARPA. (2012). Reglas de Operación del Programa de Desarrollo de Capacidades, Innovación Tecnológica y Extensionismo Rural. Componente Desarrollo de Capacidades y Extensionismo Rural.

Sakly C., Rekik M., Ben Salem I., Lassoued N., Gonzalez A.B., Ben Salem H. 2013. Reproductive response of fat-tailed Barbarine ewes subjected to short-term nutritional treatments including spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis*) cladodes. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 98:43-49.

Santos DC, Santos MVF, Farias I, Dias FM, Lira M. 2001. Desempenho produtivo de vacas 5/8 Holando/Zebu alimentadas com diferentes cultivares de palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*). *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*. 30(1):12-17.

SEDAGRO 2006 Programa Institucional. Gobierno del Estado de México. <http://www.edomexico.gob.mx/sedagro/sedagro.htm>

Taasoli G, Kafilzadeh F, Khamisabadi H. 2011. Evaluation of *Opuntia ficus indica* cactus grown in western of Iran as animal feed. Research of the first international conference (Babilon and universities).

Tavendale MH, Meagher LP, Pacheco D, Walker N, Attwood G.T, Sivakumaran S. 2005. Methane production from in vitro rumen incubations with *Lotus pedunculatus* and *Medicago sativa*, and effects of extractable condensed tannin fractions on methanogenesis. *Anim. Feed Sci. Technol.* 123–124: 403–419.

Tegegne F, Kijora C, Peters KJ. 2007. Study on the optimal level of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) supplementation to sheep and its contribution as source of water. *Small Ruminant Research*. 72:157–164.

Tegegne F, Peters KJ, Kijora C. 2005. Cactus pear (*Opuntia ficus indica*): a strategic crop in combating food and feed insecurity and desertification in Tigray, northern Ethiopia. *Proc. Sco. Nutr. Physiol.*, 14 (2005), p. 60.

Tegegne F. 2001. Nutritional value of *Opuntia ficus-indica* as a ruminant feed in Ethiopia. C. Mondragon, S. Gonzalez (Eds.), *Cactus (Opuntia spp.) as Forage*, vol. 169 FAO Plant Production and Protection Paper. pp. 91-99.

- Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar "El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.
- Tikabo G, Solomon M, Alemu. 2006. Effect of different levels of cactus (*Opuntia ficus-indica*) inclusion on feed intake, digestibility and body weight gain in tef (*Eragrostis tef*) straw-based feeding of sheep. *Animal Feed Science and Technology*. 131:42–51.
- Urrutia MJ, Gómez VH, Beltrán LS, Díaz GMO. 2014. Utilización de *Atriplex canescens* y *Opuntia ficus indica* en la alimentación de cabras lactantes durante la sequía. *Agron. Mesoam.* 25(2): 287-296.
- Vadell A, Barlocco N, Carballo C. 2010. Prolificidad y longevidad productiva de cerdas pampa rocha en un sistema de producción al aire libre. *Rev. Comp. Prod. Porc.* 17(2): 149-153.
- Van Bennekum A, Nguyen DV, Schulthess G, Hauser HPMG. 2005. Mechanisms of cholesterol-lowering effects of dietary insoluble fibers: relationship with intestinal and hepatic cholesterol parameters. *British J. Nutrition*, 94: 331-337.
- Van Gigch J. 1998. Teoría general de sistemas. 3da edición Editorial Trillas. México. 581 p.
- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. 1991. Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre, and nonstarch carbohydrates in relation to animal nutrition *J. Dairy Sci.*, 74:3583–3597.
- Véras RML, Ferreira MA, Carvalho FFR. 2002. Farelo de palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) em substituição ao milho. 1. Digestibilidade aparente dos nutrientes. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 31:1306.
- Véras RML, Ferreira MdeA, Cavalcanti CVdeA, Véras ASC, CARVALHO FFR, Santos, GRA, Alves KS, Maior Junior RJ. 2005. Substituição do milho por farelo de palma forrageira em dietas de ovinas em crescimento. Desempenho. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 34:249-256.
- Vieira EL, Batista MV, Guim A, Carvalho FF, Nascimento AC, Araújo RFS, Mustafa AF. 2008. Effects of hay inclusion on intake, *in vivo* nutrient utilization and ruminal fermentation of goats fed spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* Mill) based diets. *Animal Feed Science and Technology*. 141:199–208.
- Villegas DJLO, Aguilar BJH, Andrade MHM, Basurto GR, Jiménez SH, Vera AHR. 2008. Efecto del tamaño de la penca de nopal (*Opuntia ficus-indica*) sobre la degradabilidad *in situ* y cinética de degradación de la proteína cruda en caprinos. XXII Reunión Nacional sobre caprinocultura. Zacatecas. México.
- Villegas, D. G., A. Bolaños M. y L. Olguín, P. 2001. La Ganadería en México. Temas Selectos de Geografía de México: 1. 1era Edición. D. F, México
- Viñoles C, Meikle A, Martin GB. 2008. Short-term nutritional treatments grazing legumes or feeding concentrates increase prolificacy in Corriedale ewes. *Animal Reproduction Science*. 113:82–92.

Tesina que presenta: PMVZ. Jose de Jesus Gonzalez Escobar “El nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*): Alternativa no convencional en la alimentación del ganado de la región del trópico de tierra caliente, Michoacán., México.

Waal HO, Zeeman DC, Combrinck WJ. 2006. Wet faeces produced by sheep fed dried spineless cactus pear cladodes in balanced diets. South African Journal of Animal Science. Available at: <http://www.sasas.za/sajas.asp>.

Wanderley WL, Ferreira MdeA, Andrade DKB, Vêras ASC, Lima LE, Dias AM. 2002. Palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) em substituição à silagem de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) na alimentação de vacas leiteiras. Revista Brasileira de Zootecnia. 31:273-281.

Wang CT, Yang CMJ, Chen ZS. 2012. Rumen microbial volatile fatty acids in relation to oxidation reduction potential and electricity generation from straw in microbial fuel cells. Biomass Bioenerg. 37:318-329.

Waramit N, Moore KJ, Heggensteller AH. 2011 Composition of native warm-season grasses for bio-energy production in response to nitrogen fertilization rate and harvest date. Agronomy Journal. 103:655–662.