



Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Facultad de Medicina Veterinaria Y Zootecnia

TESIS

EFFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) A LA DIETA DE VERRACOS SOBRE LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD SEMINAL

QUE PRESENTA:

Pmvz: Martín Aguilera Silva

Para obtener el título de Médico Veterinario Zootecnista

DIRECTOR DE TESIS

MC. Ruy Ortiz Rodríguez

CO-ASESOR

MC. Irma Arcelia Toscano Torres

Septiembre, Morelia, Michoacán, 2021.





Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Facultad de Medicina Veterinaria Y Zootecnia

TESIS

EFFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) A LA DIETA DE VERRACOS SOBRE LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD SEMINAL

QUE PRESENTA:

Pmvz: Martin Aguilera Silva

Para obtener el título de Médico Veterinario Zootecnista



DEDICATORIA

*A mi querida esposa Atenas Andrade Salas y mi hijo Evan Daniel Aguilera
Andrade, mi pequeña familia.*

AGRADECIMIENTOS

*A mis padres Martín Aguilera Ramírez y Rita Silva Contreras, por su amor,
comprensión y apoyo, por ser el mejor ejemplo de esfuerzo y dedicación para
salir adelante ante cualquier adversidad.*

*A mi esposa Atenas Andrade y mi hijo Evan Daniel Aguilera Andrade, por su
gran amor, cariño, motivación y por ser mis dos grandes pilares en mi vida.*

*A mis hermanos, Mario Alberto Aguilera Silva y Ana Edith Aguilera Silva por
estar siempre presentes, apoyarme e impulsarme a esforzarme siempre para
lograr todo lo que me proponga.*

*A mis padrinos José Aguilera Ramírez y Carlota Alvarado Martínez por su
cariño y por estar siempre ahí tanto en los momentos buenos y aún más en los
malos, siempre les estaré agradecido.*

*A la familia Andrade Salas por confiar en mí y abrirme las puertas de su
hogar y hacerme sentir como un miembro más de su familia.*

*Expreso mi más sincero agradecimiento al MC. Ruy Ortiz Rodríguez por sus
grandísimas enseñanzas e infinita paciencia y por verme compartido su
conocimiento en el desarrollo de esta tesis.*

*Al MC. Manuel López y Mc. Víctor Manuel Sánchez Parra, por sus
enseñanzas y paciencia en mi formación profesional y sus comentarios y
aportaciones en el desarrollo de esta tesis.*

A la MC. Irma Arcelia Toscano y la MC. Ingrid Brenda Olivo Zepeda por verme compartido sus conocimientos, instalaciones y equipo a cargo para el desarrollo experimental de la investigación.

Al Dr. Gerardo Ordaz Ochoa por su amistad, orientación y el gran apoyo brindado en mi formación profesional. ! Cuando se desea ir a algún lugar lo mejor es encontrarte con alguien que ya ha estado ahí! Gracias! Gera.

A mis compañeros Daniel, Fernando, Manuel y Paola por siempre estar ahí y hacerme reír haciendo más ligeros esos momentos de angustia y frustración a lo largo de mi formación como MVZ.

El tamaño de tu éxito es medido

Por la fuerza de tu deseo, el tamaño de tu sueño

Y como puedes manejar la decepción a lo largo del camino.!!!

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	
1. INTRODUCCIÓN	2
2. ANTECEDENTES	5
2.1 Situación de la porcicultura nacional	5
2.2 Problemática de la producción porcina mexicana	6
2.3 Factores que influyen en la elaboración y conservación de dosis seminales	7
2.4 La alimentación del verraco	10
2.4.1 Uso de suplementos alimenticios a la dieta de verracos sobre la calidad seminal	11
A. Antioxidantes	12
B. Minerales	14
C. Insumos no convencionales	15
2.5 Nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>) y sus características fisicoquímicas	16
2.6 Efectos biofuncionales del nopal	17
2.7 Utilización del nopal en la producción porcina	18
3. Planteamiento del problema	20
4. Hipótesis	21
5. Objetivo	21
5.1 Objetivos específicos	21

6. MATERIALES Y MÉTODOS	22
6.1 Locación	22
6.2 Animales	22
6.3 Dietas y análisis bromatológico de cerdas	22
6.4 Parámetros macro y microscópicos del semen porcino	24
6.5 Volumen, color, olor y pH del semen porcino fresco	25
6.6 Motilidad masal y progresiva	25
6.7 Integridad de membrana y anormalidades	26
7. RESULTADOS	28
8. DISCUSIÓN	35
9. CONCLUSIÓN	41
10. BIBLIOGRAFIA	42

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Pág.

Tabla 1. Insumos y análisis bromatológico del alimento para sementales.....	23
Tabla 2. Características morfológicas y bromatológicas de los cladodios de <i>O. ficus-indica</i> del tercer nivel.....	24
Tabla 3. Análisis de varianza para las variables de producción y calidad seminal.....	28
Tabla 4. Medias de mínimos cuadrados para indicadores de producción y calidad seminal de acuerdo al tratamiento.....	29
Tabla 5. Estimadores de regresión para indicadores de producción y calidad seminal de acuerdo con el tratamiento: estimador (P-valor).....	30
Figura 1. Medias de mínimos cuadrados para el volumen de eyaculado de acuerdo con el tratamiento y días de evaluación.....	29
Figura 2. Medias de mínimos cuadrados para la motilidad masal y motilidad progresiva de acuerdo con el tratamiento y días de evaluación.....	31
Figura 3. Medias de mínimos cuadrados para la concentración espermática de acuerdo con el tratamiento y días de evaluación.....	32
Figura 4. Medias de mínimos cuadrados para la integridad de membrana de acuerdo con el tratamiento y días de evaluación.....	33
Figura 5. Medias de mínimos cuadrados para el porcentaje de anormalidades de acuerdo con el tratamiento y días de evaluación.....	34

RESUMEN

Se determinó el efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) al 1% a la dieta de verracos sobre la calidad seminal en época de verano-otoño. Se utilizaron tres sementales raza: Pietrain (39 meses de edad y 268kg de PV) y dos híbridos (Landrace/Yorkshire/Pietrain); uno con una edad de 36 meses y 252kg de PV y otro de 13 meses y 264kg de PV. Los tres sementales fueron sometidos a dos dietas: una dieta convencional para sementales (Tratamiento A) y una dieta convencional adicionada con 1% de *O. ficus-indica* (porcentaje con respecto al PV del cerdo⁻¹) (Tratamiento B). Cada dieta se suministró durante 50 días consecutivos. Se evaluó en los eyaculados de cada semental: el volumen (VL), color (CO), olor (OL), Ph, motilidad masal (MM) y progresiva (MP), integridad de membrana (IM), anormalidades (AN), concentración espermática (CE). Se encontró efecto de tratamiento sobre el volumen de eyaculado ($P=0.0007$) (217.3 mL vs 165.3 mL para el Tratamiento B y A, respectivamente), motilidad masal ($P<0.0001$) (4.9 vs 4.4 para el Tratamiento B y A, respectivamente), motilidad progresiva ($P<0.0001$) (89.7% vs 85% para el Tratamiento B y A, respectivamente), concentración espermática ($P<0.0001$) (340.7 vs 269.3 $\times 10^6/\text{mL}^{-1}$ para el Tratamiento B y A, respectivamente) y anormalidades ($P=0.0310$) (14.5 vs 17.3% para el Tratamiento B y A, respectivamente). La adición de *O. ficus-indica* al 1% a la dieta de verracos, genera cambios en las características del semen, puesto que incrementa la producción y calidad espermática en estos animales.

Palabras clave: Alimentación, antioxidantes, minerales, espermatozoides, semen, inseminación artificial.

ABSTRACT

The effect of the addition of nopal (*Opuntia ficus-indica*) to 1% to the boar diet on the seminal quality in the summer-autumn season was determined. Three breed stallions were used: Pietrain (39 months old and 268kg LW) and two hybrids (Landrace / Yorkshire / Pietrain); one with an age of 36 months and 252kg of BW and another of 13 months and 264kg of BW. The three stallions were subjected to two diets: a conventional diet for stallions (Treatment A) and a conventional diet added with 1% of *O. ficus-indica* (percentage with respect to the PV of pig-1) (Treatment B). Each diet was supplied for 50 consecutive days. The ejaculates of each stallion were evaluated: volume (VL), color (CO), odor (OL), Ph, mass (MM) and progressive motility (MP), membrane integrity (IM), abnormalities (AN), sperm concentration (EC). Treatment effect was found on ejaculate volume ($P = 0.0007$) (217.3 mL vs 165.3 mL for Treatment B and A, respectively), mass motility ($P < .0001$) (4.9 vs 4.4 for Treatment B and A, respectively), progressive motility ($P < .0001$) (89.7% vs 85% for Treatment B and A, respectively), sperm concentration ($P < .0001$) (340.7 vs $269.3 \times 10^6 / \text{mL}^{-1}$ for Treatment B and A, respectively) and abnormalities ($P = 0.0310$) (14.5 vs 17.3% for Treatment B and A, respectively). The addition of 1% *O. ficus-indica* to the diet of boars generates changes in the characteristics of the semen, since it increases sperm production and quality in these animals

Keywords: Food, antioxidants, minerals, sperm, semen, artificial insemination.

1. INTRODUCCIÓN

La carne de cerdo es la de mayor consumo a nivel global, por lo que el desarrollo de la industria porcícola ha sido constante en todo el mundo (Montero *et al.*, 2015). En México, la porcicultura es una de las actividades más importantes del subsector primario, debido a que la carne de cerdo ocupa el tercer lugar (seguido de la carne de res y pollo) en la producción nacional, con un aporte de 349,021 toneladas por año (INEGI, 2018). Dicha producción es generada con aproximadamente un millón de sistemas de producción porcina divididos en tres estratos: intensivos, semi-intensivos y de traspatio, sistemas que en conjunto representan una piara total de más de 19.8 millones de cabezas, inventario con el cual dos millones de familias dependen económicamente (320 mil empleos directos y más de 1.7 millones de empleos indirectos) (FIRA, 2015). No obstante, México no es productor primario de dicha especie por lo tanto tiene que recurrir a la importación de genética extranjera para sobrellevar la producción nacional (Castañeda, 2017).

La inseminación artificial (IA) es una biotecnología de la reproducción de primera generación, así como la técnica individual más importante creada para el mejoramiento genético de animales (Torrentes *et al.*, 2013; Haféz y Haféz 2002); la importancia de la IA radica en varios rubros: el perfeccionamiento del manejo de las explotaciones, el refuerzo de las medidas de bioseguridad, y también al colaborar en la transmisión y expansión del material genético de forma eficiente (Roche *et al.*, 2014). Dicha biotecnología comenzó a difundirse en la década de los años 70's y 80's consolidándose en la década de los 90's (Vieites 2011) y se ha posicionado como una de las más importantes en la porcicultura a nivel global, siendo utilizada actualmente en el 100% de las explotaciones de tipo intensivo y semintensivo (Roche *et al.*, 2014). Por ello, en los sistemas de producción porcina a gran

escala la IA es un auxiliar importante, pues con un eyaculado se puede inseminar hasta 20 hembras (Koeslag y Castellanos 2016). Sin embargo, existen puntos críticos en esta técnica, tales como: la propia técnica de inseminación, calidad seminal, detección del estro y el material a utilizar (Mozo 2009).

La base de la producción de dosis de semen usadas en la IA, en producción porcina, se sustenta en la evaluación seminal en la que se pueden considerar algunos parámetros tales como la medición del número, motilidad y morfología de los espermatozoides en el eyaculado fresco (PIC 2017). Por lo que, la evaluación convencional o subjetiva de una muestra de semen puede determinar su grado de normalidad antes de que el eyaculado sea procesado en dosis seminales (Arisnabarreta 2017).

Por otra parte, la subalimentación en los futuros sementales favorece el retraso en la pubertad, disminución de la libido y calidad seminal. Mientras que, la sobrealimentación también predispone a la disminución de la libido (Quiles 2008). En este sentido, una mala formulación de nutrientes en la dieta provoca mala calidad del semen o dificultades para la monta. Aspecto que ocurre con frecuencia; puesto que, en muchas ocasiones se utiliza el alimento para la fase de gestación para alimentar a los verracos independientemente de la edad del animal, la época del año o de la actividad de éste (Quiles 2006). En este sentido, la calidad del semen no solo depende del individuo, la raza, la estación del año, el confinamiento y la salud de los reproductores, también es importante la ausencia de suplementos alimenticios que se incluyen en el alimento (antioxidantes, vitaminas y/o minerales), que pueden afectar la libido y las características del semen (Techakumphu *et al.*, 2013).

En cuanto a la suplementación del alimento, el semen de cerdo se caracteriza por contener una alta proporción de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga fácilmente oxidables por lo cual requiere de una defensa antioxidante eficaz (Hernández *et al.*, 2015). El efecto del estrés oxidativo en los espermatozoides es provocado por la formación de una gran cantidad de especies reactivas al oxígeno (ROS) las cuales dañan directamente la integridad de sus componentes estructurales y fisiológicos; dicho efecto está directamente relacionado con la disminución de la sobrevivencia y capacidad fecundante después de ser eyaculados (Córdova 2009). La vitamina E es el antioxidante dominante en las membranas plasmáticas celulares, la cual ha demostrado una sinergia de la actividad antioxidante entre el selenio y la enzima Glutación peroxidasa o glutathione peroxidase EC 1.11.1.9, cataliza la reacción de oxidación de glutatión a glutatión disulfuro utilizando para ello peróxido de hidrógeno. Esta enzima usa como cofactor el selenio. $2 \text{ Glutathione} + \text{H}_2\text{O}_2$ (principal enzima antioxidante intracelular). Mientras que la vitamina C, es una fuente poderosa de electrones donantes que reaccionan con radicales hidroxilo, peróxido y superóxido para formar deshidroxilo ácido ascórbico, de esta manera su acción radica en deshabilitar la función de cualquier tipo de ROS (Techakumphu *et al.*, 2013).

En la actualidad, existen diversas investigaciones en plantas que pudieran ser parte de las dietas para animales y para humanos al proporcionar una importante fuente de antioxidantes; dentro de estas plantas se encuentran las cactáceas. Así, el nopal es considerado como una importante fuente de sustancias antioxidantes para la dieta diaria por su cantidad de flavonoides y betalainas (Ramírez *et al.*, 2015, Moreno 2011). En humanos se ha demostrado que el consumo de nopal y tuna afecta positivamente el balance redox corporal, decrece el daño oxidativo en lípidos y mejora el estado antioxidante general

(Sánchez 2009). De aquí, el objetivo de la presente investigación: determinar el efecto de la adición de nopal al 1% (con base en el peso vivo del animal) a la dieta de verracos sobre la calidad seminal en época de verano - otoño.

2.1 ANTECEDENTES

2.1 Situación actual de la porcicultura nacional

La industria porcina en México es una de las principales actividades económicas del subsector pecuario, la cual ha enfrentado cambios significativos en el entorno económico en el cual se ha desenvuelto ocasionando modificaciones que han originado variaciones en su estructura productiva y comercial en cada uno de sus estratos (rebollar *et al.*, 2014).

Los cuatro principales productores de carne de cerdo a nivel mundial son: China, Unión Europea, Estados Unidos y Brasil aportando al rededor del 83.4% de la oferta mundial de carne de cerdo. México ocupó en 2016 la novena posición, con una participación del 1.3% de la producción mundial de este tipo de carne, con 1.3 millones de toneladas (CEDRSSA 2018).

Actualmente la producción nacional de carne de cerdo registró una tendencia creciente durante la década reciente, con una tasa de crecimiento promedio anual de 2.4 por ciento, para ubicarse en 1.44 millones de toneladas en 2017 y para 2018, se estima que el consumo per cápita de carne de cerdo se ubique en un nivel récord de 18.9 kilogramos, es decir, registraría un crecimiento anual de 5.6% (FIRA 2018).

La actual competencia entre la porcicultura nacional con los mercados externos, en cuanto a importaciones y exportaciones de carne, ha enfrentado a los poricultores mexicanos a los

precios internacionales, lo que ha exigido que las empresas utilicen sistemas de producción similares a los de Estados Unidos, así como técnicas de reproducción y alimentación sofisticada para mejorar características específicas de la carne, lo cual les ha permitido poder realizar exportaciones principalmente al mercado japonés y coreano (Pérez *et al.*, 2010).

De acuerdo al análisis de la industria porcina en Latinoamérica, PIC (2017) señala que las exportaciones en México vienen mostrando números positivos, creciendo un 6.6% por año en sus envíos, de los cuales el principal producto de exportación son cortes de carne fresca, refrigerada o congelada

Entre 2008 y 2017, en promedio, 72.2% del consumo de carne de cerdo en México provino de la producción nacional, mientras que 27.8 por ciento se abasteció de las importaciones y para 2018, se espera que las importaciones crezcan a una tasa anual de 9.5%, para ubicarse en un máximo histórico de 880.0 miles de toneladas, siendo Estados Unidos el principal proveedor de carne de cerdo (FIRA 2018).

2.2 Problemática de la producción porcina mexicana

A pesar del inventario nacional de porcinos y las técnicas y tecnologías con que cuenta dicho sector, para manipular eventos biológicos de la especie, no se ha logrado cubrir la demanda establecida. Lo cual ha sido asociado a efectos del personal y a la propia biología del cerdo, factores que repercuten sobre la eficiencia productiva, propiciando pérdidas económicas y aumento de la importación de carne de cerdo (FIRA, 2016). Por lo tanto, se deben analizar los puntos críticos que limitan la productividad del sistema para

posteriormente implementar estrategias que favorezcan el desarrollo productivo (Ek *et al.*, 2014).

Una de las limitantes que tienen los sistemas de producción porcina y que tienen efecto sobre la productividad, se relaciona con poco éxito que ha tenido la conservación de semen de verraco (ello con respecto a otras especies como lo son los bovinos). Las dificultades para conservar el semen por arriba de diez días, se debe a las características que presenta el semen de verraco y que impide, hasta cierto grado, aplicar la técnica de congelación y que garantice una fertilidad superior al 60% (Williams *et al.*, 2015).

2.3 Factores que influyen en la elaboración y conservación de dosis seminales de cerdo

Con respecto a la conservación convencional del semen de cerdo, la dilución de semen fresco presenta una viabilidad baja (<10 días), debido a que aún no se han podido controlar un gran número de factores que inciden sobre la supervivencia espermática; ya sean factores que afectan al espermatozoide desde la espermatogénesis, durante la colección o en el proceso de la dilución y conservación de semen (Williams *et al.*, 2015; Martin, 2013). Dichos factores repercuten en la fertilidad y prolificidad de las cerdas y por consecuencia sobre la productividad del sistema (Donadeu, 2014; Jabif, 2013; Torrentes *et al.*, 2013). Aspecto que se ha observado en el 100% de las explotaciones intensivas y semi-intensivas (Roche *et al.*, 2014).

Las limitantes para garantizar el éxito de la IA en cerdos (>90% de fertilidad) están asociadas a: 1) calidad espermática del verraco, puesto que, puede ser modificada desfavorablemente por factores ambientales y, 2) colección y conservación de semen, aun no existen métodos fiables para garantizar viabilidad espermática durante tiempo

prolongado. Ello debido a las características que presenta el semen de verraco, como lo es, la concentración de electrolitos, escasa concentración de azúcares y baja concentración de espermatozoides (con respecto al volumen de eyaculado), en el semen del verraco, su principal problema biológico consiste en una escasa capacidad de tamponificación que ofrece el medio seminal, de modo que los catabolitos residuales propician muerte de los espermatozoides, situación que predispone al semen a ser afectado por diversos factores (IIP, 2008 citado por Hernández, 2012).

De acuerdo con lo expuesto en el párrafo anterior, entre los factores que modifican la viabilidad espermática existen factores extrínsecos e intrínsecos que influyen en la producción y calidad seminal del verraco entre los que se encuentran: genética, edad del verraco y alimentación como factores detonantes en la calidad del semen. No obstante, existen factores inherentes a la espermatogénesis que pueden modificar la viabilidad del semen, en este sentido, la escasa capacidad de tamponificación del medio seminal, la composición química (fosfolípidos unidos a ácidos grasos insaturados de cadena larga) de las membranas plasmáticas de los espermatozoides otorga cierto grado de susceptibilidad al ataque de los radicales libres, producto del estrés oxidativo; daño que se agrava durante el proceso de maduración espermática, debido a la pérdida de una parte de su citoplasma y con ello un conjunto de defensas enzimáticas que los protegen de los daños peroxidativos (Bathgate, 2011; Morales, 2012; Guachún, 2017).

Delint *et al.* (1991) reportan que la raza Yorkshire es capaz de producir mayor número de dosis potenciales debido a que presenta mayor concentración espermática, en comparación a las razas Duroc, Hampshire y Landrace. No obstante, Hernández (2008) reporta que las razas con mayor rusticidad (Duroc y Hampshire) presentan mayor resistencia al estrés

oxidativo, por lo tanto, presentan menor número de anomalías en los espermatozoides con respecto a razas como la Yorkshire y Landrace. Dichas características son relevantes, puesto que independientemente de que en la actualidad ya se trabaja principalmente con líneas genéticas, dichas razas son las que predominan en el desarrollo de las actuales líneas genéticas (ANPS, 2011).

De acuerdo con la edad, se considera que un verraco es capaz de producir espermatozoides libres en los túbulos seminíferos y almacenarlos en el epidídimo entre los 4 y 5 meses (Kubus, 2010). No obstante, la diferencia entre un verraco adulto y uno joven es la capacidad de sintetizar la feromona 3-androstenol, la cual inicia su producción normal entre los 8 y 10 meses; independientemente que dicha feromona participa en estimular a la cerda a que entre en estro, el olor que produce se ha relacionado con la producción y viabilidad espermática (Martínez, 1998). Se ha reportado (Hernández, 2012) que un verraco es apto para ser trabajado a partir de los 8 meses, edad en la cual inicia su pico de fertilidad y que se relaciona con la síntesis de 3-androstenol (Font, 2002).

Con respecto a la alimentación, Kubus (2010) reporta que altos niveles de energía (≥ 2900 Kcal kg⁻¹) en la dieta permiten la aparición temprana de la pubertad. De acuerdo con el nivel de alimentación, se ha reportado que niveles bajos de energía y proteína afectan el volumen del eyaculado, y la producción y concentración espermática del semen (Quiles, 2008). No obstante Penny *et al.* (2000) reportan mejora significativa en la viabilidad de células espermáticas entre las cuatro a ocho semanas post suplementación del alimento con C22:6 (DHA- Ω) vitamina E y Se (selenio). Dicha complementación de la dieta se modificó la composición de los ácidos grasos del semen (espermatozoides y plasma seminal) hacia mayor instauración, así mismo, se incrementó la concentración espermática (33 vs 30 dosis

eyaculado-1). Con respecto a la suplementación extra en el contenido de proteína o aminoácidos de la dieta Close y Cole (2001) establecen que dicho incremento no afecta la calidad del semen a menos de que los verracos sean sometidos a ritmos reproductivos extremos.

2.4 La alimentación del verraco

Uno de los puntos críticos más importantes en la producción del cerdo son las buenas practicas nutricionales debido a que estas abarcan el 65% de la inversión económica en el sistema de producción (García *et al.*, 2012), por lo tanto para asumir unas buenas practicas nutricionales en el hato, es de suma importancia que la cantidad de alimento y sus nutrientes estén balanceados de forma que cubran los requerimientos nutricionales de acuerdo al estado productivo y reproductivo de los animales (IIP 2008).

Habitualmente se ha dado menor importancia al estudio e implementación de los sistemas de alimentación y requerimientos nutricionales de los verracos, puesto que la mayoría de las granjas porcinas carecen de un programa específico de alimentación para sus verracos, utilizando normalmente la misma dieta que reciben las cerdas gestantes por su facilidad, bajo costo de alimentación y la falta de información que contraindique esta práctica (Campabadall 2009). No obstante, la subalimentación favorece a un retraso en la pubertad, disminución de la libido, y calidad seminal. Mientras que, la sobrealimentación también es considerada perjudicial debido a una predisposición en la disminución de la libido (Sánchez 2007). En este sentido, una mala calidad del semen o dificultades para la monta pueden deberse a una mala formulación de nutrientes, debido a que en muchas ocasiones se utiliza el alimento específico para hembras gestantes para alimentar a los verracos

independientemente de la edad del animal, la época del año o de la actividad del mismo (Quiles 2006).

En general, para verracos entre 1 y 3 años, con un peso de 200 kg y 2-3 saltos/semana es aconsejable proporcionar 2.6kg de pienso al día de una dieta que contenga 3.000 Kcal EM/kg, 15-16% de proteína bruta y 0,65-0,70% de lisina (Latorre 2006). Por su parte, PIC (2018) recomienda en sus especificación de nutrientes para machos sexualmente activos un consumo de alimento estimado de 2.5 kg, con un contenido de: 2308 kcal/kg de EN, 3086 kcal/kg de EM, 0.62 % de lisina, 0.80% de calcio total, 0.40% de fosforo, 0.22% de sodio, 0.22% de cloruro, 125ppm de zinc, 100ppm de hierro, 50 ppm de manganeso, 0.3ppm de selenio, 11025 UI/por kg de dieta de vitamina A, 2000 UI/por kg de dieta de vitamina D, 110 UI/por kg de dieta de vitamina E y un consumo de agua mínimo, de 17 l/d.

2.4.1 Uso de suplementos alimenticios a la dieta de verracos sobre la calidad seminal.

La calidad del semen depende del individuo, la raza, la estación, el confinamiento y la salud de los reproductores, sin embargo se ha demostrado que los suplementos alimenticios que se incluyen directa e intencionadamente al alimento (antioxidantes, vitaminas y/o minerales), pueden incrementar la libido y las características del semen (Techakumphu *et al.*, 2013), dichos aditivos pueden tener o no valor nutritivo, pero el propósito de su uso es tecnológico, de salud e inocuidad, medioambiental y de bienestar animal (Contreras *et al.*, 2012).

Es significativo un suplemento adecuado de minerales traza y vitaminas en la dieta debido a su variedad de roles en funciones reguladoras, las cuales van desde mantener una fuerte

estructura locomotora hasta impulsar diferentes procesos metabólicos para maximizar la eficiencia reproductiva (PIC 2016).

a. Antioxidantes

El semen de cerdo se caracteriza por contener una alta proporción de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga fácilmente oxidables por lo cual requiere de una defensa antioxidante eficaz (Hernández *et al.*, 2015). El efecto del estrés oxidativo en los espermatozoides, es provocado por la formación de una gran cantidad de especies reactivas al oxígeno (ROS) las cuales dañan directamente la integridad de sus componentes estructurales y fisiológicos; dicho efecto está directamente relacionado con la disminución de la sobrevivencia y capacidad fecundante después de ser eyaculados (Córdova 2009). Se ha demostrado que los espermatozoides cuentan con un mecanismo natural antioxidante el cual consiste en un conjunto de sistemas de defensa enzimáticos y no enzimáticos, en los que la Superóxido Dismutasa (SOD), la Catalasa (CAT) y la Glutación Peroxidasa (GSH-Px) son las principales enzimas antioxidantes (Córdova 2009) estas enzimas se encuentran en los fluidos del tracto reproductivo con la finalidad de crear un ambiente favorable para los espermatozoides durante su tránsito, maduración en el epidídimo y en la eyaculación (Hernández *et al.*, 2015).

Los suplementos alimenticios que contienen ácidos grasos poliinsaturados (compuestos orgánicos formados por una larga cadena carbonada unida a un ácido carboxílico), vitaminas y minerales mejoran la calidad del semen al aumentar el número de espermatozoides por eyaculación, motilidad y viabilidad, las funciones clave de dichos suplementos se debe en gran medida a su efecto antioxidante para reducir los daños en la

membrana plasmática de ROS y aumentar la cantidad de PUFA's en la membrana plasmática del espermatozoide incrementando de esta manera el porcentaje de motilidad y vitalidad de los espermatozoides (Techakumphu *et al.*, 2013).

Uno de los principales antioxidantes utilizados como suplemento en las dietas de verracos es la vitamina C el cual en su estudio ha demostrado efectos significativos en verracos sobre la calidad del semen (2.5 y 3.6 g / unidad / día) incrementando el volumen de la eyaculación (52.3ml), concentración de espermatozoides eyaculados (+87.18 millones/mL), mayor porcentaje de espermatozoides móviles progresivamente (4% mayor con respecto al control), y mayor número de dosis de inseminación (+4 dosis) (Lechowski 2009). Así mismo se ha determinado que las vitaminas C y E son esenciales para el desarrollo normal, mantenimiento de la integridad estructural y función locomotora del espermatozoide (Ahmadi *et al.*, 2016).

La vitamina E es el antioxidante dominante en las membranas plasmáticas celulares, la cual ha demostrado una sinergia de la actividad antioxidante entre el selenio en la glutatión peroxidasa (principal enzima antioxidante intracelular). Por su parte, la vitamina C es una fuente poderosa de electrones donantes que reaccionan con radicales hidroxilo, peróxido y superóxido para formar deshidroxilo ácido ascórbico, de esta manera su acción radica en deshabilitar la función de cualquier tipo de ROS (Techakumphu *et al.*, 2013).

Por otro lado, Marín *et al.* (2000) encontraron que la suplementación de la vitamina E mejora aspectos reproductivos del verraco, debido a que esta reduce la concentración de PGF2 α en próstata y vesícula seminal. Dichos comportamientos dan la pauta a establecer

que la suplementación de vitamina C y E mejoran los indicadores reproductivos del verraco.

Existen otros compuestos químicos con una potente actividad antioxidante, que se encuentran ampliamente distribuidos en las frutas y vegetales, conocidos como fenoles, de los cuales los tres grupos más estudiados son: Flavonoides, ácidos fenólicos y polifenoles (Haile *et al.*, 2016; Porras y López 2009; Aguirre *et al.*, 2013). La actividad antioxidante de los compuestos fenólicos se debe a sus propiedades redox, las cuales juegan un papel importante en la absorción y neutralización de radicales libres y en la descomposición de peróxidos (Porras y López 2009). Los cladodios de Opuntia son fuente prometedora de antioxidantes naturales debido a que pueden actuar como un agente quimiopreventivo que proporciona propiedades antioxidantes y ofrece una protección efectiva contra los radicales libres (Dib *et al.*, 2013).

b. Minerales

Entre los principales, minerales que influyen la bioquímica reproductiva del cerdo, se encuentra el hierro, zinc, selenio, molibdeno, manganeso, cromo cobalto, yodo, cobre (Zn, Se, Cu, Mn, Fe, etc.). De entre los cuales resalta principalmente la actividad del zinc y selenio, los cuales actúan como componentes o activadores de enzimas que ayudan a la detoxificación de radicales libres, división celular y estabilización de moléculas (Yatoo *et al* 2013). La importancia de una fuente mineral está en función de la fracción o parte del compuesto mineral que es aprovechado por el animal (biodisponibilidad) (Contreras *et al.*, 2012).

Caraballo *et al.* (2017) encontraron que la ingesta de diferentes concentraciones de suplemento dietario de tipo micromineral (Se, Zn, Cu, Mn, Fe), como suplemento a la dieta usada en los cerdos reproductores, mejoró variables como el volumen, la motilidad, la morfología, la concentración y la vitalidad seminal, sin detrimento de otros parámetros relacionados con la calidad del eyaculado (pH, color y aspecto). Sin embargo, Horky *et al.* (2011) observaron que la forma orgánica de zinc (Zn-metionina) tuvo influencia significativa en el volumen de eyaculación y una mayor producción de dosis de inseminación.

Quiles (2006) y Riu (2011) establecen que el Zn es un mineral esencial en la dieta de los verracos debido a su participación en la espermatogénesis, en el desarrollo de las células de Leydig y en la producción de esteroides a nivel testicular. Con respecto al Se, Mn, Mg, Cu, son esenciales para el desarrollo normal, mantenimiento de la integridad estructural y función locomotora del espermatozoide (Ahmadi *et al.*, 2016). Por otro lado, Marín *et al.* (2000) encontraron que la suplementación de Se mejora la maduración de los espermatozoides en epidídimo y aumenta la concentración de ATP de los mismos (1.15 vs 1.55 nano moles/106 espermatozoides), optimizando la formación, desarrollo y funcionalidad de los espermatozoides.

c. Insumos no convencionales

Liu *et al.* (2016) al adicionar aceite esencial de orégano y aceite de pescado a la dieta de verracos encontraron que, se incrementó la retención de α -tocoferol y la capacidad antioxidante en los espermatozoides, reduciendo la producción de radicales libres. No obstante, a pesar de la importancia del verraco sobre el rendimiento reproductivo, se le ha

puesto poca atención desde el ámbito científico; por lo tanto, el conocimiento de la interacción nutrición-reproducción del verraco sobre el efecto en la producción y calidad espermática es limitado (Carrión y Medel, 2001). Puesto que, las publicaciones se han enfocado en la administración de gran variedad de aditivos con la finalidad de incrementar la viabilidad espermática postcolecta, aditivos como lo son: taurina (Li *et al.*, 2017), metionina de iodo (Fang *et al.*, 2017), ácido clorogénico (Pereira *et al.*, 2019), aceites esenciales (Cavalleri *et al.*, 2018).

2.5 Nopal (*Opuntia ficus-indica*) y sus características fisicoquímicas

El nopal (*Opuntia ficus-indica*) es una cactácea que se encuentra presente en zonas áridas y semiáridas, con gran variedad de especies y amplia distribución geográfica en México, siendo considerada como la especie cactácea de mayor importancia económica en el mundo (Torres *et al.*, 2015; Reyes *et al.*, 2005). El nopal constituye un recurso de alto potencial agrotecnológico: por su amplia gama de efectos biofuncionales, capacidad de adaptación, resistencia a las sequías, y su rápido crecimiento (Reveles y Flores 2010; Guevara 2009). Siendo utilizado actualmente tanto como cultivo alimenticio, como elemento base de uso en industrias como lo son: la Farmacología, la Medicina y la industria agropecuaria (El Mostafa *et al.*, 2014; Kaur *et al.*, 2012 Torres *et al.*, 2015).

Los cladodios de *O. ficus indica* son considerados como un alimento con aplicación en nutrición animal, por su contenido de fibra dietética, proteínas y fotoquímicos, tanto en base húmeda (91% agua, 0.66% proteínas, 0.11% grasas, 5.5% de carbohidratos, 1.15% de celulosa y 1.58% de cenizas), como en base seca (9.22g de materia seca, 5.05g de proteínas, 1.30g de cenizas, 12.70g de fibra bruta, 83.23g de carbohidratos/100g de nopal),

así como su contenido de minerales (1135 mg de potasio; 2836 mg de calcio; 1024.6 mg de magnesio; 189 mg de azufre; 8.64 mg de zinc; 9.10 mg de hierro; 0.95 mg de cobre; 11.47 mg de manganeso/100g de nopal) (Torres *et al.*, 2015; Guevara, 2009; Villela *et al.*, 2014).

2.6 Efectos biofuncionales del nopal

El nopal posee un gran número de efectos biofuncionales, entre los que destacan: el efecto antioxidante, hipoglicémico, antiinflamatorio, prebiótico, entre otros efectos no menos importantes; a tal grado que en la actualidad, es ampliamente utilizado como agente terapéutico (Kaur *et al.*, 2012; Lozoya *et al.*, 2018; Guevara 2009). En cuanto al efecto antioxidante, los flavonoides y betalaínas presentes en el nopal son una importante fuente de sustancias antioxidantes para la dieta diaria (Ramírez *et al.*, 2015; Moreno 2011). Dicha actividad antioxidante es llevada a cabo por diversos componentes con actividad secuestrante a radicales libres (Guevara 2009). En humanos se ha demostrado que el consumo de nopal y tuna afecta positivamente el balance redox corporal, decrece el daño oxidativo en lípidos y mejora el estado antioxidante general (Sánchez 2009).

En cuanto al efecto hipoglucémico del nopal, las investigaciones sugieren que los carbohidratos y otros compuestos hidrosolubles pueden causar el efecto reductivo en los niveles de glucosa sérica (Carrasco 2012; Guevara, 2009). En este sentido Halmi *et al.*, (2013) observaron que algunos extractos de *O. ficus indica* poseen un efecto importante en la disminución de la concentración sérica de glucosa, por medio de la estimulación de la secreción de insulina por una acción extrapancreática, así como la influencia de la absorción de glucosa y su uso por los diferentes tejidos.

En cuanto al efecto antiinflamatorio y analgésico del nopal, se ha demostrado que diferentes extractos de nopal poseen un efecto analgésico comparado con el generado por el ácido acetilsalicílico a dosis de 200g/kg de peso corporal (Guevara 2009).

Por otro lado, Armijos (2013) al examinar el efecto de los extractos de nopal y de tuna, observó que el efecto antiinflamatorio se potencializa al combinar ambos extractos, probablemente debido a que la tuna presenta compuestos como las betalainas las cuales son conocidas por sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias. Por su parte, Burga (2014) encontró que el gel de cladodios de *O. ficus-indica*, induce una respuesta antiinflamatoria ligeramente mayor que la de la Indometacina lo que lo constituye como una alternativa eficaz para el tratamiento inflamatorio.

Sin embargo, también se ha reportado el papel que desempeñan los compuestos fenólicos contenidos en la planta, principalmente la quercetina, el kaempferol y la isorhamnetina, los cuales son compuestos antioxidantes que participan en la inhibición de la producción de óxido nítrico durante el proceso de inflamación crónica (Moreno 2011).

2.7 Utilización del Nopal en la producción porcina.

O. ficus indica ha sido utilizada exitosamente como suplemento alimenticio en diversas etapas fisiológicas de los cerdos. Galindez (2018) al adicionar 1% de Nopal *O. ficus-indica* la dieta de cerdos para abasto (20-100 kg de peso vivo) observaron que la ingesta de nopal disminuye el consumo diario de alimento ($P<0.001$), debido al aumento de la fibra (que aporta el nopal) en la dieta y a su vez provoca el incremento del peso de los intestinos (ID 2.1kg vs 2.4kg, IG 2.1kg vs 2.5kg) y de la longitud de las vellosidades intestinales del duodeno ($P=0.05$), generando de esta manera una mayor área de absorción de nutrientes y

en consecuencia un mayor aprovechamiento de nutrientes contenidos en la dieta. lo que se refleja en una mejora en la conversión alimenticia.

Ortiz *et al.* (2017) al adicionar 1% de nopal *O. ficus-indica* a la dieta de cerdas lactantes demostraron que la ingesta de nopal no afectó ($P<0.001$) la producción (7.4 kg^{-1}) y calidad nutrimental de la leche de las cerdas (Proteína 4.5%, Lactosa 6.6%, Grasa 7.6%), y permitió el desarrollo normal de los lechones durante la fase de lactancia (5.1 kg por lechón al destete).

Lemus (2018) al adicionar el 1.0% del nopal *O. ficus-indica* a la dieta de las cerdas lactantes señala que dicha adición reduce los niveles de glucosa en sangre ($55.5 \pm 0.5 \text{ mg dL}^{-1}$ vs $70.0 \pm 0.8 \text{ mg dL}^{-1}$ durante la fase de lactancia ($P<0.05$), provocando un aumento de la ingesta voluntaria de alimento ($\text{GC}=4.8\text{kg}$ vs $\text{GE}=5.4\text{kg}$) por parte de las cerdas en fase de lactancia ($P<0.05$), trascendiendo en una menor pérdida de peso corporal de las cerdas en dicha fase.

Gaytán (2017) al evaluar la adición de 1% nopal (*O. ficus-indica*) de acuerdo al peso vivo de cerdos para abasto, encontró: disminución en colesterol total (109.2 vs 113.5 mg/dL^{-1} en el grupo control), lipoproteínas de baja densidad (49.9 vs 66.1 mg/dL^{-1} en grupo control) y en glucosa sanguínea (78.8 vs 95.0 mg/dL^{-1} grupo control); aumento en lipoproteínas de alta densidad (57.9 vs 39.1 mg/dL^{-1} en grupo control) y en triglicéridos (35.6 vs 29.8 mg/dL^{-1} en grupo control); mejora en el rendimiento de la canal (78.8 vs 76.8% en el grupo control), así como una disminución en la grasa dorsal (24.9 vs 34.3 mm en el grupo control); aumento en el porcentaje de proteína de la carne de cerdo (20.6 vs 18.2% grupo control).

control) y contenido de cenizas (5.3 vs 4.6% en el grupo control) y disminución en el contenido de grasa en la carne (11.0 vs 13.5% en el grupo control).

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante la espermatogénesis, el semen puede ser alterado por diferentes factores, como los son: temperatura y humedad ambiental, patologías, intensidad de trabajo de los animales, entre otros, aunado a esto el semen de cerdo se caracteriza por ser altamente susceptible a los radicales de estrés oxidativo debido a su alta contenido de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga fácilmente oxidables. Por lo tanto, es primordial buscar estrategias que reduzcan las alteraciones espermáticas durante el desarrollo del espermatozoide.

En la actualidad se ha demostrado que extractos de nopal presentan su efecto antioxidante a través de la inhibición de la producción de especies reactivas de oxígeno, como los aniones súper oxido (O_2^-), radicales hidroxilo (OH) y otros radicales como los DPPH, peroxinitrito ($ONOO^-$) entre otros (Guevara, 2009). Dib *et al.*, (2013) describen que, los cladodios de *O. ficus indica*, son una fuente prometedora de antioxidantes naturales, los cuales pueden actuar como un agente quimiopreventivo que brinda propiedades antioxidantes, ofreciendo con ello una protección efectiva contra los radicales libres. Filanino *et al.*, (2016) reportan que los metabolitos de los flavonoides presentes en los cladodios de nopal, actúan a múltiples niveles, a través de la inhibición de las vías IL – 8 Y $TFN\alpha$, disminuyendo la producción de radicales libres. Por ello, se requiere investigar el efecto de la adición de nopal (al 1% con base al peso vivo del verraco) a la dieta de verracos sobre la calidad seminal en época de verano.

2. HIPÓTESIS

La adición de nopal (*O. ficus indica*) al 1% (con base al peso vivo del verraco) en la dieta de verracos mejora los parámetros macro y microscópicos que determinan la calidad del semen porcino.

3. OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto de la adición de nopal (*O. ficus indica*) al 1% (con base al peso vivo del verraco) a la dieta de verracos sobre la calidad seminal en época de verano - otoño.

5.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar el efecto de la adición de nopal a la dieta de los verracos sobre las características macroscópicas que determinan la calidad del semen porcino.
2. Establecer el efecto de la adición de nopal a la dieta de los verracos sobre las características microscópicas que determinan la calidad del semen porcino.
3. Comparar calidad seminal en época de verano - otoño de sementales alimentados con una dieta adicionada con nopal (*O. ficus-indica*) vs dieta convencional

4. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Locación

El presente trabajo se llevó a cabo durante los meses de mayo a octubre de 2018, en el sector de cerdos perteneciente a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, ubicado en el Municipio de Tarimbaro, Michoacán, a la altura del km. 9.5 de la carretera Morelia – Zinapecuaro situada a 1,860 msnm, a 19° 40' 0" norte y 102° 9' 30" oeste, cuyas características climatológicas son: temperatura mínima de 25°C y máxima de 26,1°C; precipitación pluvial 609,0 mm; con heladas en diciembre y febrero (INEGI, 2010).

6.2 Animales

Se utilizaron tres sementales de raza: Pietrain (39 meses de edad y un peso de 268 kilogramos) y dos híbridos (Landrace/ Yorkshire/ Pietrain); uno con una edad de 36 meses y un peso de 252 kilogramos y otro de 13 meses y con un peso de 264 kilogramos. Cada semental se alojó en un corral de 2.0 m x 6.0 m, con comedero de concreto y bebedero automático tipo chupón. Los tres machos fueron monitoreados durante la época de verano y parte de la época otoño.

6.3 Dietas y análisis bromatológico de las dietas

Los verracos fueron sometidos específicamente a dos dietas: una dieta convencional para sementales (Tratamiento A) y una dieta convencional adicionada con 1% de nopal (*O. ficus-indica*) (Tratamiento B), porcentaje establecido con base en el peso vivo del semental al momento de que inicie el suministro de dicha dieta (Tabla 1).

Al iniciar la fase experimental se asignó a cada semental de forma aleatoria el tipo de dieta correspondiente (Tratamiento A o Tratamiento B), cada dieta se suministró durante 50 días consecutivos. Terminado este periodo, se dio una semana de descanso y después cada semental cambió de dieta.

Los sementales fueron alimentados diariamente con la dieta correspondiente (Tabla 1) de la cual se proporcionarán 3.0 kilogramos semental⁻¹ día⁻¹, misma que se dividió en dos porciones: la primera, se proporcionará a las 8:00 h y la segunda, a las 13:00 h. La adición del 1% de *O. ficus-indica* a la dieta del tratamiento B se realizará una vez al día a las 8:00 h durante los 50 días de evaluación. Posteriormente, al terminar dicho tratamiento se suspenderá el tratamiento por 7 días antes de cambiar al siguiente tratamiento.

Tabla 1. Insumos y análisis bromatológico del alimento para sementales*

Ingredientes	Sementales
	Contenido (g./kg)
Sorgo	824
Pasta de soja	60
Pasta de canola	61.5
Aceite de soja	22
Sal	4
Ortofosfato	11.8
Carbonato de calcio	14
Lisina	1.2
Vitaminas y minerales	2
Análisis bromatológico	Alimento*& para sementales (G. Testigo y Experimental)
Humedad %	9.5
Cenizas %	5.6
Fibra %	3.5
Proteína Cruda %	12.5
Grasa %	4.8
Energía metabolizable, MJ/kd ^d	9.6

*Elaborado en el Sector de Alimentos perteneciente a la FMVZ-UMSNH con base a 16% de proteína cruda (PC); &= alimento en forma de harina.

Los cladodios de nopal *O. ficus-indica* (especie que carece de espinas) fueron recolectados de la parcela de la Posta Zootécnica de la FMVZ-UMSNH. Estos cladodios pertenecían al tercer nivel (del suelo hacia arriba) (Santos *et al.* 1990, citados por la FAO, 2003) y poseían una edad aproximada de 90 días. Las características morfológicas y bromatológicas de dichos cladodios se presentan en la Tabla 3. Una vez recolectados los cladodios, no se sometieron a proceso de lavado o de desinfección, únicamente se procedió a picarlos en trozos de 3x3 cm² e inmediatamente después, se suministró la cantidad semental⁻¹ dieta⁻¹ correspondiente, previo retiro del alimento sobrante del día anterior. El alimento sobrante se pesó en una báscula digital (Dibatec®; capacidad de 40 kg y precisión de ± 5g), para así obtener el consumo voluntario de alimento del semental⁻¹ dieta⁻¹.

Tabla 2. Características morfológicas y bromatológicas de los cladodios de *O. ficus-indica* del tercer nivel

Variable	Promedio	D.E.+
Largo del cladodio (cm)	46.9	4.7
Ancho del cladodio (cm)	15.5	2.6
Peso fresco (kg)	1.1	0.3
Humedad (%) [*]	88.9	3.3
Cenizas (%) ^{&}	26.5	2.5
Fibra (%) ^{&}	32.9	1.2
Proteína cruda (%) ^{&}	5.2	0.8
Grasa (%) ^{&}	0.5	0.08
E.L.N. (%) ^{&}	34.6	2.6

+Desviación estándar; * Se determinó en base fresca; & Se determinó en base seca.

6.4 Parámetros macro y microscópicos del semen de cerdo

Se evaluó en cada semental: el peso vivo (PV), la producción y calidad seminal: volumen (VL), color (CO), olor (CL), pH, motilidad masal (MM) y progresiva (MP), integridad de membrana (IM), anormalidades (AN), concentración espermática (CE).

El peso vivo del semental (kg) se estimó pesando cada uno de los sementales a las 8:00 h el día de inicio de cada tratamiento, con ayuda de una báscula mecánica marca ANPESA® con capacidad de 1000 kg y precisión de ± 1.0 kg. Con respecto a la temperatura (°C) escrotal, esta se tomó al momento de la colecta del semen con un termómetro laser GB®; apuntando el laser del termómetro a una distancia de 15 cm hacia el escroto. En cuanto a la temperatura (°C) corporal del semental, se tomó al momento de la colecta colocando un termómetro digital IUMED® en el recto durante un minuto.

6.5 Volumen, color, olor y pH del semen porcino

La colecta del semen se realizó mediante el método de mano enguantada (guante de polietileno desechable AMBIDERM®) y el semen se depositó en un termo IMV technologies®, con capacidad de 500 ml, mismo que se le colocó un filtro MINITUBE®; para filtrar la fracción rica en espermatozoides de la fracción gelatinosa del semen cerdo⁻¹ colecta⁻¹. El eyaculado se evaluó inmediatamente después de la colecta, para lo cual se vertió el semen en un vaso de precipitado graduado con capacidad de 1000 mL, para determinar el volumen del eyaculado. Posteriormente, se evaluó el color de acuerdo a su tonalidad (blanco cristalino, blanco lechoso, amarillento o marrón). El olor en el eyaculado se evaluó de acuerdo a el olor característico, orina o putrefacto. El pH, se determinó a través de tiras reactiva de pH MN®.

6.6 Motilidad masal y progresiva

La motilidad masal y motilidad progresiva se evaluó colocando una gota de semen con una pipeta Clinipet® en un portaobjetos Velab® atemperado a 37 °C, mismo que se observó a un objetivo de 10x, esta se evaluó asignando valores de 0 – 5 de acuerdo a la velocidad en el

movimiento de los espermatozoides en masa, posteriormente se colocó un cubre objetos Velab[®] sobre la gota de semen y se observó con objetivo de 40x para evaluar la motilidad progresiva, asignando valores de 0 a 90% de acuerdo a los movimientos progresivos individuales de los espermatozoides, para ambas evaluaciones se utilizó un microscopio Velab[®] con un objetivo de 4x – 100x.

6.7 Integridad de membrana y anormalidades del espermatozoide

Para la evaluación de integridad de membrana y anormalidades del espermatozoide, se colocó una gota (pipeta CLINIPET[®]) de semen en un porta objetos y se realizó una tinción con eosina-nigrosina para evaluar el porcentaje de integridad de membrana (tomando como espermatozoides de membrana integra (vivos) los espermatozoides no teñidos) y el porcentaje de anormalidades a través del conteo de 200 células espermáticas, a un objetivo de 40x. Para determinar la concentración espermática, se colocó una gota de semen en un portaobjetos y se hizo una dilución de 0.5:100 (semen: agua potable) en una pipeta diluidora de toma MARIENFELD[®], posteriormente se colocaron dos gotas de la dilución en una cámara de Neubauer MARIENFELD[®] para calcular la concentración espermática con objetivo de 40x. La evaluación macro y microscópica se realizaron de acuerdo a la metodología descrita por Toro (2009).

Con la información recabada se elaboró una base de datos electrónica (hoja de Excel) para su análisis estadístico a través del software para procesamiento de datos SAS (2000). El cual se realizó la metodología de los modelos de efectos mixtos (MIXED) con el semental como efecto aleatorio (RANDOM). Este método considera la estructura de la covarianza debida a la naturaleza secuencial de los datos en cada animal y las tendencias de los

tratamientos al estimar y comparar los efectos medios. El modelo utilizando será el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + T_{xi} + D_j + \beta_1 X_l + (T_x * D)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Variable respuesta: VL, MM, MP, IM, AN y CE.

μ = Promedio general.

T_{xi} = Efecto fijo del i -ésimo Tratamiento con i = Dieta A y Dieta B.

D_j = Efecto fijo del j -ésimo día con j = Día 0, 10, 20, 30, 40 y 50 del ciclo espermato génico.

X_l = Efecto lineal de Temperatura (°C) ambiental

$(T_x * D)_{ij}$ = Interacción del Efecto aleatorio del i -ésimo tratamiento con el j -ésimo día

ε_{ijk} = Error aleatorio asociado a cada observación ($\sim NID=0, \sigma^2_e$).

Las diferencias entre tratamientos se obtendrán mediante el método de medias de mínimos cuadrados (LsMeans, siglas en inglés) a un $\alpha = 0.05$. (SAS, 2000)

5. RESULTADOS

De acuerdo con los resultados de indicadores de producción y calidad seminal, se encontró efecto de tratamiento sobre volumen de eyaculado ($P=0.0007$), motilidad masal ($P<.0001$), motilidad progresiva ($P<.0001$), concentración espermática ($P<.0001$) y anormalidades ($P=0.0310$) (Tabla 3). No obstante, no se encontró efecto de tratamiento para integridad de membrana ($P=0.9087$) (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis de varianza para las variables de producción y calidad seminal

FV	GL	Cuadrados medios					
		VOL	MM	MP	CE	IM	AN
Trat	1	44814.40**	5.63**	444.19**	0.28**	0.12 ^{NS}	178.25*
Sem	5	4332.20 ^{NS}	0.36*	40.77*	0.13*	120.74**	248.54**
Tra*Sem	5	9989.64*	0.14 ^{NS}	8.12 ^{NS}	0.08*	66.42**	7.12 ^{NS}
Error		3667.30	0.16	13.56	0.02	36.39	36.95
Promedio		189.4±60.5	4.6±0.4	86.7±3.7	8.4±0.2	77.2±6.0	15.9±7.0
R ²		0.28	0.40	0.39	0.40	0.51	0.28

VOL=volumen; MM=motilidad masal; MP=motilidad progresiva; CE=concentración espermática; IM=integridad de membrana; AN=anormalidades; FV=factor de variación; GL=grados de libertad; Trat=tratamiento; Sem=semana; **= Altamente significativo ($P<0.001$); *=significativo ($P<0.05$); ^{NS}=no significativo ($P>0.05$).

El volumen de eyaculado fue mayor ($P<0.05$) en los verracos que consumieron *O ficus-indica*: 52.0 mL más eyaculado⁻¹ (Tabla 4). Con respecto a motilidad masal y motilidad progresiva los verracos que consumieron *O ficus-indica* presentaron mejor comportamiento, puesto que, los indicadores fueron superiores ($P<0.05$) en: 0.5 (de acuerdo con la escala de medición: 0-5) para motilidad masal, mientras que la motilidad progresiva fue superior ($P<0.05$) en 4.7% con respecto al control (Tabla 4). La concentración espermática fue mayor ($P<0.05$) en los eyaculados provenientes de verracos que consumieron *O ficus-indica*: 22.5% o 76.8 x 10⁶ células espermáticas mL⁻¹ con respecto al

control (Tabla 4). Las anomalías fueron menores (2.8% menos mortalidad) en el grupo que consumió *O ficus-indica* (Tabla 4).

Tabla 4. Medias de mínimos cuadrados para indicadores de producción y calidad seminal de acuerdo con el tratamiento

Indicador	Control	<i>Opuntia ficus-indica</i>
Volumen de eyaculado, mL	165.3 ^a ±63.6	217.3 ^b ±67.8
Motilidad masal, escala 0-5	4.4 ^a ±0.49	4.9 ^b ±0.25
Motilidad progresiva, %	85.0 ^a ±4.9	89.7 ^b ±1.2
Concentración, 1x10 ⁶ CE mL ⁻¹	263.9 ^a ±11.2	340.7 ^b ±13.0
Integridad de membrana, %	77.2 ^a ±6.5	77.1 ^a ±7.5
Anormalidades, %	17.3 ^a ±7.4	14.5 ^b ±5.9

CE=células espermáticas.

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

De acuerdo con el efecto (P=0.0247) de la interacción tratamiento por periodo de evaluación para el volumen del eyaculado, se encontró que los verracos que consumieron *O. ficus-indica* presentaron mayor (P<0.05) volumen a partir de la tercera colecta (día 30 post inicio de tratamiento) con respecto al control (Figura 1).

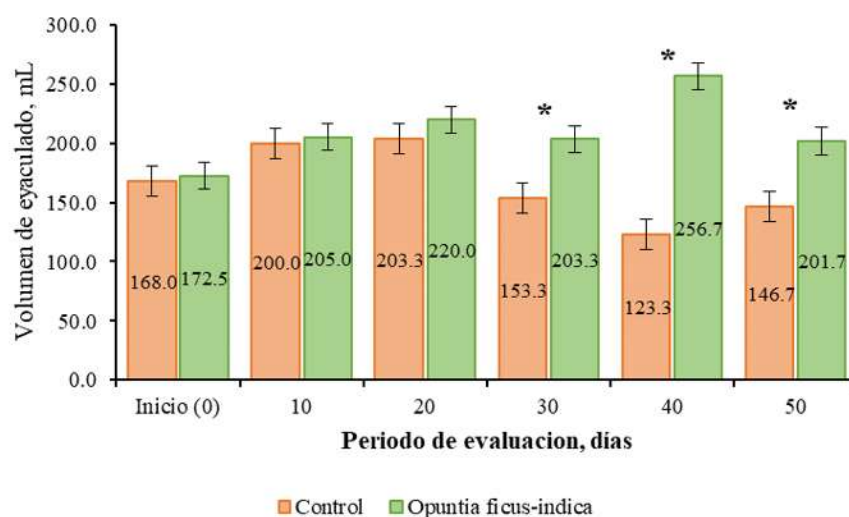


Figura 1. Medias de mínimos cuadrados para el volumen de eyaculado de acuerdo con el tratamiento y días de evaluación. *Indica diferencia estadística (P<0.05) entre tratamientos dentro de periodo de evaluación.

Los estimadores de regresión para volumen de eyaculado mostraron comportamiento lineal en ambos tratamientos (Tabla 5). No obstante, el control presentó decremento ($P=0.0115$) en el volumen de eyaculado de 13.2 mL por eyaculado, mientras que, los verracos que consumieron *O. ficus-indica* presentaron una tendencia en incremento de 6.2 mL por eyaculado (Tabla 4), lo cual se reflejó en el promedio (del 3^{er} a 5^{to} eyaculado) del volumen de eyaculado: 220.6 vs 141.1 mL para verracos que consumieron *O. ficus-indica* y control, respectivamente.

Tabla 5. Estimadores de regresión para indicadores de producción y calidad seminal de acuerdo con el tratamiento: estimador (P-valor)

Indicador	Trat.	Intercepto β_0 (Pr > t)	β_1 (Pr > t)	β_2 (Pr > t)
Volumen de eyaculado, mL	Control	201.10 (<.0001)	-13.15 (0.0115)	--
	OFI	196.57 (<.0001)	6.21 (0.3034)	--
Motilidad Masal, escala 0-5	Control	4.45 (<.0001)	-0.03 (0.5612)	--
	OFI	4.79 (<.0001)	0.04 (0.1615)	--
Motilidad Progresiva, %	Control	84.79 (<.0001)	-0.03 (0.9367)	--
	OFI	88.13 (<.0001)	0.42 (0.0409)	--
Concentración, 1×10^6 células espermáticas mL ⁻¹	Control	321.01 (<.0001)	-7.10 (0.3870)	--
	OFI	334.51 (<.0001)	2.23 (0.8532)	--
Integridad de membrana, %	Control	81.39 (<.0001)	-1.40 (0.0014)	--
	OFI	80.72 (<.0001)	-1.09 (0.0542)	--
Anormalidades, %	Control	5.63(0.0010)	7.45(<.0001)	-1.07(<.0001)
	OFI	4.36(0.0377)	7.10(0.0002)	-0.98(0.0026)

OFI=*Opuntia ficus-indica*.

La interacción tratamiento por periodo de evaluación no mostró efecto sobre motilidad masal ($P=0.4880$) ni tampoco sobre motilidad progresiva ($P=7008$). Con respecto a los promedios de motilidad masal, en el control, se encontraron en un rango de 4.2 a 4.7; mientras que, el rango de motilidad masal de los verracos que consumieron *O. ficus-indica* estuvo entre 4.5 y 5.0 (Figura 2). La motilidad progresiva se encontró en un rango de 82.0 a 86.7% en el control y en el experimental entre 85 y 90% (Figura 2).

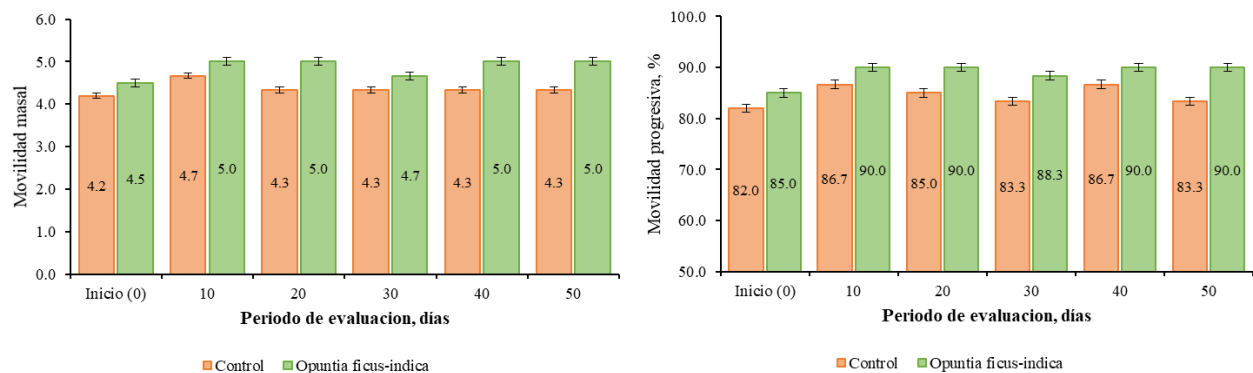


Figura 2. Medias de mínimos cuadrados para la motilidad masal y motilidad progresiva de acuerdo con el tratamiento y días de evaluación.

Los estimadores de regresión para dichos indicadores (motilidad masal y progresiva) mostraron comportamiento lineal (Tabla 5). Los verracos que consumieron *O. ficus-indica* presentaron un incremento de 0.04 de motilidad masal por periodo de evaluación, mientras que los valores de motilidad masal presentaron descenso de 0.03 por periodo de evaluación (Tabla 4). En cuanto a la motilidad progresiva el control presentó valores constantes ($\beta_1 = -0.03$; $P = 0.9367$) por periodo de evaluación, mientras que el experimental se observó incremento de 0.42% por periodo de evaluación (Tabla 5).

El efecto ($P = 0.0118$) de la interacción tratamiento por periodo de evaluación para la concentración espermática (Figura 3) mostró que a partir de la tercera evaluación (día 30 post-tratamiento) los verracos que consumieron *O. ficus-indica* mostraron mayor concentración espermática ($P < 0.05$): 136.4, 141.3 y 129.0 x 10⁶ células espermáticas/mL más en el 3^{er} 4^{to} y 5^{to} eyaculado, respectivamente; con respecto al control (Figura 3).

Los estimadores de regresión (Tabla 5) para concentración espermática de acuerdo con el periodo de evaluación solo mostraron tendencia de incremento en los verracos que consumieron *O. ficus-indica* ($\beta_1=2.23 \times 10^6$), mientras que en el control la tendencia fue de decremento con forme transcurría el periodo de evaluación: $\beta_1=-7.10 \times 10^6$ (Tabla 5).

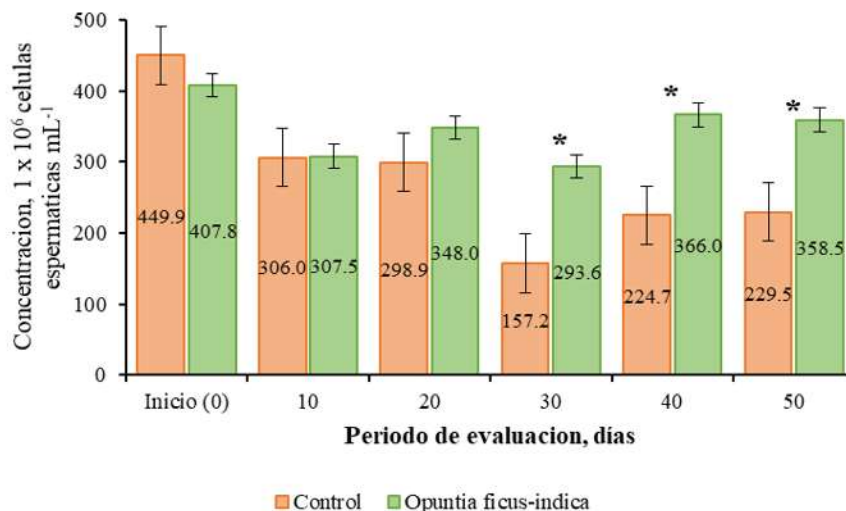
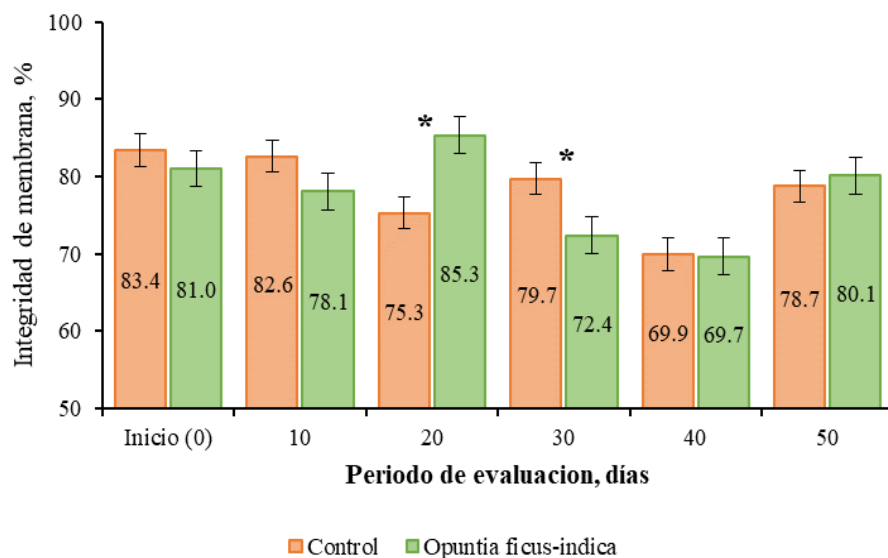


Figura 3. Medias de mínimos cuadrados para la concentración espermática de acuerdo con el tratamiento y días de evaluación. *Indica diferencia estadística ($P<0.05$) entre tratamientos dentro de periodo de evaluación.

La interacción tratamiento por periodo de evaluación también mostró efecto ($P<.0001$) sobre la integridad de membrana (Figura 4). Con respecto a los promedios, no se encontró tendencia de incremento o decremento con forme transcurría el periodo de evaluación, la diferencias ($P<0.05$) entre tratamiento únicamente se presentaron en la 2^{da} y 3^{era} evaluación, presentando los eyaculados de los verracos que consumieron *O. ficus-indica* mejor integridad de membrana (10.1% mejor) durante la 2^{da} evaluación, mientras que el control presento mejor integridad de membrana en la 3^{era} evaluación: 7.3% mejor (Figura 4).



*Indica diferencia estadística ($P < 0.05$) entre tratamientos dentro de periodo de evaluación

Figura 4. Medias de mínimos cuadrados para la integridad de membrana de acuerdo con el tratamiento y días de evaluación.

Los estimadores de regresión para integridad de membrana mostraron decremento en dicho indicador con forme transcurrió la fase experimental en ambos tratamientos (Tabla 5). No obstante, los verracos que consumieron *O. ficus-indica* presentaron menor β_1 (09; $P=0.0014$) con respecto al control ($\beta_1 = -1.40$; $P=0.0542$).

La interacción tratamiento por periodo de evaluación no afectó ($P=0.9577$) el porcentaje de anormalidades espermáticas (Figura 5). El rango en el que se encontró el porcentaje de anormalidades espermáticas estuvo entre 8.2 a 20.9% y 7.4 a 18.3% para tratamiento control y experimental, respectivamente (Figura 5). No obstante, del día 30 a 40 (3^{er} y 4^{to} eyaculado) post-tratamiento fueron los que presentaron mayor porcentaje de anormalidades en ambos tratamientos para posteriormente descender (Figura 5) Dicho comportamiento mostró distribución cuadrática en ambos tratamientos (Cuadro 4).

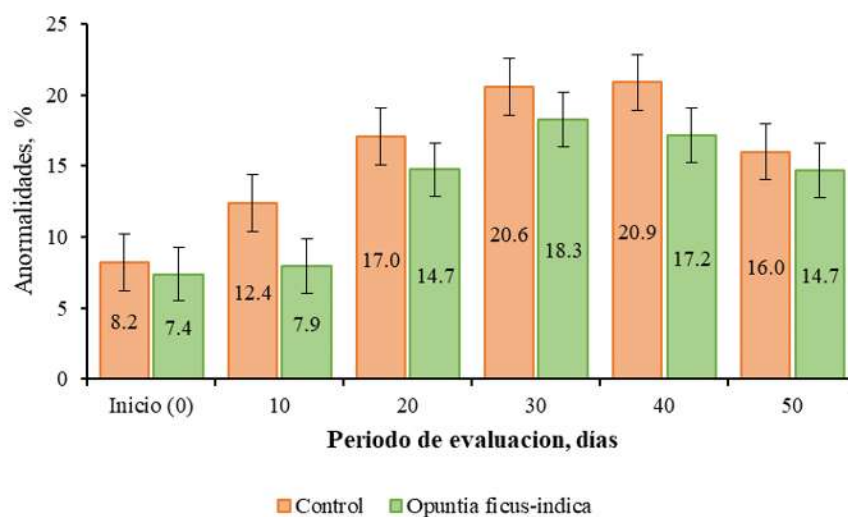


Figura 5. Medias de mínimos cuadrados para las anormalidades de acuerdo con el tratamiento y días de evaluación.

6. DISCUSIÓN

Entre las limitantes que no han sido resueltas y que afectan la productividad de los sistemas de producción porcina se encuentra la conservación de semen, lo cual ha ocasionado que actualmente más del 80% del semen que se comercializa sea el denominado semen fresco (Cuenca y Avellaneda, 2017), esta vertiente de comercialización de la industria porcina ha originado no solo incremento en la investigación para la congelación del semen porcino, sino además, ha recurrido a mejorar los procedimientos para la obtención de semen y de esta manera garantizar mayor viabilidad y tiempo de vida de las células espermáticas (Torres *et al*, 2015).

Dentro de las investigaciones (Penny *et al.*, 2000; Marchesi y Cesarini, 2012; Quiles, 2015) se ha reportado que a través de la alimentación se puede modular el volumen y calidad del eyaculado. Por ejemplo, Ignasi (2011) señala que alimentos enriquecidos con vitamina E, vitamina C y selenio, así como la adición de polifenoles naturales a la dieta, ayudan al mantenimiento de la integridad de la membrana espermática. Por su parte, Xia *et al*, (2012), al investigar los efectos de la suplementación con antioxidantes en la calidad del flujo de los espermatozoides de cerdo, encontraron que el ácido ascórbico-2-glucósido (AA-2G) en el proceso de clasificación sexual a una concentración de AA-2G de 0.068 mg mL⁻¹, incrementa las características de motilidad del espermatozoide ($P < 0.05$). Ello se pudo corroborar en la presente investigación, en la cual los verracos que consumieron *O. ficus-indica* presentaron mejor comportamiento en el volumen y calidad del eyaculado con respecto al control (Tabla 4).

Sin embargo, una de las debilidades de mayor importancia del semen de cerdo, es la gran susceptibilidad a las especies reactivas de oxígeno (Córdova 2009), debido a su alta

proporción de ácidos grasos polinsaturados de cadena larga fácilmente oxidables, obligándolo de esta manera al requerimiento de una defensa antioxidante eficaz (Hernández *et al.*, 2015). Es por ello, la importancia que representa la adición de suplementos alimenticios a la dieta de sementales, que le otorguen la capacidad de optimizar su mecanismo enzimático-antioxidante natural (Súper oxido dismutasa, Catalasa y Glutación peroxidasa) así como el aporte directo de antioxidantes naturales (Vitamina C y E, Flavonoides, Polifenoles, etc. (Córdova 2009).

De acuerdo a lo mencionado en el párrafo anterior, Dib *et al.* (2013), establecieron que los cladodios de *O. ficus-indica* son una fuente importante de antioxidantes naturales (Flavonoides, Polifenoles, vitamina C y E). Los cuales de manera sinérgica ofrecen una protección efectiva al espermatozoide en su desarrollo, al absorber y neutralizar radicales libres y participar en la descomposición de peróxido, asegurando de esta manera una mayor vitalidad y tiempo de vida de las células espermáticas (Porrás y López 2009; Aguirre *et al.*, 2013; Marin *et al.*, 2000; Techakumphu *et al.*, 2013; Ahmadi *et al.*, 2016; Ignasi 2011). Pese a esto, no se descarta en esta investigación que, los resultados también hayan sido afectados por los minerales presentes en *O. ficus-indica* (Fe, Zn, Mg, Ca, Cu, K) (Villela *et al.*, 2014; Chiteva y Wairagu, 2013; Filanino *et al.*, 2016), considerados como nutrientes de vital importancia en la producción y calidad espermática de los sementales porcinos (Quiles, 2008; Caraballo *et al.*, 2017).

En cuanto al volumen del eyaculado, se ha reportado (Caraballo *et al.*, 2017) que, la adición (30 g día⁻¹ por animal) de macrominerales (Se, Zn, Cu, Mn, Fe) a la dieta de verracos incrementa el volumen del eyaculado (139.5 vs 234 mL) sin alterar su calidad. Armas y Báez (2018), reportan que la suplementación de una dosis de un complejo mineral (Cu, Se,

Zn, Fe, Mg) de origen orgánico en la dieta de verracos incrementa el volumen de eyaculado: 248.86 vs 218.90 mL con respecto a la suplementación de una dosis de un complejo mineral (Cu, Se, Zn, Fe, Mg) de origen inorgánico. Así mismo, Horký *et al.* (2011) al evaluar la adición orgánica e inorgánica de zinc sobre el volumen de eyaculado reportan que, la forma orgánica del zinc (Zn-metionina) afectó en mayor grado el volumen del eyaculado al incrementar en 39.5% el volumen con respecto a la adición inorgánica de zinc (289.5 ± 81.3 vs 207.5 ± 66.6 mL).

De acuerdo con los resultados de las investigaciones y previamente descritos, se pueden asociar porque los verracos que consumieron *O. ficus-indica* presentaron mayor volumen de eyaculado (Tabla 4 y Figura 1): ello posiblemente se debió a que esta cactácea contiene una concentración de zinc de 8.64 mg/100 g de materia seca (Villela *et al.*, 2014), por lo tanto, de acuerdo con el consumo de *O. ficus-indica* que presentaron los verracos (324 g en base seca) el consumo de zinc estimado fue de 27.9 mg/día, lo cual da un consumo total de zinc diario de 427.9 mg vs 400 mg de zinc /día en el grupo control.

Desde el punto de vista fisiológico el zinc en el sistema reproductivo del macho participa en el funcionamiento normal de testículos, próstata y epidídimo (García *et al.*, 2012). Se ha reportado en ovinos que el zinc estimula el crecimiento y desarrollo de órganos reproductores primarios secundarios y accesorios entre los que se destacan testículos y próstata (Rodríguez *et al.*, 2016), por lo tanto, se podría estipular que el mayor volumen del eyaculado (Tabla 4) en los verracos que consumieron *O. ficus-indica* se asocie a este efecto que tiene el consumo de zinc sobre órganos reproductores.

No obstante, es fundamental la biodisponibilidad para que el zinc pueda ejercer su acción y ello se debe: *i)* el zinc se absorbe de acuerdo con las necesidades del animal, *ii)* en el

intestino el fitato forma junto con el zinc complejos no absorbibles y, *iii*) el grado de interacción del fitato con el zinc depende del nivel de calcio de la ración. Este último punto es importante en la presente investigación, puesto que el mineral que en mayor concentración se encuentra en *O. ficus-indica* es el calcio (316.6 mg/100 g de base seca) (Chiteva y Wairagu, 2013). Aspecto que se puede corroborar con lo reportado por Quiles (2008) quien establece que el zinc presente en los cereales tiene una biodisponibilidad baja para los cerdos (60%), siendo más alta en los concentrados proteicos vegetales (75-85%).

Además, la fibra soluble de *O. ficus-indica* aporta el mayor contenido de calcio (18.99 mg/g, base seca) con respecto a la fibra insoluble (13.0 mg/g, base seca) y su biodisponibilidad es mayor, puesto que su relación molar ($[\text{oxalato}]/[\text{Ca}^{2+}]$) está por debajo del nivel crítico (1.0) (Zenteno *et al.*, 2015).

Con respecto a la concentración espermática (Tabla 3), la mejoría mostrada en el semen de los verracos que consumieron *O. ficus indica*, también pudieron estar influenciados por el consumo y biodisponibilidad de zinc que aporta *O. ficus indica*. Ello debido a que la producción de espermatozoides al transitar por varias divisiones celulares requiere grandes cantidades de zinc, ya que está involucrado en el metabolismo del ácido nucleico y de las proteínas; por lo tanto, es esencial en la diferenciación y replicación celular (Underwood, 1969).

Se ha reportado que en los túbulos seminíferos la activación y mantenimiento del epitelio germinativo codifica los factores de transcripción involucrados en la espermatogénesis a través de las enzimas sorbitol deshidrogenasa y lactato deshidrogenasa; metaloenzimas dependientes del zinc (Bedwal y Bahuguna, 1994; Wong *et al.*, 2002). Ello puede explicar

el incremento en el número de espermatozoides por eyaculado observados (Tabla 4) en el presente estudio en verracos que consumieron *O. ficus-indica*.

Con respecto a las anomalías en los eyaculados (Tabla 4), el menor porcentaje presente en el semen de los verracos que consumieron *O. ficus-indica* (Tabla 4, Figura 5) pudo estar en función del aporte de zinc, puesto que como ya se mencionó, los espermatozoides pasan por diversas divisiones celulares (Underwood, 1969), por lo que asegurar niveles y calidad (biodisponibilidad) del zinc en el organismo animal puede disminuir las anomalías espermáticas.

Las anomalías espermáticas se deben a fallas en la espermatogénesis (Barrio, 2002), relacionadas con los cambios cualitativos y cuantitativos del material nuclear y de los órganos de origen citoplasmático, así como por perturbaciones bioquímicas del plasma seminal; debido a procesos inflamatorios del testículo y de las glándulas sexuales accesorias; así como también al aumento o disminución de la temperatura en el testículo y por manipulaciones del semen durante su procesamiento (De Serrano *et al.*, 1989).

Loera (2016) señala que la concentración mineral de Zn encontrada en epidídimo va desde 50.7 75.4 ppm. Así mismo, Merrels *et al.* (2009) reportan que la longitud de la cola del espermatozoide se atrofia con la deficiencia de Zn, lo cual indica que este mineral está involucrado no solo en la promoción de la maduración de las células germinales del testículo en espermatozoides sino también en la maduración del espermatozoide en el epidídimo.

Shanmungam *et al.* (2015) al suplementar zinc y selenio ($100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Zn y $0.15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Se vs $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Zn y $0.35 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Se) y evaluar la calidad del semen post dilución, reportan que existen altas concentraciones de zinc almacenadas en la cola del espermatozoide.

durante la espermatogénesis, dichos autores deducen, que la concentración de zinc en la cola del espermatozoide está implicada en la utilización y control de energía por medio del ATP.

Así mismo, AL-ANI *et al*, (2015) reportan que es posible que la suplementación de zinc a la dieta mejore la vitalidad del espermatozoide, debido a que el zinc tiene un rol importante en la prevención de la degradación del espermatozoide y la estabilización de la membrana espermática en combinación con el papel que desempeña en como reductor de estrés oxidativo previniendo de esta manera un posible daño testicular. Lo cual se asocia con lo reportado por Kumar *et al*, (2006) quienes establecen que el zinc ayuda en la supervivencia y funcionamiento normal del espermatozoide debido a su efecto estabilizador de ribosomas, lisosomas, ADN y ARN.

En cuanto a el efecto de la dieta sobre la calidad del semen, de acuerdo con el periodo experimental, se encontró mayor efecto a partir del día 30 de iniciados los tratamientos; específicamente sobre: volumen de eyaculado, concentración espermática e integridad de membrana. Quiles (2015) reporta que el efecto del cambio de la dieta no se aprecia hasta los 42 días de comenzar la nueva dieta, debido a que la espermatogénesis es un proceso que dura entre 24 y 36 días y los espermatozoides necesitan entre 10 y 14 días para recorrer el epidídimo. Sin embargo, los resultados de las variables analizadas demostraron que la adición de *O. ficus-indica* mejoró de manera significativa la calidad de dichas variables en comparación con los resultados del grupo testigo.

7. CONCLUSIÓN

La adición de *O. ficus-indica* al 1% a la dieta de verracos, genera cambios en las características del semen, incrementando la producción y calidad espermática, dicho suceso se atribuye a la presencia de nutrientes esenciales (antioxidantes, minerales y vitaminas) presentes en *O. ficus-indica*. Por lo que, la dieta de verracos adicionada con *O. ficus-indica*, es una estrategia nutricional viable para mejorar no solo los parámetros macro y microscópicos del semen, sino además, puede considerarse como una herramienta para incrementar los porcentajes de fertilidad y tamaño de camada al nacimiento en los sistemas de producción porcina que tienen como rutina el servicio de cerdas en estro a través de la IA.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguirre, J., De la Garza, H., Zugasti, A., Belmares, R., Aguilar, N., (2013). *The optimization of phenolic compounds extraction from cactus pear (Opuntia ficus-indica) skin in a reflux system using response surface methodology*. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine. Elsevier. 2013; 3(6): 436-442.
2. Ahmadi, S., Bashiri, R., Ghadiri-Anari, A., Nadjarzadeh, A. (2016). *Antioxidant supplements and semen parameters: An evidence based review*. Int J Reprod BioMed Vol. 14. No. 12. Pág. 729-736.
3. ANPS. (2011). *Programa de mejora de las razas porcinas Duroc, Hampshire, Landrace, Large White y Pietrain*. Asociación Nacional de Criadores de Ganado Porcino Selecto, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio ambiente, España. Pág. 2-41.
4. Armijos, A. G., (2013). *Actividades antiinflamatorias del nopal y la tuna en el crecimiento de células endoteliales (HUVEC)*. Proyecto de grado. Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras. Pág. 1-29.
5. Arisnabarreta, E. R., Allende, R. A. (2017). *Manual de inseminación artificial en porcinos*. Pág. 27-36.
6. Barrio AD. (2002) Evaluación de la calidad y capacidad fecundante de espermatozoides de la cola del epidídimo de toros post-mortem. XI Congreso Venezolano de Producción e Industria Animal. 2002. [En línea] Disponible en: http://www.avpa.ula.ve/congresos/cd_xi_congreso/pdf/diegobarrios.PDF
7. Bathgate, R. (2011). *Antioxidant Mechanisms and their Benefit on Post-thaw Boar Sperm Quality*. Reproduction in Domestic Animals, 46, 23–25.
8. Bedwall RS, Bahuguna A. (1994) Zinc, copper and selenium in reproduction. Experientia. 1994; 50(7):625-640. [En línea] Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8033970>
9. Burga, A. R. (2014). *Comparación de la actividad antiinflamatoria del gel de cladodios de opuntia ficus-indica “tuna” versus indometacina en mus musculus balb/c*. Tesis de grado. Facultad de Medicina Humana. Universidad de San Martín de Porres. Perú. Pág. 1-89.
10. Campabadall, C. (2009). *Guía técnica para la alimentación de cerdos*. Colaboración de Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Fundación para el Fomento y Promoción de la Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria de Costa Rica (FITTACORI). Sistema Unificado de Información Institucional (SUNII). Programa de Investigación de Transferencia de Tecnología Agropecuaria en Cerdos (PITTA CERDOS). Costa Rica. P. 46.
11. Caraballo, L. A., Pérez, J., Chamorro, J., Patiño, R., Carrillo, D. (2017). *Evaluación del efecto de un suplemento mineral sobre la calidad seminal en cerdos reproductores*. Revista Colombiana de Ciencia Animal. 2017; 9; 76-84.

-
12. Carrasco, N. E. (2012). *Comprobación del efecto hipoglucemiante del extracto del fruto de la tuna (Opuntia ficus-indica) en ratones (Mos Musculus) con hiperglicemia inducida*. Tesis de Grado. Escuela Politécnica de Chimbarazo, Ecuador. Pág. 1-117.
 13. Carrión, D., Medel, P. (2001). *Interacción nutrición reproducción en ganado porcino*. XVII Curso de Especialización FEDNA. Pág. 2-43.
 14. Castañeda, M. de P. (2017). *México séptimo productor de pollo de engorda en el mundo*. DGCS-UNAM. [En línea] Disponible en línea: http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2017_461.html (7 de septiembre de 2018).
 15. Cavalleri, R., Sartori, J., Marjana, A. Bianchetti, P., Iñes, M., Miranda, E., Bustamante, I.C. (2018). *Essential oils rich in monoterpenes are unsuitable as additives to boar semen extender*. Andrologia. 2018; E13074.
 16. CDRSSA (2018). La porcicultura en México. Situación y perspectiva. Revista cámara. Pág. 2-7.
 17. Celma, R. (2015). "*Situación de la Industria Porcícola Mexicana*". Artículo publicado en Porcicultores y Su Entorno. Año 17 No. 106. JULIO-AGOSTO 2015. ISSN 2395-8545. PDF. Pag. 114-118.
 18. Chiteva, R., Wairagu, N. (2013). *Chemical and nutritional content of Opuntia ficus-indica (L.)*. African Journal of Biotechnology Vol. 12(21), pp. 3309-3312.
 19. Close, W.H. y Cole, D.J.A. (2000) *Nutrition of sows and boars*. Ed. Nottigham University Press. R.U.377pp.
 20. Córdova, A., Ruiz, C. G., Córdova, C. A., Córdova, M. S., Guerra, J. E., Rodríguez, B. E., Arancibia, K., (2009) Estrés oxidativo y antioxidantes en la conservación espermática. Revista Complutense de Ciencias Veterinarias. 2009.3 (1):01-38.
 21. Cuenca, M., Avellaneda, J. (2017). *Diluyentes utilizados en inseminación artificial porcina*. Revista Electronica Veterinaria. Vol, 18. No. 19. Pág. 1-11.
 22. De Serrano GL, Fuentes A, Valle A, Regueiro C. (1989) Estudio de las anomalías espermáticas de los verracos en relación con raza y época. Zootecnia Tropical.; 7(1-2):93-117. [En línea] Disponible en línea: http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/ZootecniaTropical/zt0712/texto/estudio.htm
 23. Dib, H., Beghdad, C., Belarbi, M. (2013). *Antioxidant activity of phenolic compounds of the cladodes of opuntia ficus-indica mill. From Northwest Algeria*. International Journal of Medicine and Pharmaceutical Sciences Vol. 3, 147-158.
 24. Donadeu, M. (2014). *Todo lo que siempre ha querido saber acerca del semen de un verraco*. El sitio porcino. [En línea] Disponible en: <http://www.elsitioporcino.com/articles/2515/todo-lo-que-siempre-ha-querido-saber-acerca-del-semen-de-un-verraco-1/>. (26 de septiembre de 2018).
 25. El-Mostafa, K., El Kharrassi, Y., Badreddine, A., Andreoletti, P., Vamecq, J., El Kebbaj, M., Latruffe, N., Lizard, G., Nasser, B., Cherkaoui-Malki, M. (2014).

-
- Nopal Cactus (Opuntia ficus-indica) as a Source of Bioactive Compounds for Nutrition, Health and Disease*. Molecules 2014, 19, 14879-14901.
26. Ek, J. E.; Segura, J.; Bastida, L. y Alzina, A., 2014. *Factores ambientales que afectan los componentes de producción y productividad durante la vida de las cerdas*. Tropical and subtropical Agroecosystems, 03 (17): 447- 462.
27. FAO (2003), El nopal (*Opuntia spp*) como forraje. [En línea] Disponible en línea: <http://www.fao.org/3/y2808s/y2808s00.htm>. (28 septiembre de 2018).
28. Fang, Q., Wang, J. Hao, Y.Y., Li, H., Hu, J.X., Yang, G.S., Hu, J.H. (2017). *Effects of iodine methionine on boar sperm quality during liquid storage at 17°C*. Reprod Dom Anim. 2017;00:1–6.
29. Fernández, J. A., Almela, L., Obón, J. M., Castellar, R. (2010). *Determination of Antioxidant Constituents in Cactus Pear Fruits*. Plant Foods for Human Nutrition, 65(3), 253–259.
30. Filanino, P., Cavoski, I., Thlien, N., Vincentini, O., De Angelis, M., Silano, M., Gobbetti, M., Di Cagno, R. (2016). *Lactic Acid Fermentation of Cactus Cladodes (Opuntia ficus-indica L.) Generates Flavonoid Derivatives with Antioxidant and Anti-Inflammatory Properties*. PLOS ONE 11(3):1-22.
31. FIRA (2015). *“Panorama Agroalimentario: Carne de Porcino”* Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. Aniversario de FIRA.
32. FIRA (2016). *“Panorama Agroalimentario: Carne de Porcino”* Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. Aniversario de FIRA.
33. FIRA (2017). *“Panorama Agroalimentario: Carne de Porcino”* Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. Aniversario de FIRA.
34. Font, M. (2002). *La Androstenona: Hormona responsable del mal olor de la carne*. 3tres3. [En línea] Disponible en: https://www.3tres3.com/articulos/la-androstenona-hormona-responsable-del-mal-olor-de-la-carne_212/ (30 de septiembre de 2018).
35. Galindez, D. A. (2018). *Efecto de la adición de nopal (Opuntia ficus-indica) a la dieta de cerdos para abasto (20-100 kg de peso vivo) sobre la morfometría e histología intestinal*. Tesis. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich. México. P. 97.
36. García, A. C., De Loera, Y. G., Yague, A. P., Guevara, J. A., García, C. (2012). *Alimentación practica del cerdo*. Revista complutense de ciencias veterinarias. 2012; 6(1): 21-50.
37. Gaytán S. B. (2017). *Efecto de la adición (Opuntia ficus indica) en la dieta de cerdos para abasto sobre el consumo de agua alimento, rendimiento de la canal y producción de gas metano (CH₄) en excretas*. Tesis. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich. México. P. 97.
38. Guachún, M. H. *Efecto del extracto del Aloe vera (Aloe barbadensis miller) en la congelabilidad del semen porcino*. Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Ecuador. Pág. 1-66.

-
39. Guevara, J. C. (2009). *Efectos biofuncionales del Nopal y la Tuna*. Revista Horticultura Internacional nr.71. 18-19.
40. Haile, K., Mehari, B., Atlabachew, M., Chandravanshi, B. S., (2016). *Phenolic composition and antioxidant activities of cladodes of the two varieties of cactus pear (Opuntia ficus-indica) grown on Ethiopia*. Chemical Society of Ethiopia. 2016. 30(3); 347-356.
41. Halimi, S., Benlaksira, B., Bechtarzi, K., Berouel, K., Serakta, M., Riachi, F., Djaalab, H., Maameri, Z., Djerrou, Z., Hamdi Pacha, Y. (2013). *Pharmacotoxicological study of Opuntia ficus indica L. aqueous extract in experimental animals*. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants. (2013). Vol. 3, No. 3, pp. 375-381
42. Haféz, E. S. E., Haféz, B. (2002). *Reproducción e inseminación Artificial en animales*. Séptima Edición. McGraw-Hill Interamericana. South Carolina, USA. Pág. 387-392.
43. Hernández, I., (2012). *Evaluación de la calidad espermática de sementales porcinos utilizados en la monta natural*. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Cuba. Pág. 1-76.
44. Hernández, J. L. D. y Alemán, R. (2008). *Efecto de la época del año en algunas características del eyaculado de diferentes genotipos porcinos*. Revista Electrónica Veterinaria. REDVET. Vol. IX. No. 11. Pág. 1-9.
45. Hernández, A., Hernández, A. K., Barrientos, M. Cervantes, P., Domínguez, B., Absalón, M. A., (2015). Actividad de las enzimas Súper Oxido Dismutasa (SOD) y Glutación Peroxidasa (GSH-Px) del plasma seminal del cerdo en Veracruz, México. Actas iberoamericanas de Conservación Animal. 6. (2015). Pág.: 98-111.
46. Horký, P., Janciková P., Zeman, L. (2011). *The influence of the organic and inorganic form of zinc on volume ejaculate, sperm – concentration and percentage of pathologic sperms*. Research in pig breeding. 2011. 5(1); 22-27.
47. Ignasi, R. (2011) *La alimentación del verraco*. [En línea] Disponible en línea: https://www.3tres3.com/articulos/la-alimentacion-del-verraco_30405/ (24 de Noviembre de 2018).
48. IIP. 2008. *Manual de Procedimientos Técnicos para la Crianza Porcina*. Instituto de Investigaciones PoGrcinas. Ediciones CIMA. La Habana.
49. INEGI (2010). *Anuario estadístico del estado de Michoacán*, Ed. 2009 Pág. 127-142.
50. INEGI (2018). Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. *Estadísticas de Sacrificio de Ganado en Rastros Municipales*. [En línea] Disponible en línea: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/tabulados/default.html?nc=100001318> (23 de septiembre de 2018)
51. Jabif, M. F. (2014). *Fallas reproductivas: Herramientas de diagnóstico y control*. Los Porcicultores y su Entorno, Septiembre-Octubre 2014. Pág.52-56.
-

-
52. Koeslag, J. H., Castellanos, F. (2016). *PORCINOS*. Manuales para educación agropecuaria. Primera edición. Ed. Trillas. México. Pág. 25-30.
53. Kubus, (2010). *Inseminación Artificial Porcina*. Manual práctico para profesionales Kubus, S.A., tercera edición, Madrid-España. Pág. 1-97.
54. Kumar, N., Verma, R. P., Singh, L. P., Varshney, V. P., Dass, R. S. (2006). *Effect of different levels and sources of zinc supplementation on quantitative and qualitative semen attributes and serum testosterone level in crossbred cattle (Bos indicus × Bos taurus) bulls*. Reproduction Nutrition Development. 46 (2006) 663–675.
55. Latorre, M. A., *La nutrición del verraco*. Rev. Alimentación animal. 50; Pág. 46-50.
56. Lechowski, J., (2009). *Effect of vitamin C on semen quality of duroc breed boars and their crossbreds with Hampshire and pietrain*. ANNALES. Universitates Marie Curie-Sklodowska Lublin-Polonia. Vol; XXVII. Pág. 13- 17.
57. Lemus, E. (2018). *Efecto de la adición de nopal (Opuntia ficus-indica) a la dieta de cerdas lactantes sobre el consumo de alimento y su relación con la productividad durante la lactancia y tamaño de la camada subsiguiente*. Tesis. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich. México. P. 1-63.
58. Li, H., Zhang, X.G., Fang, Q., Liu, Q., Du, R.R., Yang, G.S., Wang, L.Q., Hu, J.H. (2017). *Supplemental effect of different levels of taurine in Modena on boar semen quality during liquid preservation at 17°C*. Animal Science Journal:8pp.
59. Liu Q., Duan R.J, Zhou Y.F., Wei H.K., Peng J., Li J.L. (2017) *Supplementing oregano essential oil to boar diet with strengthened fish oil: Effects on semen antioxidant status and semen quality parameters*. Andrología. 2017;00:e12764.
60. Loera, Y. G. (2016). *Efecto de la fuente y nivel de zinc en el comportamiento productivo de machos no castrados (40-110 kg) y su relación con el comportamiento sexual*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Veterinaria. España. Pág. 13-18.
61. Lozoya, D. L., Castillo, S. L., Hernández, D. A., Rivas, C., Sánchez, E. (2012). *Evaluación de la actividad antimicrobiana, antiinflamatoria y antioxidante de subproductos de Opuntia ficus-indica y Mangifera indica*. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Vol. 3 (2018) 139-144
62. Kaur, M., Kaur, A., Sharma, R. (2012). *Pharmacological actions of opuntia ficus-indica a review*. Journal of Applied Pharmaceutical Science 02 (07); 2012: 15-18
63. Marin, G.J., Mahan, D.C., Whitmoyer R. 2000. *Effect of dietary selenium and vitamin E on the ultrastructure and ATP concentration of boar spermatozoa, and the efficacy of added sodium selenite in extended semen on sperm motility*. Journal of Animal Science. 6, 1544–1550.
64. Marchesi, M. G., Cesarini, F. (2012) *Effect of nutrition on boar semen quality*. IPVS. [En línea] Disponible en: https://www.pig333.com/swine_abstracts/effect-of-nutrition-on-boar-semen-quality_5966/ (08 de Octubre de 2018)

-
65. Martín, D. (2013). *Fisiología celular y calidad seminal durante la conservación del semen porcino refrigerado*. Tesis doctoral, Facultad de veterinaria, departamento de medicina animal, Universidad de Extremadura, España. Pág. 1-60.
66. Martínez, R. G. (1998). *Principales factores que afectan la reproducción en el cerdo*. Ciencia veterinaria 8 (1998), Departamento de producción animal: Cerdos. FMVZ-UNAM, México, D.F. Pág. 187-222.
67. Merrels, K. J., Blewet, H., Jamieson, J. A., Taylor, C. G., Suh, M. (2009). *Relationship between abnormal sperm morphology induced by dietary zinc deficiency and lipid composition in testes of growing rats*. British Journal of Nutrition (2009), 102, 226–232.
68. Montero, E. M., Martínez, R. G., Herradora, M. A., Ramírez G., Espinosa, S., Sánchez, M., Martínez, Roberto., (2015). *Alternativas para la producción porcina a pequeña escala*. Primera edición, Comité editorial FMVZ-UNAM, México. Pág. 17-35.
69. Morales, B.B. (2012). *Valoración de la Integridad de la Membrana Plasmática y Morfología del Espermatozoide Como Herramienta Para Determinar Calidad Seminal en el Cerdo Doméstico*. Universidad de Zulia, Facultad de Ciencias Veterinarias, Departamento Médico Quirúrgico, Maracaibo-Venezuela. Pág. 1-85.
70. Moreno, B. E. (2011). *Evaluación de la actividad anti-inflamatoria de flavonoides recuperados con un tratamiento alcalino presentes en Opuntia ficus indica variedad Jalpa*. Tesis de Maestría. Escuela de Biotecnología y Alimentos. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. México. 2011. Pág. 1-74.
71. Mozo, R. (2009). *Recomendaciones para inseminación post-cervical*. Av. Tecnol. Porc. VI (12). Pág 45-50.
72. Ortiz R. R.; Orozco G. A.; Val A. D.; Portillo M.L. y Pérez S. R. (2017). *Efecto de la adición de nopal (Opuntia ficus-indica) a la dieta de cerdas lactantes sobre la producción y calidad de la leche*. Nova Scientia. 9(18): 290-312.
73. Armas, J. G., Báez, W. G. (2018). *Efecto del uso de dos complejos minerales orgánico e inorgánico sobre desempeño y eficiencia reproductiva en cerdos reproductores*. Tesis de Maestría. Centro de posgrados maestría en nutrición y producción animal. Universidad de las Fuerzas Armadas. Ecuador. Pág. 1- 68.
74. Penny, P. C., Maldzian, A., Ceroline, S. (2000). *Potential role of lipids for the enhancement of boar fertility*. Pig News and information 21:119N-126N.
75. Pérez, F. C., Garcia, R., Martínez, M. A., Mora, J. S., Vaquera, H., González, A. *Efecto de las importaciones de carne de porcino en el mercado mexicano, 1961-2017*. Revista mexicana de ciencias pecuarias. 2010; 1 (2): 115-126.
76. Pereira, B. A., Rocha, L. G., Teles, M. C., Silva, W. E., Barbosa, J. A., Rabelo, S. S., Uchoa, A. S., Rodriguez, J. E., Pereira, L. J., Zangeronimo, M. G. (2019). *Addition of chlorogenic acid and caffeine during the processing of cooled boar semen*. Arq. Bras. Med. Vet. Zootec. 2019. Vol, 71, n2, pág. 489-499.
-

-
77. Porras, A. P., López, A., (2009). *Importancia de los grupos fenólicos en los alimentos*. Temas selectos de Ingeniería de alimentos. 3-1. 2009: 121-134.
78. PIC. (2016). Manual de especificación de nutrientes. Pág. 10-16.
79. PIC (2017). *Manual de manejo para centros de sementales de PIC*. Edición 2017. Pág. 2-12.
80. PIC. (2018). *Análisis de la industria porcina en Latinoamérica*. Edición 16. Pág. 10-31.
81. Quiles, A. (2006). *Efecto del zinc en la alimentación porcina*. Rev. Cría y Salud No. 3. Pág. 42-49.
82. Quiles, A. (2008). *La nutrición del verraco*. Rev. Cría y Salud No.17. Pág. 24-30.
83. Ramírez, M., García, M. C., Corrales, J., Ybarra, C., Castillo, A. M. (2015). *Compuestos antioxidantes en variedades pigmentadas de tuna (Opuntia sp.)*. Revista Fitotecnia Mexicana. 2015. Vol. 38 (4) 349 – 357.
84. Rebollar, A., Gómez, G., Hernández, J., Rebollar, S., González, F. G. *Comportamiento de la oferta y demanda regional de carne de cerdo en canal en México, 1994-2012*. Revista mexicana de ciencias pecuarias. 2014; 5 (4). 377-392.
85. Reveles, M., Flores, M. A. (2010). *El manejo del nopal forrajero en la producción del ganado bovino*. Revista salud pública y y nutrición, edición especial No. 5. 2010. Pág. 130-144.
86. Reyes, J. A., Aguirre, J. R., Hernández, H. M. (2005). *Notas sistemáticas y una descripción detallada de Opuntia ficus-indica (L.) MILL. (cactaceae)*. Agrociencia, vol. 39, núm. 4, 2005, pág. 395-408.
87. Riera, M., (2015). *Superoxide Dismutase: a therapeutic candidate for oxidative stress*. Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia Vol. 81, N° 1 (2015), pp. 25-36.
88. Riu V. I. (2011). *La alimentación del verraco*. 3tres3. [En línea] Disponible en línea: https://www.3tres3.com/articulos/la-alimentacion-del-verraco_30405/ (8 de Octubre de 2018)
89. Roche, A., Ubeda, J. L., Ausejo, R., Dahmani, Y. (2014). *Inseminación artificial porcina*. 1ª parte. Sitio Argentino de Producción Animal. Pág. 1-3.
90. Rodriguez, M., Romo, J., Ortiz, B., Barajas, R., Gaxiola, S., Romo, J. (2016). *Respuesta al consumo adicional de zinc orgánico en la calidad seminal de ovinos de pelo*. Abanico Veterinario, Editorial Sergio Martínez González. Artículo Original; 6 (3): 24-34
91. Sánchez, J. I., (2009). *Efecto de la quercetina y la rutina frente al daño oxidativo inducido en eritrocitos con distintos contenidos de colesterol*. Tesis doctoral. Departamento de Bioquímica y Biología Molecular. Universidad de Salamanca. España. Pág. 1-55.
92. SAS (2000). Statistical Analysis System. Institute Inc. North Caroline. USA.

-
93. Shamungam, M., Prakash, B., Kumar, E. P., Panda, A. K. (2015). *Dietary organic zinc and selenium supplementation improves semen quality and fertility in layer breeders*. Indian Journal of Animal Sciences 85 (2): 202–204.
94. Techakumphu, M., Buranaamnuy, K., Tantasuparuk, W., Am-in, N., (2013). *Improvement of Semen Quality by Feed Supplement and Semen Cryopreservation in Swine*. Rev. INTECH. Pág. 17-37.
95. Toro, A.I. (2009). *Espermograma*. Medicina & Laboratorio. Volumen 15, Números 3-4, 2009. Pág. 148-169.
96. Torrentes, R. A., Torrez, K. R., Vanegas, D., López, J., Guevara, L. (2013). *Manual de inseminación artificial porcina*. Universidad Nacional Agraria, Facultad de Ciencia Animal, Departamento de Veterinaria, Nicaragua. Pág. 1-87.
97. Torres P. R.; Morales C. D.; Ballinas C. M. y Nevárez M. G. (2015). *El nopal planta del semi desierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 6(5): 1129-1142.
98. Underwood EJ, Somers M. (1969) Studies of zinc nutrition in sheep: 1. the relation of zinc to growth, testicular development, and spermatogenesis in young rams. Australian Journal of Agricultural Research. 1969; 20(5):889-897. 10.1071/AR9690889
99. Vieites, C. M., (2011). *Producción porcina, fundamentos y enfoque sustentable para su desarrollo*. Primera edición, Tomo 1, Ed. Hemisferio sur, Buenos Aires, Argentina. Pág. 347-373.
100. Villela, D. G, Giovana, B. A, Damiao, B. C, Andrade, V. N. (2014). *Composicao bromatológica, mineral e factores antinutricionais da palma forrageira*. Tecnol. & Cien. Agropec. 2014;8(3):51–55.
101. Williams, S., Fernández, V., Gavazza, M., Marmunti, M., Zeinsteger, P., Prenna, G. (2015). *Congelación de semen porcino: resultados y avances en la técnica*. Analecta Vet 2015; 3 (1): 17-25.
102. Wong WY, Merkus HM, Thomas CM, Menkveld R, Zielhuis GA, Steegers-Theunissen RP. (2002) Effect of folic acid and zinc sulphate on male factor sub fertility, a double blind, randomized placed controlled trial. Fertility and Sterility . 2002; 77(3): 491-498. DOI: 10.1016/S0015-0282(01)03229-0
103. Yahia, E. M., Mondragon, C. (2011). *Nutritional components and antioxidant capacity of ten cultivars and lines of cactus pear fruit (Opuntia spp.)*. Food Research International, 44(7): 2311-2318.
104. Yattoo, m., Saxena, A., Kumar, P., Gugjo, M. B., Dimri, U., Sharma, M. C., Jhambh, R., (2013). *Evaluation of serum mineral status and hormone profile in goats and some of their inter-relations*. Veterinary World. 2013. 318-320.
105. Xia, C., Xia, W., Sheng, Y., Lei, A., Li, X., Wu, Z., Zhang, J., Wang, Z., Tian, J. (2012). *Effect of antioxidant supplementation on function and fertility of sex-sorted boar spermatozoa*. Animal Reproduction Science 136 (2012) 108– 114.

-
106. Zenteno, G., Juarez, B. I., Aguirre, J. R., Ortíz, M. D., Zamora, C., Rendón, J. A. (2015). Evaluación de azúcares y fibra soluble en el jugo de variantes de tunas (*Opuntia* spp.). *Agrociencia*, vol. 49, núm. 2, 2015, pp. 141-152.