UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

TESIS

"Efecto de la dieta para cerdas postparto adicionada con nopal (*Opuntia ficus-indica*) cocido al vapor sobre metabolitos energéticos y su relación con el consumo voluntario de alimento"

Que presenta:
PMVZ. Manuel Galván Aguilar

Para Obtener el Título de Médico Veterinario Zootecnista

Morelia, Michoacán, México, Octubre de 2021

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

(FMVZ-UMSNH)

Tesis

Efecto de la dieta para cerdas postparto adicionada con nopal (*Opuntia ficus-indica*) cocido al vapor sobre metabolitos energéticos y su relación con el consumo voluntario de alimento

Que presenta:

PMVZ. Manuel Galvan Aguilar

Para obtener el Título de Médico Veterinario Zootecnista

Asesor:

MC. Ruy Ortiz Rodríguez

Co- asesor

Dra. Rosa Elena Pérez Sánchez

Dedicatorias

A Dios por guiarme por el camino correcto, porque nunca me ha abandonado, por darme fortaleza y su mano de fidelidad en los días difíciles estando siempre conmigo hasta el día de hoy.

A mis padres Manuel Galvan y Ma. Dolores Aguilar quienes con su amor, paciencia y esfuerzo siempre me han apoyado incondicionalmente en la parte moral y económica permitiéndome forjar ese carácter y motivándome en todo momento para llegar a cumplir hoy un sueño más.

A mi hermano Esteban Galvan por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia, especialmente a mis tías Verónica, Lourdes y Alicia, porque con su ayuda económica, oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañaron en todo mi proceso para concluir con mi meta.

Agradecimiento

Primero y como más importante, agradezco sinceramente a mi director de tesis MC. Ruy Ortiz Rodríguez, por su esfuerzo y dedicación. Sus conocimientos, orientación y paciencia que fueron fundamentales para la realización de esta tesis. Usted ha inspirado en mi un sentido de seriedad, responsabilidad y rigor académico, ha sido capaz de ganarse mi apreciación y admiración.

A mi co-asesora la DR, Rosa Elena por las correcciones y observaciones que realizo durante mi proceso de tesis para que esta quedara bien.

A mis profesores por las enseñanzas brindadas a lo largo de estos 5 años que estuve en la licenciatura.

Gracias al Dr. Gerardo Ordaz Ochoa, por prestar las instalaciones de su trabajo para que este proyecto fuese llevado a acabo, además su gentileza, responsabilidad y paciencia para auxiliarme en la corrección mis errores.

A la MC. Jessica Tamara por su apoyo moral y económico durante la realización de la parte experimental del proyecto, además de siempre estar a la disposición de manera gentil para cualquier duda o necesidad académica.

A Paola de la Paz Ramírez Vázquez por sus enseñanzas dentro del ámbito porcicola a lo largo mis años de carrera.

A mi novia por apoyarme en todo momento durante y después de la elaboración de mi tesis.

Índice

1. Introducción 1
2. Antecedentes 7
2.1 La porcicultura en México 7
2.2 Productividad de la cerda 8
2.3 Principales problemas de la porcicultura en México 9
2.4 Hipofagia fisiológica lactacional en la cerda 13
2.5 Alternativas para el control de la hipofagia lactacional 15
2.6 Nopal como alternativa para el control de la hipofagia lactacional 16
2.7 Pruebas para determinar resistencia a la insulina 18
3. Planteamiento del Problema 19
4. Hipótesis 20
5. Objetivos 20
5.2 Objetivos particulares 21
6. Materiales y métodos 21
6.1 Animales y dietas 21
6.2 Toma de muestras sanguíneas 24
6.3 Análisis de metabolitos 25
6.4 Análisis estadístico 26
7. Resultados y discusión 27
8. Conclusión 45
9. Bibliografía. 46

Índice de tablas y figuras

Tabla 1. *Países con mayor cantidad de hembras reproductivas a nivel mundial. 8*

Tabla 2. *Medias de mínimos cuadrados de las variables fisco-químicas del nopal (O. ficus-indica) sometido a cocción a vapor a diferentes tiempos. 17*

Tabla 3. *Ingredientes y composición nutricional de las dietas 24*

Tabla 4. *Medias de mínimos cuadrados (± EE) para los valores promedio de glucosa sanguínea (GSp) y hemoglobina glicada (HbA1c) de acuerdo con el grupo y fase de producción de las cerdas 36*

Tabla 5. *Medias de mínimos cuadrados (± EE) para los valores promedio de hemoglobina glicada (HbA1c), glucosa sanguínea (GS) prepandial, triglicéridos (TG) e índice TyG de acuerdo con el grupo y fase 39*

Tabla 6. *Medias de mínimos cuadrados (± EE) para los valores promedio de consumo de alimento total* (kg cerda^{-1} día^{-1}) durante la fase de lactación de acuerdo con la clasificación del ITG (por glucosa derivada del IGH o glucosa en sangre), en el total de cerdas analizadas y por grupo..... 43*

Figura 1*. Dinámica de la glucosa plasmática prepandial de las cerdas que transitan por las fases de gestación al destete, independientemente de la ingesta o no del hipoglucemiante (O. ficus-indica) durante la fase de lactación..... 28*

Figura 2. *Dinámica de la glucosa plasmática prepandial de las cerdas que transitan por las fases de gestación al destete, de acuerdo con el efecto del hipoglucemiante (O. ficus-indica) durante la fase de lactación: Nopal en BF (G1); Nopal Cocido (G2); Sin nopal (G3). 34*

Figura 3. *Valores promedio del índice de triglicéridos y glucosa (TyG) de acuerdo con el método de obtención de glucosa: ® por glucómetro; * glucosa derivada de la HbA1c reportada por el laboratorio y & glucosa derivada del índice de glicación de hemoglobina (IGH)..... 38*

Figura 4. *Índice de triglicéridos y glucosa de acuerdo con el grupo (A) y la interacción grupo*tercil del HGI (B). LA glucosa utilizada para determinar el índice fue la derivada de la HbA1c del IGH. 39*

Figura 5. *Proporción de cerdas con resistencia a insulina de acuerdo con la clasificación del índice TyG (calculado con glucosa derivada de HbA1c [Figura A] o con niveles plasmáticos de glucosa [Figura B]), grupo y fase productiva. 41*

Abstract

The objective was to evaluate the effect of the diet for postpartum sows added with steamed cactus (*Opuntia ficus-indica*) on energy metabolites and their relationship with voluntary feed consumption. Eighteen randomly selected sows belonging to the genetic line were used for growth speed and leanness of the carcass, with 100 days of gestation; With the sows, three groups (G) of 6 group-1 sows were formed: G1 cactus BF, G2 Cooked cactus, G3 control or control; G1, sows received commercial feed (AC) plus 2.0 kg of cactus on a fresh basis (BF) sow-1 day-1; G2, this group was offered 2.0 kg of steamed cactus (NCV). AC was provided ad libitum in all three groups. The following were evaluated: blood glucose (GS), glycated hemoglobin (HbA1c), triglycerides (TG), and Triglycerides-glucose index (TyG); as well as: voluntary consumption of commercial food and consumption of cactus in its two presentations. The information collected was analyzed by ANOVA through repeated measurements. Differences between groups were obtained using the least squares means (LSmeans) methodology. It was found that G3 presented higher ($p < 0.05$) plasma averages of: HbA1c (5.8 ± 0.12 mg·dL-1), GS (100.7 ± 6.4 mg·dL-1) and TyG index (8.9 ± 0.08 mg·dL- 1), compared to G1 and G2. Regarding the TyG index and its relationship with insulin resistance (IR), it was observed in G1 (steamed nopal) that it showed values within the low IR range and consequently 50% of the sows did not present IR vs G2 (66% of sows with IR) and G3 (100% of sows with IR). In this sense, the higher the TyG index, the lower the feed intake: G2 showed higher voluntary feed intake (CAV) ($p < 0.05$): 5.9 to 6.2 kg of feed day-1 sow-1 with a low TyG index (decreases RI) vs G1 (cactus in BF): 4.9 to 5.2 kg of feed day-1 sow-1 with low TyG index (decreases RI). The control group (G3), showed the lowest intakes ($p < 0.05$) 3.8 to 4.2 kg of feed day-1 sow-1 with a moderate TyG index (moderate IR). According to these results, adding steamed cactus to the diet of lactating sows reduces insulin resistance and improves voluntary feed intake (CVA) of these animals in response to the decrease in BG. and triglycerides during breastfeeding

Keywords. Lactation, cactus, hypoglycemic, appetite, HbA1c

Resumen

El objetivo fue evaluar el efecto de la dieta para cerdas postparto adicionada con nopal (*Opuntia ficus-indica)* cocido al vapor sobre metabolitos energéticos y su relación con el consumo voluntario de alimento. Se utilizaron 18 cerdas seleccionadas al azar pertenecientes a la línea genética para velocidad de crecimiento y magrez de la canal, con 100 días de gestación; con las cerdas se formaron tres grupos (G) de 6 cerdas grupo^{-1}: G1 Nopal BF, G2 Nopal cocido, G3 control o testigo; G1, las cerdas recibieron alimento comercial (AC) más 2.0 kg de nopal en base fresca (BF) cerda^{-1} día^{-1}; G2, a este grupo se le ofreció 2.0 kg de nopal cocido al vapor (NCV). El AC se suministró *ad libitum* en los tres grupos. Se evaluó: glucosa sanguínea (GS), hemoglobina glicada (HbA1c), triglicéridos (TG), e índice Triglicéridos-glucosa (TyG); así como: consumo voluntario de alimento comercial y consumo de nopal en sus dos presentaciones. La información recabada se analizó por ANOVA a través de mediciones repetidas. Las diferencias entre grupos se obtuvieron mediante la metodología de medias de mínimos cuadrados (LSmeans, siglas en inglés). Se encontró que el G3 presentó mayores ($p<0.05$) promedios plasmáticos de: HbA1c (5.8 ±0.12 mg·dL^{-1}), GS (100.7 ±6.4 mg·dL^{-1}) e índice TyG (8.9 ±0.08 mg·dL^{-1}), en comparación con G1 y G2. En cuanto al índice TyG y su relación con resistencia insulina (RI), se observó en G1 (nopal cocido al vapor) que éste mostró valores dentro del rango de baja RI y en consecuencia el 50% de las cerdas no presentaron RI *vs* G2 (66% de cerdas con RI) y G3 (100% de cerdas con RI). En este sentido, entre más alto fue el índice de TyG menor consumo de alimento: G2 mostró mayor consumo voluntario de alimento (CAV) ($p<0.05$): 5.9 a 6.2 kg de alimento día^{-1} cerda^{-1} con índice TyG bajo (reduzca la RI) *vs* G1 (nopal en BF): 4.9 a 5.2 kg de alimento día^{-1} cerda^{-1} con índice TyG bajo (reduzca la RI). El grupo control (G3), mostró los consumos más bajos ($p<0.05$) 3.8 a 4.2 kg de alimento día^{-1} cerda^{-1} con índice TyG moderado (RI moderada). De acuerdo con estos resultados, al adicionar el nopal cocido al vapor a la dieta de cerdas en fase de lactación se mitiga la resistencia a la insulina y se mejora el consumo voluntario de alimento (CVA) de estos animales en respuesta a la disminución de GS y triglicéridos durante el periodo de lactancia.

Palabras clave. Lactación, cactácea, hipoglucemiante, apetito, HbA1c.

1. Introducción

La porcicultura en México es una de las industrias pecuarias más importantes a nivel nacional, puesto que genera más de un millón de toneladas de carne anualmente. La importancia de esta industria radica en las cualidades que presenta esta especie de la cual se aprovecha prácticamente todo, siendo la carne de cerdo el rubro principal y el cual genera mayores ingresos económicos para la industria (Pesado y Rodríguez, 2020; Vera, 2020). Pero para lograr esto, durante los últimos 15 años, los conocimientos sobre la porcicultura requirieron diversificarse en diferentes áreas, con la finalidad de maximizar la productividad en cada uno de los procesos parciales de producción (PPP) inherentes a esta actividad económica (Ordaz, 2014).

En la actualidad, la investigación y desarrollo (I+D) en la porcicultura moderna se ha centrado en áreas de mayor importancia y oportunidad de mejora, entre las cuales destacan: las fases de servicio y gestación y parto y lactancia; debido a que en estos PPP recae la productividad de la línea de producción (destete-finalización), el lechón destetado es considerado como la materia prima de los PPP finales del sistema (Aherne, 2001; Martínez *et al*., 2013; Kim, *et al* 2013). En este sentido, la actuación de los partos/cerda/año y el número de lechones destetados/cerda/año son cruciales para la rentabilidad de todo sistema de producción porcina (Ortiz, 2019).

La I+D en la porcicultura se han enfocado en las mejorar las cerdas reproductoras mediante procesos reproductivos en combinación con procesos de selección genética; tomando con referente producción de láctea y tamaño de camada, aspectos que influyen de manera directa en los lechones destetados/cerda/año (Silva, 2017). No obstante, en la práctica se ha observado que dicha selección genética sobre todo para la producción de cerdas hiperprolíficas, los problemas reproductivos postdestete se presentan de forma similar a las cerdas convencionales, es decir, las denominadas cerdas prolíficas cuya estructura genética está relacionada con la magrez de la canal y velocidad de crecimiento (Ortiz, 2019)

Dentro de los aspectos que más impactan la rentabilidad de los sistemas de producción porcina se encuentra el tamaño de camada al nacimiento (lechones nacidos vivos, nacidos muerto y momias) siendo los lechones nacidos vivos (LNV) los más importantes, puesto que de estos depende el número de lechones destetados por camada y el peso de estos, ello sin considerar la mortalidad predestete.

Posterior al destete los aspectos que también afectan la rentabilidad es el reinicio de la actividad ovárica, traducida al intervalo destete-estro (IDE), las fallas reproductivas postdestete; principalmente el porcentaje de servicios repetidos (PSR) (Ordaz *et al*., 2013; Ortiz *et al*., 2015).

Los indicadores reproductivos tales como: IDE y PSR determinan en gran medida el intervalo entre partos y en consecuencia el número de partos/hembra/año; lo cual

a su vez determinara hasta cierto punto la cantidad de LD/cerda/año y también determinaran los costos de producción (Ordaz *et al*., 2013). En la actualidad, las cerdas son más pesadas (250 a 300 kg) y productivas teniendo de 14.8 a 15.3 lechones por camada (Vizcaíno *et al*., 2017; Vargas, 2020). Sin embargo, tienen menores reservas corporales de tejido adiposo que los genotipos anteriores: 18 a 19 mm de grasa dorsal (Begoña *et al*., 2012; Murillo *et al*., 2013; Fernández, 2020).

Para Barrea (2017), los avances en genética aplicada a los cerdos a nivel productivo han repercutido en otros aspectos como son: menor rusticidad, pérdida de grasa dorsal (≤ 2.0 mm) durante la lactación y pubertad prolongada (181 a 200 días), debido a que en el periodo de 181 a 200 días post nacimiento no alcanzan un peso de 105 a 120 kg, peso en el cual deben de presentar su primer estro (Martínez, 2018). Otro aspecto para considerar es que en este tipo de cerdas se ha observado una limitada capacidad de ingesta de alimento (5 a 5.5 kg/cerda/día). En este sentido, se ha reportado que un menor consumo de alimento durante la fase de lactación afecta los indicadores productivos y reproductivos de las cerdas, manifestándose en una menor producción láctea, menor peso del lechón al destete, mayor pérdida de peso corporal de la cerda al destete, incremento en el intervalo destete-estro (Ortiz *et al*., 2017).

Esta disminución del consumo voluntario en cerdas postparto se le conoce como hipofagia fisiológica lactacional, la cual se presenta principalmente durante la primera y segunda semana postparto como consecuencia a los altos niveles de glucosa sanguínea (necesarios para para el crecimiento de los fetos y la preparación

de la ubre para la producción de leche) asociados a la resistencia a insulina, misma que afecta al consumo voluntario de alimento (Bueno y Sarniento, 2015; Pérez *et al*., 2015).

De acuerdo con Ordaz *et al*. (2019), la resistencia a insulina se presenta principalmente durante la primera semana posparto; dado que, en este lapso, los niveles de glucosa están elevados (>70.0 mg·mL) (Ordaz *et al*., 2017). Aunado a ello, para mantener la producción láctea, bajo consumos voluntarios de alimentos menores (< 6.0 kg cerda/día), el organismo recurre a la lipósis y ello contribuye a incrementar la resistencia a la insulina y su efecto sobre el consumo voluntario de alimento (Farmer *et al*., 2008).

Contrariamente al catabolismo, la insulina es la principal señal endocrina anabólica y juega un papel crítico en el metabolismo de carbohidratos, lípidos y proteínas. Sin embargo, a mayor adiposidad, disminuye el número de receptores de insulina disponibles; por tanto, la resistencia a la insulina es un indicador de la movilización de las reservas corporales en las cerdas (Revell *et al*., 1998).

Así, la resistencia a la insulina no se debe a una falla en la producción o liberación de insulina, sino que existe un factor resistina la cual es una molécula codificada por un gen cuya expresión es inducida por la diferenciación de los adipocitos e inhibida por ligandos de los receptores activados por multiplicadores de peroxisomas en las células 3T3-L1 (células precursoras de adipocitos); además, la resistina en el hepatocito aumenta la resistencia a la insulina (De Luis *et al*., 2020).

La resistencia a la insulina y su efecto en la disminución del consumo voluntario de alimento al parecer es una adaptación evolutiva de los mamíferos, no para el momento en que la comida es abundante, más bien, su función fisiológica se centra en la respuesta adaptativa al hambre (Ordaz *et al*., 2019). Ello sugiere que evolutivamente ante la necesidad de un amamantamiento en lapsos cortos y continuos las cerdas no pueden abandonar a sus crías y la respuesta fisiología a esta necesidad fue precisamente la resistencia a la insulina.

Evidentemente, la resistencia a la insulina es la respuesta a las necesidades energéticas al final de la gestación y durante la lactancia. En este sentido, el organismo afectado por la resistencia a la insulina responde a través del catabolismo para cubrir las necesidades energéticas y compensar el efecto de la hipofagia de la lactancia. Pero, bajo las prácticas modernas de cría de cerdos, el estado metabólico de las cerdas (durante e inmediatamente después del período de lactancia) es la clave para maximizar las funciones reproductivas de las cerdas. Dado que, la desnutrición y la pérdida de peso corporal (como la causada por la hipofagia de la lactancia) reducen la secreción pulsátil de GnRH (Ordaz *et al.,* 2019).

Por lo que, como estrategia a para mitigar los efectos de este fenómeno se ha investigado los efectos de dietas adicionadas con nopal (*O. ficus-indica*) sobre la resistencia a insulina y el consumo de alimento voluntario de las cerdas en fase de lactación (Ortiz *et al*., 2017). Puesto que esta cactácea provee de fibra y su contenido de pectina y mucilago propician efecto hipoglucémico. En este sentido existen varias investigaciones en las cuales se concluyen que: "la adición de nopal

en base fresca (BF) a la dieta de cerdas lactantes contribuye a mitigar el efecto de la resistencia a la insulina e incrementa el consumo voluntario de alimento de las cerdas en lactación".

Sin embargo, el uso de nopal en BF no es una estrategia viable para los sistemas de producción porcina, primero, porque se requiere de mano de obra, segundo, porque la cosecha de cladodios de nopal se debe hacer diariamente, de lo contrario el nopal se descompone por su alto contenido de agua y azucares (Contreras *et al.,* 2011). Por lo que es importante evaluar una estrategia que incremente la vida de anaquel del nopal y facilite su suministro a los animales. Dicha estrategia es el nopal cocido al vapor durante cuatro minutos (Ahumada *et al*., 2021; sin publicar). Este tipo de estrategia ha probado una mayor eficiencia para retener o incrementar los nutrientes de los vegetales (Ahmed *et al*., 2013; Cortez, 2015; Armesto *et al*., 2018). Sin embargo, las investigaciones sobre la cocción a vapor del nopal y sus efectos en su composición fisicoquímica aún son escasas. Por ello, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la dieta para cerdas postparto adicionada con nopal (*Opuntia ficus-indica*) cocido al vapor sobre metabolitos energéticos y su relación con el consumo voluntario de alimento.

2. Antecedentes

2.1 La porcicultura en México

La porcicultura en México es una actividad que gracias a su dinamismo desempeña una función importante dentro de la economía mexicana, dicha importancia radica especialmente en la industria alimentaria, esto debido a que la carne de cerdo forma parte importante de la dieta de los mexicanos, siendo el cerdo la segunda especie que más se consume en el país por detrás del pollo, además es el decimoctavo país con mayor consumo per cápita (12.4 kg anual por habitante) (vera, 2020). Además, gracias al aumento de la demanda mundial de carne, las especies de crecimiento rápido con un alto índice de conversión de alimentos, como los cerdos, pueden contribuir en gran medida al desarrollo del subsector pecuario.

Debido a la demanda de la carne de cerdo, actualmente se ha alcanzado altos niveles de eficiencia en conversión de alimento a carne, así como en parámetros de fertilidad y número de lechones por parto, entre otros. El manejo del ganado porcino a través de un sistema productivo de acuerdo con la finalidad de la explotación, producción de lechones, animales para abasto y pie de cría, es indispensable para mejorar la eficiencia productiva, además la producción porcina es muy dinámica, ya que se lleva a cabo en ciclos más cortos que la producción bovina y conlleva a que el sector sea más susceptible a cambios coyunturales del entorno macroeconómico y del sector agropecuario (Germán, 2005; CEDRSSA, 2018).

No obstante, la producción mundial de carne cerdo se encuentra concentrada en los cuatro principales países productores: China, la UE, Estados Unidos y Brasil. En conjunto, estos aportaron el 78,57% de la oferta mundial de carne de cerdo. Por su parte, México ocupa la novena posición con una participación del 1,22% en la producción mundial de este tipo de carne, con 1.7 millones de toneladas producidas (Amo, 2018; SEDRUA, 2020). Producción que se ve enfocada al hato reproductor que tienen estos países, puesto que de ello dependerá la producción (Tabla 1).

Tabla 1. Países con mayor cantidad de hembras reproductivas a nivel mundial.

País	Cantidad de hembras
China	31,000,000
Unión Europea	11,270,000
EE. UU.	6,276,000
Vietnam	4,200, 000
Rusia	3,320, 000
Brasil	2,300,000
México	1,937,432

Fuente:3tres3, 2021

Pese a esto la porcicultura en México es una de las industrias pecuarias más importantes (después de la avicultura) a nivel nacional, puesto que genera más de un millón de toneladas de carne anualmente. La porcicultura moderna se ha centrado en la innovación y desarrollo (I+D) de las áreas de mayor importancia y oportunidad de mejora, entre las cuales destacan: las fases de servicio y gestación y parto y lactancia.

2.2 Productividad de la cerda

Los resultados económicos de las explotaciones porcinas dependen fundamentalmente del número de lechones producidos por cerda y año, es por ello

que a lo largo de los años se han realizado mejoras en el manejo, la sanidad y la genética, lo que ha permitido aumentar los resultados productivos año tras año (Mateos y Piquer, 2020). Es por ello, que la cerda actual, con su capacidad de producción no es igual que la de antaño, actualmente, son más pesadas (250 a 300 kg) y productivas teniendo de 14.8 a 15.3 lechones por camada (Vizcaíno *et al.,* 2017; Vargas, 2020).

Dado que, en la actualidad la productividad de las cerdas se mide en lechones destetados/cerda/año, la I+D se han enfocado en este punto y las mejoras de la cerda reproductora se han orientado hacia el manejo reproductivo combinado con procesos de selección genética; tomando como referente en la selección principalmente producción de leche y tamaño de camada (Silva, 2017). No obstante, en la práctica se ha observado que dicha selección genética sobre todo para la producción de cerdas hiperprolíficas, los problemas reproductivos postdestete se presentan de forma similar a las cerdas convencionales, es decir, las denominadas cerdas prolíficas cuya estructura genética está relacionada con la magrez de la canal y velocidad de crecimiento (Ortiz, 2019). Además de factores inherentes a las cerdas como son manejo, sanidad, aspectos nutricionales y alimentación.

2.3 Principales problemas de la porcicultura en México

La producción e industrialización de carne de cerdo que se realiza en México tiene la calidad y competitividad para exportar este tipo de carne, sin embargo, no alcanza a cumplir con la demanda a nivel nacional, esta dificultad se basa en los siguientes problemas: presencia de problemas sanitarios, baja calidad de productos, falta de

mayor valor agregado, desarticulación de los diversos actores de la red, así como una baja rentabilidad y aumento de costos de producción (Amo, 2018).

A lo largo del tiempo, la porcicultura ha cursado con diversas problemáticas que debilitan a las UPPs como son los problemas sanitarios y baja eficiencia productiva ello debido a que se ha desarrollado en sistemas de ciclo completo en un solo lugar. Actualmente se busca que la especialización productividad, contrarreste la presencia de brotes sanitarios y mejorar los parámetros productivos y económicos de las UPPs, mediante una tendencia del modelo de producción. La forma en el ordenamiento y ejecución de la especialización productiva puede variar, no obstante, es muy frecuente con sus principios, ya que se basa en procesos sustentables y progresistas que buscan fortalecer a los actores de la red, estableciendo una relación de negocio de largo plazo (Godina y pacheco, 2016).

Otro de los problemas para la producción porcina es la preferencia de la población hacia otras carnes como la de pollo, esto se debe a diversos factores como son: el precio de la carne es más accesible para la mayor parte de la población, el valor nutrimental que tiene la carne es más fácil de obtener, entre otros (Martínez y Mora, 2010).

Por otro lado, de acuerdo con Ortiz, (2019) la UPPs en México son inferiores competitivamente en comparación con las internacionales, su inferioridad radican en el contacto cotidiano con investigadores o agentes de las empresas que producen tecnología para el sector porcino y, además las investigaciones sobre la

eficiencia productiva de las UPPs del país, por lo general concluyen que la herramienta determinante para mejorar la eficiencia económica es la tecnificación, misma que se manifiesta por medio de múltiples expresiones, aspectos que en Estados Unidos se tienen bien desarrollados. No obstante, en México las UPPs han fracasado en la adopción o incorporación de tecnologías, puesto que no han cumplido con las necesidades del mercado interno de la demanda de carne. Ante esta situación, el Estado recurre a la importación (57%) de carne de cerdo, sobre todo, de Estados Unidos.

La deficiencia productiva de las UPPs del país es causada generalmente, por la menor tasa de extracción (TE) de producto promedio (95.9%) en comparación con la TE de Estados Unidos (158%), aspecto que explica porque la tasa de penetración de importaciones (TPI) del país es de 37.3%, mientras que la TPI de Estados Unidos es de 4.2% (Gómez *et al*., 2012). Dicha TE reducida en las empresas porcinas nacionales es debido a diversos elementos: como es la exposición continua de los cerdos a enfermedades, el uso parcial de paquetes tecnológico implementados erróneamente, los esquemas de producción inadecuados o ejecutados con deficiencias de origen que en conjunto evidencian la ineficiente relación entre los componentes hombre-tecnología-cerdo (Ortiz *et al*., 2015) y además centrar sus objetivos en la maximización de los ingresos obtenidos por unidad producida a través de tecnología para reducir el costo de producción del lechón (Ortiz *et al*., 2019).

La rentabilidad de las UPPs generalmente se ve afectados por diversos aspectos, entre los que se encuentran el tamaño de camada al nacimiento (lechones nacidos vivos, nacidos muerto y momias) siendo los lechones nacidos vivos (LNV) el más importante, ya que de este dependerá el número de lechones destetados por camada y el peso de estos, ello sin considerar la mortalidad predestete.

Otros de los aspecto que afectan de manera directa la rentabilidad se presentan postdestete, entre los que se encuentran el reinicio de la actividad ovárica, traducida al intervalo destete-estro (IDE), las fallas reproductivas postdestete; principalmente el porcentaje de servicios repetidos (PSR) (Ordaz *et al.,* 2013; Ortiz *et al*., 2015).

Los indicadores reproductivos tales como: IDE y PSR determinan en gran medida el intervalo entre partos y en consecuencia el número de partos/hembra/año, lo cual a su vez determinara hasta cierto punto la cantidad de LD/cerda/año y también determinaran los costos de producción (Ordaz *et al*., 2013).

Para Barrea (2017), los avances en genética aplicada a los cerdos a nivel productivo han repercutido en otros aspectos como son: menor rusticidad, pérdida de grasa dorsal (≤ 2.0 mm) durante la lactación y pubertad prolongada (181 a 200 días), debido a que en el periodo de 181 a 200 días post nacimiento no alcanzan un peso de 105 a 120 kg, que es el peso en el cual deben de presentar su primer estro (Martínez, 2018). Otro aspecto por considerar es que en este tipo de cerdas se ha observado una limitada capacidad de ingesta de alimento (5 a 5.5 kg/cerda/día). En este sentido, se ha reportado que un menor consumo de alimento durante la fase

de lactación afecta los indicadores productivos y reproductivos de las cerdas, manifestándose en una menor producción láctea, menor peso del lechón al destete, mayor pérdida de peso corporal de la cerda al destete, incremento en el intervalo destete-estro (Ortiz *et al*., 2017).

Esta disminución del consumo voluntario en cerdas postparto se le conoce como hipofagia fisiológica lactacional, la cual se presenta principalmente durante la primera y segunda semana postparto como consecuencia a los altos niveles de glucosa sanguínea (necesarios para para el crecimiento de los fetos y la preparación de la ubre para la producción de leche) asociados a la resistencia a insulina, misma que afecta al consumo voluntario de alimento (Bueno y Sarniento, 2013; Pérez *et al*., 2015).

2.4 Hipofagia fisiológica lactacional en la cerda

De acuerdo con Ordaz *et al.* (2019), la resistencia a insulina se presenta principalmente durante la primera semana posparto, dado que, en este lapso, los niveles de glucosa están elevados (>70.0 mg·mL) (Ordaz et al., 2017). Aunado a ello, para mantener la producción láctea, bajo consumos voluntarios de alimentos menores (< 6.0 kg cerda/día), el organismo recurre a la lipólisis y ello contribuye a incrementar la resistencia a la insulina y su efecto sobre el consumo voluntario de alimento (Farmer *et al*., 2008).

Contrariamente al catabolismo, la insulina es la principal señal endocrina anabólica y juega un papel crítico en el metabolismo de carbohidratos, lípidos y proteínas. Sin

embargo, a mayor adiposidad, disminuye el número de receptores de insulina disponibles, por tanto, la resistencia a la insulina es un indicador de la movilización de las reservas corporales en las cerdas (Revell *et al*., 1998).

Así, en humanos la resistencia a la insulina no se debe a una falla en la producción o liberación de insulina, sino que existe un factor resistina la cual es una molécula codificada por un gen cuya expresión es inducida por la diferenciación de los adipocitos e inhibida por ligandos de los receptores activados por proliferadores de peroxisomas en las células 3T3-L1(células precursoras de adipocitos); además, la resistina, en el hepatocito, aumenta la resistencia a la insulina. Mientras que, la supresión del gen rs10401670 mejora la sensibilidad a la insulina y reduce la glucosa en sangre (De Luis *et al*., 2020).

La resistencia a la insulina y su efecto en la disminución del consumo voluntario de alimento al parecer es una adaptación evolutiva de los mamíferos, no para el momento en que la comida es abundante; más bien, su función fisiológica se centra en la respuesta adaptativa al hambre (Ordaz *et al.,* 2019). Ello sugiere que evolutivamente ante la necesidad de un amamantamiento en lapsos cortos y continuos las cerdas no pueden abandonar a sus crías y la respuesta fisiología a esta necesidad fue precisamente la resistencia a la insulina.

Evidentemente, la resistencia a la insulina es la respuesta a las necesidades energéticas al final de la gestación y durante la lactancia. En este sentido, el organismo afectado por la resistencia a la insulina responde a través del

catabolismo para cubrir las necesidades energéticas y compensar el efecto de la hipofagia de la lactancia. Pero, bajo las prácticas modernas de cría de cerdos, el estado metabólico de las cerdas (durante, e inmediatamente después del período de lactancia) es la clave para maximizar las funciones reproductivas de las cerdas. Dado que, la desnutrición y la pérdida de peso corporal (como la causada por la hipofagia de la lactancia) reducen la secreción pulsátil de GnRH (Ordaz *et al.,* 2019).

2.5 Alternativas para el control de la hipofagia lactacional

De acuerdo con Ortiz *et al*., (2017) en investigaciones para mitigar la hipofagia lactacional en cerdas observaron efectos benéficos de la fibra dietética sobre el consumo de alimento en cerdas lactantes. Ello debido a los efectos favorables de la fibra dietética sobre el perfil metabólico, bacteriano, la fermentación, tiempo de tránsito de la ingesta, y, mayor capacidad de retención de agua.

Otras estrategias implementadas para contrarrestar los efectos de la hipofagia fisiológica lactacional, se basan principalmente en incrementar la energía y disminuir el volumen de proteína en las dietas o sustituir el almidón de cereales por almidón de guisantes más la adición de aminoácidos sintéticos en las dietas (Lovise *et al*., 2013) o incrementar lisina (1.10%) y proteínas (19.0%) en dietas de cerdas lactantes (Huang *et al*., 2013). Sin embargo, dichas estrategias han fracasado, puesto que no lograron controlar o manipular los efectos de la hipofagia fisiología lactacional; ya sea, por ser económicamente inviables o por el hecho de que no resuelven el origen del problema que es la regulación de la glucosa sanguínea postparto (Peré y

Etienne, 2007,). Por otro lado, como estrategia a para mitigar los efectos de este fenómeno se han investigado los efectos de dietas adicionadas con nopal *(Opuntia ficus-indica*) sobre la resistencia a insulina y el consumo de alimento voluntario de las cerdas en fase de lactación (Ortiz *et al*., 2017).

2.5 Nopal como alternativa para el control de la hipofagia lactacional

Esta cactácea *(Opuntia ficus-indica*) provee de fibra y su contenido de pectina y mucilago propician un efecto hipoglucémico. En este sentido existen varias investigaciones en las cuales se concluye que: "la adición de nopal en base fresca (BF) a la dieta de cerdas lactantes contribuye a mitigar el efecto de la resistencia a la insulina e incrementa el consumo voluntario de alimento, disminuyendo la pérdida de peso corporal de la cerda durante la lactancia (Pére y Etienne, 2007; Mosnier *et al*., 2010; Núñez *et al*., 2013**;** Ortiz *et al*., 2017; Ordaz *et al.,* 2019)

Sin embargo, pese a sus características benéficas para las cerdas, el uso de nopal en BF no es una estrategia viable para los sistemas intensivos de producción porcina, primero, porque se requiere de mano de obra, segundo, porque la cosecha de cladodios de nopal se debe hacer diariamente, de lo contrario el nopal se descompone por su alto contenido de agua y azucares (Rodríguez y Fortiz, 2016). Por lo que es importante evaluar una estrategia que incremente la vida de anaquel del nopal y facilite su suministro a los animales. Dicha estrategia es el nopal cocido al vapor durante cuatro minutos (Ahumada, 2021). Este tipo de estrategia ha probado una mayor eficiencia para retener o incrementar los nutrientes de los

vegetales (Ahmed *et al*., 2013; Cortez, 2015; Martínez *et al*. 2013; Armesto *et al*., 2018).

En la investigación de Ahumada, 2021 se evaluó el efecto del nopal (*O. ficus-índica*) cocido al vapor, a 100 °C, a diferentes tiempos (4, 7 y 10 minutos) sobre los metabolitos energéticos y su repercusión en el consumo voluntario de alimento de las cerdas en fase de lactación. Encontrándose que la mayor cantidad de fibra dietética soluble la presentó el nopal cocido a 4 min (14.5 ±0.5 g^{-100MS}) *vs* 5.9 ±1.8 y 5.5 ±1.2 g^{-100MS}, para 7 y 10 min, respectivamente (Tabla 2). Como se puede observar en la Tabla 2, el tiempo de la cocción al vapor de los cladodios del nopal provoca cambios en sus componentes fisicoquímicos, principalmente en proteína, extracto libre de nitrógeno y, fibra soluble. De aquí la importancia de evaluar el efecto del nopal cocido al vapor sobre los metabolitos energéticos en cerdas en fase de lactación y su relación con el control de la resistencia a insulina y la hipofagia fisiológica lactacional.

Tabla 2. Medias de mínimos cuadrados de las variables fisco-químicas del nopal *(O. ficus-indica)* sometido a cocción a vapor a diferentes tiempos.

	Tiempo de tratamiento a vapor a 100°C			
Variable	0 min	4 min	7 min	10 min
Materia seca %	5.7^{b} ±0.1	6.0^{b} ±0.1	5.8^{b} ±0.1	6.5^{a} ±0.1
Humedad $g^{-100g\ MS}$	94.2^{a} ±0.1	94^{a} ±0.1	94.1^{a} ±0.1	93.5^{b} ±0.1
Proteína $g^{-100g\ MS}$	14.2^{c} ±0.1	17.6^{a} ±0.1	17.4^{a} ±0.1	16.3^{b} ±0.1
Extracto Etéreo $g^{-100g\ MS}$	2.3^{a} ±0.1	1.6^{b} ±0.1	1.4^{b} ±0.1	1.3^{b} ±0.1
Extracto libre de nitrógeno $g^{-100g\ MS}$	10.8^{d} ±0.8	20.2^{c} ±0.8	26.1^{b} ±0.8	29.5^{a} ±0.8
Fibra digestible total $^{-100g\ MS}$	40^{a} ±0.8	33.6^{b} ±0.8	27.9^{c} ±0.8	25.6^{c} ±0.8
Fibra soluble $g^{-100g\ MS}$	7.5^{b} ±0.4	14.5^{a} ±0.4	5.9^{c} ±0.4	5.5^{c} ±0.4
Fibra insoluble $g^{-100g\ MS}$	31.5^{a} ±0.7	$19.0^{b,d}$ ±0.7	22.0^{c} ±0.7	$20.1^{c,d}$ ±0.7
Cenizas $g^{-100g\ MS}$	27.8^{a} ±0.02	20.1^{d} ±0.02	21.2^{c} ±0.02	20.7^{b} ±0.02

min= minutos; T= Tratamiento
Literales diferentes indican diferencias estadísticas (P < 0.05) dentro de fila

Fuente: Ahumada, 2021.

2.7 Pruebas para determinar resistencia a la insulina

Dentro del diagnóstico de la resistencia a la insulina (RI) en humanos existen diversas pruebas que se pueden emplear como son: 1) clamp hiperinsulinémico-euglucémico, que representa el estándar de oro para medir la sensibilidad tisular a la insulina y la secreción de insulina aunque, por su complejidad, no es de utilidad clínica; 2) los índices de HOMA (Homeostasis Model Assessment) y QUICKI (Quantitative Insulin Check Index), que son los métodos más sencillos y los más utilizado para evaluar RI en el campo; y 3) el índice Matsuda-DeFronzo (también llamado ISI-Compuesto) que se calcula a partir de una curva de tolerancia a la glucosa oral (CTGO) de la cual se desprende información adicional sobre el metabolismo de la glucosa en el estado post-estimulatorio (Martínez *et al*., 2011).

Actualmente el uso de glucómetro electrónico humano (Accu-Chek Performa®) es una herramienta adecuada para calcular los niveles glucémicos de los cerdos no solo por su precisión, además porque se realiza fácilmente en esta especie, en comparación con los convencionales métodos de laboratorio, reduce tanto el estrés como el costo de muestreo debido al proceso, (Pérez *et al.,* 2016)

Otra de las alternativas que se puede emplear, es la prueba de hemoglobina glicada (HbA1c), la cual refleja la glucemia media del individuo en los tres a cuatro meses previos a la toma de la muestra, puesto que son 120 días de la vida media del eritrocito y que termina en la glicación irreversible de la hemoglobina de los glóbulos rojos hasta su muerte determina la una relación, y ella se determina de manera

directa entre el porcentaje de la HbA1c y el promedio de glucosa sérica porque la glicación (no la glicosilación) de la hemoglobina es un proceso relativamente lento, no-enzimático (Campuzano y Latorre, 2010). Esta última prueba se ha establecido en algunos animales (gatos, ratas y ratones), sin embargo, específicamente en cerdas no. Además, no se encontraron evidencias de investigaciones sobre el diagnostico de RI en este tipo de animales.

3. Planteamiento del Problema

Los avances en la porcicultura se respaldan en los descubrimientos propiciados por la investigación científica, principalmente en áreas de mayor inferencia como son: servicio y gestación y parto y lactancia. Avances que, por lo general, responden a las exigencias de las unidades de producción porcina (UPP). De modo que no es de sorprenderse que las UPP se enfoque en cubrir los objetivos y metas que recaen principalmente en la línea de producción, la cual inicia con la producción de lechón y continua con los procesos parciales de producción (iniciación, crecimiento, desarrollo y finalización). Sin embargo, el lechón es uno de los indicadores que determinan la eficiencia reproductiva de las cerdas y la eficiencia económica de la UPP. No obstante, para que se de dicha eficiencia (reproductiva y productiva) las cerdas deben consumir cantidades suficientes de alimento, aspecto que es afectado por la hipofagia fisiológica lactacional derivada de la RI. Por ello, el incremento de las investigaciones para encontrar estrategias de alimentación que generen un

mayor consumo de alimento para que las cerdas maximicen su capacidad reproductiva.

En investigación recientes se ha establecido que el nopal en BF genera cambios metabólicos importantes en el organismo de las cerdas que lo consumen: hipoglucemia, hipocolesterolemia e hipotrigliceridemia y, en consecuencia, se incrementa el consumo voluntario de alimento de las cerdas en fase de lactación. Sin embargo, la utilización de insumos para la dieta de cerdas postparto, como podría ser el nopal (*O. ficus indica*) cocido al vapor, no ha sido investigada.

4. Hipótesis

La adición de nopal (O. ficus-indica) cocido al vapor a la dieta convencional de las cerdas postparto mejora la regulación de metabolitos energéticos y propicia que disminuyan la resistencia a la insulina instaurada en el último tercio de la gestación y en la primera semana postparto. Por lo que, la ingesta de este tipo de dieta mitiga la hipofagia fisiológica lactacional y mejorar el consumo voluntario de alimento de las cerdas en fase de lactación.

5. Objetivos

5.1 Objetivo general.

Evaluar el efecto de la dieta para cerdas postparto adicionada con nopal (*O. ficus-indica*) cocido al vapor sobre metabolitos energéticos y su relación con el consumo voluntario de alimento.

5.2 Objetivos particulares

- Evaluar el efecto del nopal cocido al vapor (*O. ficus-indica*) adicionado a la dieta de cerdas en fase de lactación sobre el consumo de alimento.
- Determinar el efecto del *O. ficus-indica* cocido al vapor adicionada a una dieta cerdas en fase de lactación sobre glucosa sanguínea y triglicéridos.
- Establecer el efecto de *O. ficus-indica* cocido al vapor adicionada a una dieta de cerdas en fase de gestación y lactación sobre hemoglobina glicada (HbA1c).

6. Materiales y métodos

La investigación se realizó en una granja comercial de ciclo completo ubicada en la comunidad de Isaac Arriaga, en el municipio de Puruándiro, Michoacán, México; coordenadas; 20.253301 N, 101.497144 W.

El manejo que se empleó en los animales respeto los lineamientos de la Norma Oficial Mexicana para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio (NOM-062- ZOO-1999), así como los de la International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals (CIOMS, 1985).

6.1 Animales y dietas

Se utilizaron 18 cerdas seleccionadas al azar, con diagnóstico de gestación cuya edad fue de 2.0±0.89 partos y peso promedio 210±10 kg. El genotipo de las cerdas perteneció a la línea genética para velocidad de crecimiento y magrez de la canal.

El total de animales se distribuyó aleatoriamente en un diseño factorial 3 x 2 x 3: tres grupos, dos pruebas para determinar glicemia (GSp y HbA1c) y tres fases fisiológicas. Las fases se clasificaron en: Gestación-Preparto; 2.9 meses; Preparto-Destete; 0.7 meses y Gestación-Destete; 3.6 meses. Durante la fase de gestación las cerdas se alojaron en jaulas individuales de 240 x 65 cm, largo y ancho respectivamente, las cuales poseen comedero semiautomático y bebedero tipo chupón. Para el parto y la lactancia, las cerdas se alojaron en jaulas de acero inoxidable con piso de rejilla plástica hasta el momento del destete (21 días postparto). Durante el parto y la lactancia, se proporcionó luz artificial entre las 8:00 y las 15:00 h, y la temperatura ambiental fue de 18-24 °C. Cada jaula estuvo provista de una fuente de calor para los lechones.

Para cubrir el diseño experimental, se formaron tres grupos (G) de cerdas (n=6 grupo^{-1}): G1, cerdas que fueron sometidas a una dieta convencional durante la fase de gestación y lactancia; durante la lactancia se adiciono a la dieta nopal (*O. ficus-indica*) cocido al vapor (NCV) a 100°C: 2.0 kg de nopal cerda^{-1} día^{-1}; G2, grupo que recibió una dieta convencional para cerdas gestantes y lactantes; en la fase de lactancia las cerdas recibieron la dieta adicionada con el nopal en base fresca (BF): 2.0 kg de nopal cerda^{-1} día^{-1} y, G3, cerdas que fueron sometidas a una dieta convencional para cerdas gestantes y lactantes; las cerdas de este grupo en la fase de lactancia solo consumieron alimento comercial sin adición del nopal (Tabla 3).

El suministro de alimento durante la gestación se ofreció al total de cerdas monitoreadas a las 7:30 h en cantidades de 2.5 y 3.0 kg día^{-1} cerda^{-1}, durante los

dos primeros tercios y el tercer tercio de gestación, respectivamente. El suministro del nopal (*O. ficus-indica*) en BF o NCV (2.0 kg de nopal cerda^{-1} día^{-1}) se proporcionó en trozos de aproximadamente 3 cm^3 a las cerdas de los G1 y 2 durante la lactancia a las 7:30 h. Durante la fase de lactación el alimento comercial se suministró a libre acceso y se suministró en tres tiempos 8:00, 12:00 y 15:00 h. El rechazo de alimento se pesó diariamente por la mañana (previo al suministro del nopal), excepto los días de toma de muestra sanguínea en los cuales el alimento fue retirado a las 20:00 h para propiciar 10 h de ayuno a las cerdas.

Los cladodios de nopal (*O. Ficus-indica*) de 90 días de edad fueron recolectados de la parcela de la "Posta Zootécnica" de la FMVZ-UMSNH. Los cladodios del nopal no tienen espinas, por lo cual solo se procedió a fraccionarlos en trozos de 3 cm^3 ya sea para ofrecerlo en BF a las cerdas del G1 o someterlos a cocción a vapor para el suministro del G2. Para la cocción del nopal, los trozos de los cladodios en BF se colocaron en una olla vaporera durante 4 minutos en agua a 100°C; después se retiraron en un recipiente con agua a una temperatura de 7°C, por último, se almacenaron y se refrigeraron a 3°C hasta el momento de adicionarse a las cerdas del G2.

Tabla 3. Ingredientes y composición nutricional de las dietas

	Dietas	
Ingredientes (%)	Gestación	Lactancia
Sorgo	82.40	64.95
Pasta de soya	6.00	10.00
Pasta de canola	6.12	18.52
Ortofosfatos	1.18	0.53
Carbonato de calcio	1.40	1.24
Aceite de soya	2.20	3.85
Lisina total / Lisina SID	0.05 / 0.04	0.09 / 0.08
Metiona-Cisteina	0.09	0.15
Sal	0.30	0.30
Vitaminas y minerales premezcla[a]	0.20	0.25
Composición nutricional de *O. ficus-indica* (%)		
Proteína cruda	5.6	
Grasa cruda	0.2	
Fibra	28.8	
Humedad	88.6	
Cenizas	24.5	
Elementos libres de nitrógeno	40.8	
Mucilago (g·300 g^{-1} base seca)	2.6	
	sin Nopal	con Nopal
Energía metabolizable (MJ·kg)	13.8	13.8	13.8
Proteína cruda, %	12.5	17.5	17.4
Grasa cruda, %	3.7	4.5	4.4
Fibra, %	3.1	4.3	4.5
Humedad, %	12.0	12.0	12.8
Cenizas, %	10.0	10.0	9.9
Calcio, %	1.4	1.2	1.5
Fosforo, %	0.64	0.67	0.66
Lisina, %	0.52	0.95	0.94
Metiona-Cisteina, %	0.43	0.59	0.59

[a] Aporte por kg de alimento: Cu 30 mg; Fe 160 mg; Zn 160 mg; Mn 55 mg; Se 0.5; Cr 0.2 mg; Vitamina A 14.200 IU; Vitamina D_3 2800 IU; Vitamina E 125 mg; Vitamina K_3 5 mg; Vitamina B_1 2.4 mg; Vitamina B_2 8.7 mg; Vitamina B_6 4.5 mg; Vitamina B_{12} 0.05 mg; Ácido Pantoténico 35 mg; Ácido fólico 6 mg.

6.2 Toma de muestras sanguíneas

Para determinación de glucosa sanguínea, triglicéridos, hemoglobina glicada (HbA1c) e índice TyG. Las muestras de sangre se tomaron de la siguiente manera: Glucosa sanguínea prepandial (GS): los días 25, 45, 65, 85 y 110 de gestación, el día 114±1 (día del parto), los días 117, 121, 128, 135 (día del destete) y el día 142

(postdestete; cerdas vacías), mediante glucómetro de uso humano (Accu check perfonmance®) se realizó la punción directa de la vena auricular con una aguja hipodérmica (18G x 1'') estéril para depositar una gota de sangre (0.6 µL muestra^{-1} cerda^{-1}) en la tira reactiva y hacer la lectura del valor de glucosa correspondiente.

HbA1c y triglicéridos: Para la toma de muestras sanguíneas prepandiales (10 h de ayuno) de las cerdas. El día 114±1 (día de parto) y el día de destete (día 135), se tomaron muestras de sangre cerda^{-1} grupo^{-1}. Para ello, a las 6:00 h de cada día de monitoreo establecido se sujetó a cada cerda por la mandíbula superior mediante la utilización un lazatrompas para la toma de la muestra correspondiente (3 mL de sangre cerda^{-1}), la cual se extrajo de la vena yugular utilizando una jeringa de 10mL con aguja hipodérmica calibre 18 G X 1 1/2. Inmediatamente después de colectar la muestra, fue depositada en 2 tubos BD Vacutainer™ uno que contenía EDTA K2 para determinación de la HbA1c y otro sin anticoagulante, con activador de coagulación, para triglicéridos y colesterol. Las muestras se almacenaron a 4°C hasta ser centrifugadas (100 x g por 10 min). Inmediatamente después de centrifugar, el plasma fue refrigerado y llevado al laboratorio para su análisis.

6.3 Análisis de metabolitos

Para la determinación de glucosa en sangre se utilizó un glucómetro de uso humano de acuerdo con la metodología validada por Pérez *et al*. (2016). La determinación de triglicéridos se realizó en un laboratorio a través de métodos enzimáticos adaptados en un Cobas c 111Mira (Roche, Basilea, Suiza). El reactivo utilizado fue

TRIGL (ref. 04 657 594 190, E.E.U.U), la sensibilidad fue 9.0 mg·dL, el coeficiente de variación intra e inter-ensayo fue < 8.0 and < 14.0% a 600 mg·dL.

Para determinar la HbA1c se utilizó la técnica internacional avalada por el DCCT (Diabetes Control and Complications Trial). Se midió con cromatografía líquida de alta resolución (Cifarelli y Madelon, 2017) utilizando un analizador automatizado certificado por el Programa Nacional de Estandarización de Glicohemoglobina (NGSP). Ello se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis Clínicos CEDIMI (laboratorio clínico acreditado ante Entidad Mexicana de acreditación).

Para la obtención del índice TyG se utilizó el cálculo establecido por Guerrero *et al*. (2010) y Romero *et al*. (2010): (*i*) Índice TyG = Log_{10} (TG [mg·dL] x GS [mg·dL] / 2)

Dónde: Log_{10}= Logaritmo natural; TG=Triglicéridos; GS=Glucosa sanguínea

6.4 Análisis estadístico

Los datos se analizaron por ANOVA a través de mediciones repetidas (Littell *et al*., 1998) con cerda anidada dentro de grupo como fuente de variación aleatoria y grupo, fase fisiológica, prueba, día de muestreo y las interacciones grupo*fase fisiológica y grupo* fase fisiológica*prueba como fuentes de variación fijo. Para determinar la diferencia entre las medias, a un α=0.05, se utilizó la metodología de medias de mínimos cuadrados (LSmeans, siglas en inglés) (Littell *et al*., 1998).

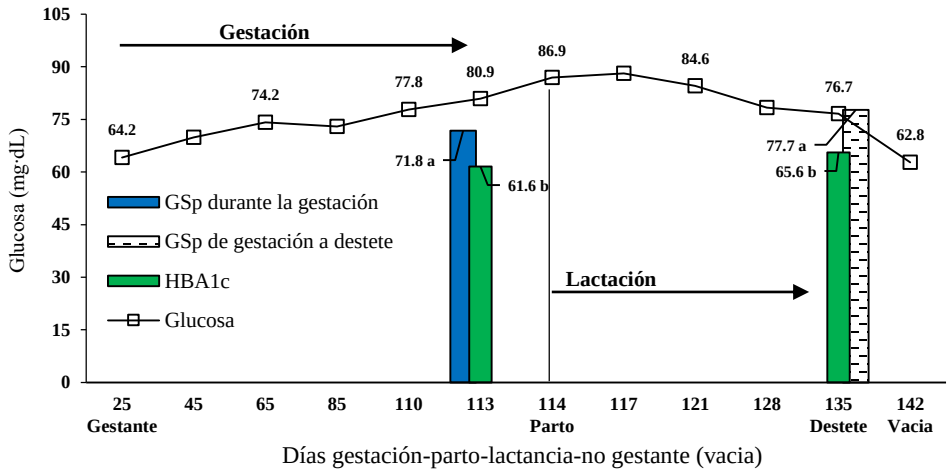
Los datos de GSp y HbA1c de las cerdas se utilizaron para estimar la relación lineal entre los dos parámetros (Hempe *et al*., 2015; Marini *et al*., 2017). El nivel estimado

de HbA1c para cada cerda se calculó insertando la concentración de GSp en ayunas en la ecuación de regresión lineal (Marini *et al*., 2017). El Índice de glicación de hemoglobina (HGI) se calculó restando los niveles estimados de HbA1c de los observados (Hempe *et al*., 2015). Las cerdas se estratificaron en terciles de acuerdo con la metodología de Hempe *et al*. (2015) y Marini *et al*. (2017) y acorde al valor de HGI e índice TyG: HGI bajo (≤-0.263); moderado (de 0.264 a 0.091) o alto (≥0.092); mientras que para el índice TyG se consideró como bajo (≤8.3); moderado (de 8.4 a 8.7) o alto (≥8.8). Además, se compararon los resultados del índice de TyG grupo^{-1} al utilizar los valores de glucosa obtenidos a partir del glucómetro para humanos y los valores de HbA1c obtenidos a partir del HGI.

7. Resultados y discusión

7.1 Niveles de glucosa sanguínea en cerdas postparto independientemente de la ingesta o no del hipoglucemiante (nopal en base fresca o cocido al vapor)

El comportamiento de los niveles de GSp y HbA1c en cerdas independientemente de que hayan consumido o no el hipoglucemiante (nopal: *O. ficus-indica*) se observó que la GS se incrementó conforme trascurrió la gestación ($p<0.05$), llegando a su nivel más alto ($p<0.05$) en el día tres postparto (88.2 mg·dL^{-1}) o día 117 post-inseminación de las cerdas; posterior a este día (3er día de lactación), los niveles de GS disminuyeron ($p<0.05$) conforme trascurrió la fase de lactación, alcanzado un nivel de 62.8 mg·dL^{-1} cerda^{-1} siete días postdestete (Figura 1).



GSp=Glucosa sanguínea promedio
Literales a, b inican difrencias (p<0.05) entre GSp gestación y HBA1c gestación
Literales a, b inican difrencias (p<0.05) entre GSp gestación-destete y HBA1c gestación-destete

Figura 1. Dinámica de la glucosa plasmática prepandial de las cerdas que transitan por las fases de gestación al destete, independientemente de la ingesta o no del hipoglucemiante (O. ficus-indica) durante la fase de lactación.

El comportamiento de GS descrito anteriormente coincide de manera general con la dinámica de la glucosa plasmática descrita por Ordaz *et al*. (2017), dichos investigadores también observaron incremento GS postparto (80.3 mg·dL^{-1}), aunque los niveles de GS no fueron semejantes a los encontrados en esta investigación. Estos investigadores también reportan que el mayor aumento de GS fue en el 3er día postparto (75.7 mg·dL^{-1}) y a partir de ese día los niveles de GS disminuyen de manera gradual hasta el destete; punto en el cual Ordaz *et al.* (2017) encontraron los valores más bajos de dicho metabolito (76.0 mg·dL^{-1}).

Se ha establecido que, el aumento de GS en la cerda es un fenómeno fisiológico multifactorial, en donde está involucrado el último tercio de la gestación, el parto y la endocrinología de la fase de lactación (Ortiz *et al*., 2020) y, en cuyos factores se encuentra inmersa la resistencia a la insulina (RI). En este sentido, la hiperglucemia

gestacional inicia por la RI durante el periodo de transición periparto-lactancia (Pére y Etienne, 2007). La RI aparece debido a los requerimientos elevados de glucosa en respuesta al crecimiento exponencial de los fetos y al desarrollo de la glándula mamaria (Mosnier *et al*., 2010; Farmer *et al*., 2007). Además, el rol de la insulina sobre la regulación de leptina es otro aspecto que se relaciona con la RI y con la hipofagia fisiológica lactacional (HFL) en la cerda gestante y/o en fase de lactación, ya que es la llave metabólica que se desarrolla durante la gestación con la finalidad de incrementar la disponibilidad de nutrientes para los fetos.

Con la RI también se da un aumento en los niveles sanguíneos de leptina y ello provoca resistencia a la leptina (híperleptinemia) durante el último tercio de la gestación. Sin embargo, a diferencia de la RI, la hiperleptinemia no afecta el control de la saciedad o del apetito (Tessier *et al*., 2013; Nagaishi *et al*., 2014). No obstante, en la fase de lactancia, la resistencia a la leptina cesa, debido a que los valores de leptina se reducen conforme transcurre dicha fase, por lo que se reporta pérdida de la señal intracelular de la función de los receptores de leptina y prolactina, fenómeno que es evidente durante la primera semana de lactancia, favoreciendo el efecto de la hipofagia (Tessier *et al.,* 2013).

En relación al parto (proceso fisiológico muy demandante y estresante para la cerda), en este se induce la actividad del eje hipotálamo-hipófisis-adrenal, liberando adrenocorticotropina (ACTH), la cual estimula la síntesis y liberación de glucocorticoide (cortisol) por las adrenales fetales, esta liberación dará lugar al establecimiento de diferentes mecanismos que promuevan la ingesta de alimento

de elevada densidad energética, los cuales son considerados como poderosos disruptores de los procesos de regulación del apetito (Cortez *et al., 2018*). Por su parte, los altos niveles de prostaglandinas previo y al momento del parto promueven la liberación de oxitocina (desde la neurohipófisis) (Bartolomé, 2009; Cortés *et al*., 2018) con lo cual se activa la contractibilidad miometrial del útero estrogenizado preparto y, ello, provoca alteraciones en el apetito de la cerda (lo disminuye). Aunado a ello, la prolactina incrementa la sensibilidad a la insulina y la estabilidad de la glucosa en sangre (Pérez *et al.,* 2010; Bartolomé, 2009), pero no es eficiente para contrarrestar los altos niveles de GS postparto.

Finalmente, la fase hipergonadotropica (fase que ocurre inmediatamente después del parto) provoca incremento en la síntesis y liberación de estrógenos lo cual estimula la producción de FSH, generando un mayor requerimiento de glucosa (Barlos, 2015). Potencializando así la RI y la HFL. Aunado a ello, el inicio de la lactación y la intensidad de amamantamiento provocan la síntesis y liberación de péptidos opioides endógenos (POE) durante los primeros 14 días de lactación (su función es permitir el amamantamiento de los lechones sin que la cerda entre en estrés). Sin embargo, los POE al ser substancias morfínicas también alteran el mecanismo del apetito y de esta manera contribuyen con la RI y la HFL (Gaona, 2017). Aspectos que se evidencian con los resultados correspondientes a la GS en los primeros días de lactación (Figura 1).

La posible explicación de que los valores de glucosa, partir del 4to día hasta el día 14vo la glucosa, disminuyan (78.4 mg·dL^{-1}) (Figura 1), se debe a que en dicho

periodo se instaura la fase hipogonadotropica: inactividad de las células hipotalámicas para sintetizar y liberar GnRH y, por lo tanto, cesa la producción y liberación de FSH, puesto que los POE inhiben la síntesis y liberación de GnRH, (Britt, 1996). Aunado a ello, la RI para el día 14 de lactación ha cesado. Nogueiras (2012) siguiere que los POE disminuyen la ingesta de alimentos, ya que los sistemas opioides y de melanocortina centrales ciertamente interactúan. Las melanocortinas son una familia de proteínas que reducen el apetito, y su precursor, llamado pro-opiomelanocortin (POMC), codifica la hormona alfa-melanocítica que disminuye la ingesta de alimentos y la beta-endorfina que influye, entre otras cosas, en la ingesta de alimentos. De aquí que la hipofagia lactacional en los primeros 7 días postparto tiene una relación estrecha con resistencia a la insulina y el incremento de glucosa, posterior a esto la disminución de consumo voluntario de las cerdas puede estar relaciona con la presencia de los POE, aspecto que pudiera relacionarse entre la cantidad de glucosa presente del 14 al 21 de lactación con el consumo voluntario de alimento en dicho periodo (tabla 6).

Del día 15 al 21 postparto se instaura la última fase endocrinológica lactacional (fase de normalización) en donde se da el reinicio de la actividad ovárica y en la cual existe ausencia de POE (Britt, 1996) y los niveles de glucosa se normaliza (Ordaz *et al.,* 2017): 76.7 $mg \cdot dL^{-1}$ (Figura 1).

7.2 Niveles de HbA1c en cerdas gestantes y lactantes independientemente de la ingesta o no del hipoglucemiante (nopal en base fresca o cocido al vapor)

Para el caso de la hemoglobina glicada (HbA1c) en cerdas en la fase de gestación, se encontró un valor de 61.6 $mg \cdot dL^{-1}$ $cerda^{-1}$, valor menor al promedio de glucosa sanguínea (GSp) obtenido durante el monitoreo de este metabolito durante la gestación (71.8 $mg \cdot dL^{-1}$ $cerda^{-1}$) (Figura 1). Aspecto que puede deberse a que la HbA1c refleja la glucemia media del individuo en los tres a cuatro meses previos a la toma de la muestra sanguínea (Campuzano y Latorre, 2010).

En la glucemia gestacional de las cerdas intervienen diversos factores, tales como: el número de parto, alimentación, esquema de alimentación, aspectos raciales y etapa fisiológica (Koketsu *et al*., 1998; Goad, 2019). Al respecto, en esta investigación se utilizaron cerdas del mismo genotipo, las mismas etapas fisiológicas en el mismo periodo experimental y el número de parto de estos animales fue ≤ 3.0 partos, aspecto que elimina parte de la variabilidad en este trabajo de investigación.

En la fase de lactación, específicamente al culminar dicha fase, los valores de HbA1c (65.6 $mg \cdot dL^{-1}$) fueron similares ($p>0.05$) a los observados en la gestación (61.6 $mg \cdot dL^{-1}$). Ello posiblemente se debió a que al tomar la muestra de HbA1c en gestación (día 85 de gestación) y al final de la lactación (21 días postparto) el periodo fue de 50 días, tiempo menor al periodo medio que comprende la determinación de glucemia mediante la prueba de HbA1c (tres a cuatro meses

previos a la toma de la muestra sanguínea) (Campuzano y Latorre, 2010), por ello, se obtienen prácticamente los mismos valores en gestación y al finalizar la lactancia.

Sin embargo, al comparar el valor de Hb1c (65.6 mg·dL^{-1}) con la GSp obtenida durante la fase de lactación (77.7 mg·dL^{-1}) el valor de HbA1c fue menor ($p<0.05$). Aspecto que se atribuye a que las GSp refleja los valores del día en que fue tomada la muestra durante la lactancia (Figura 1) y en el caso de la Hb1c se encuentra debido a que esta refleja la glucemia media del individuo en los tres a cuatro meses previos a la toma de la muestra, incluyendo gran parte de la fase de gestación en donde se encuentra valores de GS bajos (Campuzano y Latorre, 2010).

7.3 Niveles de glucosa sanguínea y HbA1c de acuerdo con la ingesta del hipoglucemiante (nopal en base fresca o cocido) durante la fase de lactación

En el día 117 post-servicio o día 3 postparto se encontró que los niveles de GS, de acuerdo al grupo, se comportaron de manera diferente ($p<0.05$) y en donde el G3 (testigo o sin adición de nopal) mostró mayor ($p<0.05$) concentración de GS (92.3 mg·dL $^{-1}$ cerda $^{-1}$), ello comparado con los G1 (nopal en BF) y G2 (nopal cocido): 83.3 y 88.8 mg·dL^{-1} cerda^{-1}, respectivamente; siendo el G2 en donde se observó el nivel de GS más bajo ($p<0.05$) al día 14 de la lactancia o 128 post-servicio (74.1 mg·dL^{-1} cerda^{-1}). Pero, al finalizar la lactancia los niveles de GS fueron similares ($p>0.05$) en los tres grupos analizados (77.3 mg·dL^{-1} cerda^{-1}) (Figura 2).

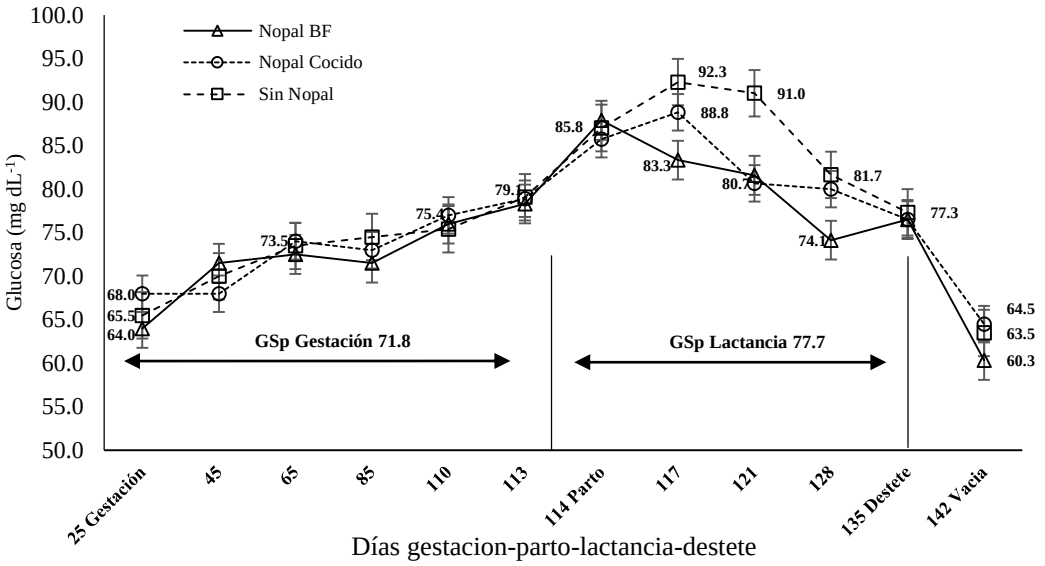


Figura 2. Dinámica de la glucosa plasmática prepandial de las cerdas que transitan por las fases de gestación al destete, de acuerdo con el efecto del hipoglucemiante (*O. ficus-indica*) durante la fase de lactación: Nopal en BF (G1); Nopal Cocido (G2); Sin nopal (G3).

Se ha determinado en diferentes estudios (Shapiro *et al*., 2002, Kendall *et al*., 2010, Nuñez *et al*, 2013; Ortiz *et al.,* 2020) que el consumo de nopal, particularmente produce efectos hipoglucemiantes debido al contenido de fibra dietética soluble; puesto que, el contenido de pectina y mucílago producen un pectigel que provoca: secuestro de lípidos del bolo alimenticio, incrementa la producción de ácidos biliares y ello finalmente provoca la disminución de la absorción de glucosa (Liu *et al*., 2016).

Además, el Ca^{+2} contenido en el nopal (28.6 mg/g^{-1} de materia seca) (Hernández *et al*., 2011) provoca la regulación de GS al estimular la secreción de insulina (Pari y Latha, 2005). No obstante, en el G1 (nopal en BF) y G2 (nopal cocido), los valores

de GS fueron menores ($p<0.05$) en el día 3 y 14 postparto (83.3 y 80.7 $mg \cdot dL^{-1}$ $cerda^{-1}$) y (88.8 y 80.7 $mg \cdot dL^{-1}$ $cerda^{-1}$) en el G1 y G2, respectivamente, en comparación con el G3 (92.3 y 91.0 $mg \cdot dL^{-1}$ $cerda^{-1}$). Las diferencias en los niveles de GS en los grupos 1 y 2, puedo deberse a los cambios fisicoquímicos del nopal cocido: aumentan de los niveles de lípidos mediante el proceso de cocción (20.2 ±0.8 $g^{-100g\ MS}$) en comparación con el nopal BF (10.8 ±0.8 $g^{-100g\ MS}$) (Tabla 5).

También, el nivel mayor de GS al día 14 posparto en el G2 (Figura 2) pudo deberse a que el consumo de alimento comercial fue mayor en este grupo (Tabla 7), en consecuencia, cuando los lípidos se encuentran en mayores cantidades, provoca que los niveles de GS circulante aumenten (Torrades, 2005). Otro de los aspectos atribuibles al menor efecto hipoglucemiante del nopal cocido, fue que el valor de fibra soluble disminuyo (19.0±0.7 $g^{-100g\ MS}$) en comparación con los valores del nopal BF (31.5± 0.7 $g^{-100g\ MS}$), provocando que disminuya el tránsito intestinal del alimento comercial más el nopal consumido, generando una mayor acción sobre los lípidos y en consecuencia una mayor absorción de glucosa (Escudero y González, 2006).

En relación de las medias de mínimos cuadrados (± EE) para los valores promedio de glucosa sanguínea (GSp) y hemoglobina glicada (HbA1c), se encontró efecto de grupo ($P<0.05$) y de la anidación grupo (fase productiva) ($P<0.05$) sobre dichas determinaciones (glucosa sanguínea promedio [GSp] y HbA1c). Por lo que, en las tres fases productivas analizadas en esta investigación (gestación-preparto, preparto-destete y gestación-destete) se observaron niveles menores en la HbA1c en los tres grupos analizados y en los cuales dichos niveles se mantuvieron entre

(61.1 a 70.7 mg·dL^{-1} cerda $^{-1}$) en comparación con los niveles de GSp (72.8 a 86.0 mg·dL^{-1} cerda $^{-1}$) (tabla 4).

Tabla 4. Medias de mínimos cuadrados (± EE) para los valores de glucosa sanguínea promedio (GSp) y hemoglobina glicada (HbA1c) de acuerdo con el grupo y fase de producción de las cerdas

		Fase productiva/duración de la fase		
		Gestación-Preparto	Preparto-destete	Gestación-Destete
Grupo (G)	Prueba	3.7 meses	0.7 meses	1.7 meses
G1, Nopal BF	GSp	70.1^{aP} ±2.9	80.9^{aP} ±1.4	78.9^{aP} ±1.4
	HbA1c	62.1^{b1} ±3.7	64.5^{b1} ±4.0	64.5^{b1} ±4.0
G2, Nopal cocido	GSp	72.5^{aP} ±2.9	82.0^{aP} ±1.4	80.2^{aPQ} ±1.4
	HbA1c	61.1^{b1} ±3.7	61.6^{b1} ±4.0	61.6^{b1} ±4.0
G3, control	GSp	72.8^{aP} ±2.9	86.0^{aQ} ±1.4	83.2^{aQ} ±1.4
	HbA1c	61.6^{b1} ±3.7	70.7^{b2} ±4.0	70.7^{b2} ±4.0

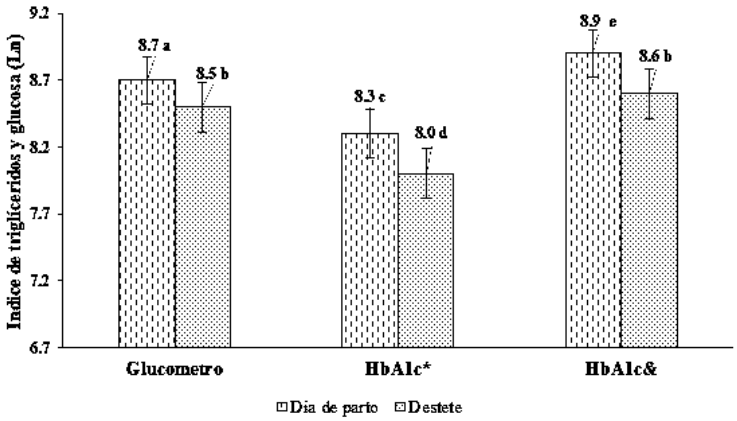
Literales $^{a, b}$ indican diferencias ($p<0.05$) entre glucosa y HBA1c dentro de tratamiento y fase
Literales $^{P, Q}$ indican diferencias ($p<0.05$) de glucosa entre tratamientos dentro de fase
Numerales $^{1, 2}$ indican diferencias ($p<0.05$) de HBA1c entre tratamiento dentro de fase

Los valores de GSp y HbA1c en los tres grupos analizados se encontraron más altos al parto (Tabla 4), aspecto que concuerda con Pére y Etienne (2007), quienes reportan niveles altos de GS (> 90 mg·dL^{-1} día^{-1}) alrededor del momento del parto; puesto que, facilita la adaptación de las cerdas a la creciente demanda de energía de esta fase (parto); aunado a ello, Yang *et al*. (2009) determinaron que los niveles plasmáticos de GS al parto están supeditados a factores tales como: edad de las cerdas, condición corporal, genotipo, nutrición y, duración de la lactación. Sin embargo, en el G3 (o grupo control) los valores de GSp y HbA1c fueron más elevados, lo cual se atribuye a que no consumieron el hipoglucemiante (Nopal cocido o en BF).

7.4 Índice de triglicéridos y glucosa (TyG)

El índice de TyG es una herramienta que puede ser útil para diagnosticar la resistencia a la insulina en cerdas durante las fases de gestación y lactación, puesto que, dicha herramienta analiza el dinamismo de la glucosa en pacientes con RI y diabéticos, siendo este análisis de suma importancia, ya que a través de esta y con la determinación de triglicéridos se puede calcular el TyG (Guerra *et al*., 2007). Es por ello por lo que el índice de TyG puede ser viable para la utilización en cerdas, puesto que, las cerdas atraviesan por el proceso de RI a partir del día 85 de gestación y durante la lactancia y, ello, limita el consumo voluntario de alimento en lactancia; lo cual repercute en indicadores reproductivos y de interés económico para los sistemas de producción porcina (Mosnier *et al*., 2010; Cools *et al*., 2013).

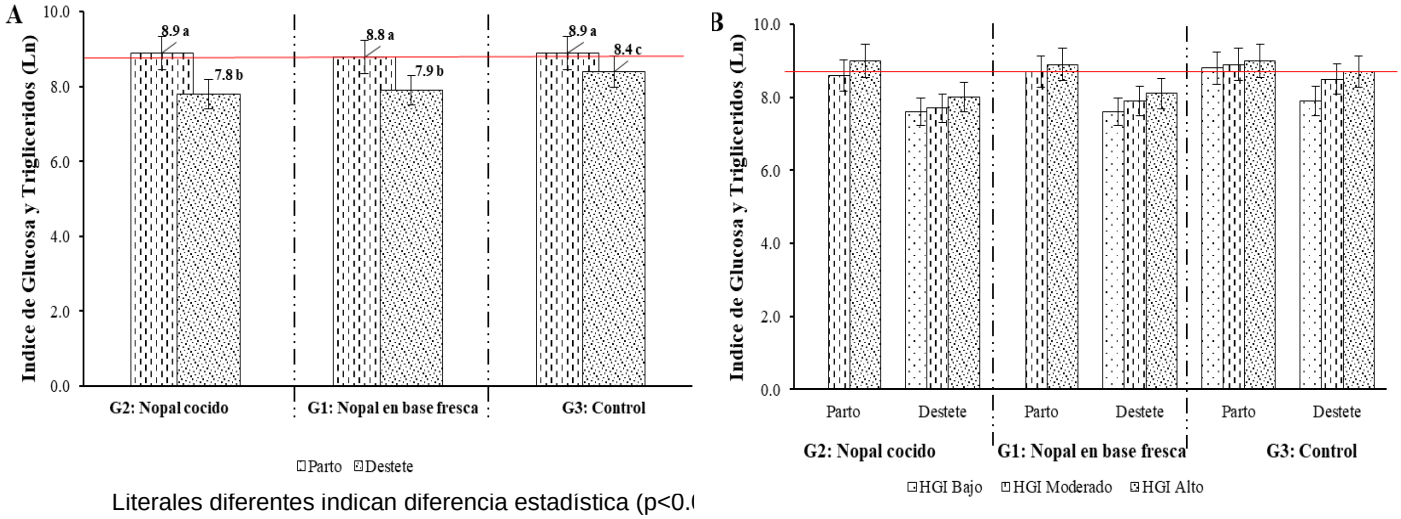
En relación con el índice TyG se encontró efecto de grupo ($p<0.05$) en el parto y al destete, en donde los valores de dicho índice y obtenidos mediante glucosa derivada de la HbA1c (8.7 Log_{10}) y glucosa plasmática determinada con glucómetro (8.9 Log_{10}) fueron mayores ($p<0.05$) al parto y al destete (8.5 y 8.6 Log_{10}, respectivamente) vs valores del índice TyG obtenidos por el IGH (8.3 Log_{10} al parto y 8.0 Log_{10} al destete) (Figura 3). Por otro lado, los resultados obtenidos mediante glucosa determinada con glucómetro, fue más precisa para determinar RI, considerando RI alta con un valor ≥8.8 Log_{10}, RI moderada implica un valor de 8.4 a 8.7 Log_{10} y RI baja está determinada por un índice TyG ≤ 8.3 Log_{10}.



Literales diferentes indican diferencia estadística ($p<0.05$) entre columnas.

Figura 3. Valores promedio del índice de triglicéridos y glucosa (TyG) de acuerdo con el método de obtención de glucosa: ® por glucómetro; * glucosa derivada de la HbA1c reportada por el laboratorio y & glucosa derivada del índice de glicación de hemoglobina (IGH)

De acuerdo con el índice TyG, los tres grupos analizados presentaron RI al momento del parto en comparación del destete ($p<0.05$) en los grupos de cerdas sometidas a las dietas adicionadas con el hipoglucemiante (nopal en BF o cocido). Con relación a los Índice TyG de acuerdo con el grupo (Figura 6: A) el G3 no logró escapar a los efectos de la RI durante la lactancia, puesto que el valor obtenido al finalizar la lactancia fue de 8.4 log_{10}, valor que posiciona a este grupo de cerdas con RI moderada. Ello en comparación con los grupos a los que se les adicionó nopal en BF o cocido, cuyos índices de TyG fueron de 7.8 y 7.9 log_{10}) lo que los ubica en RI baja ($p<0.05$).



Literales diferentes indican diferencia estadística (p<0.

Figura 4. Índice de triglicéridos y glucosa de acuerdo con el grupo (A) y la interacción grupo*tercil del HGI (B). LA glucosa utilizada para determinar el índice fue la derivada de la HbA1c del IGH.

Como ya se ha mencionado, la RI durante el último tercio de la gestación y al parto, se debe a los requerimientos elevados de glucosa para el crecimiento exponencial de los fetos y el desarrollo de la glándula mamaria (Mosnier *et al*., 2010; Farmer *et al*., 2007). De acuerdo con los resultados, es evidente que cerdas que consumieron el hipoglucemiante durante la lactancia presentaron, el día del destete, índices TyG menores con respecto el control.

Tabla 5. Medias de mínimos cuadrados (± EE) para los valores promedio de hemoglobina glicada (HbA1c), glucosa sanguínea (GS) prepandial, triglicéridos (TG) e índice TyG de acuerdo con el grupo y fase

Grupo (G)	Fase	HbA1c	GS	TG	ITG
G1, Nopal cocido	Parto	5.2 ±0.12^{a}	71.0 ±6.4^{a}	48.8 ±3.1^{a}	8.8 ±0.08^{a}
	Destete	5.4 ±0.12^{b}	81.2 ±6.4^{b}	36.1 ±3.1^{b}	8.5 ±0.08^{b}
G2, Nopal BF	Parto	5.2 ±0.12^{a}	71.5 ±6.4^{a}	45.9 ±3.1^{a}	8.8 ±0.08^{a}
	Destete	5.4 ±0.12^{b}	79.8 ±6.4^{b}	34.4 ±3.1^{b}	8.5 ±0.08^{b}
G3, Control	Parto	5.4 ±0.12^{b}	81.0 ±6.4^{b}	49.8 ±3.1^{a}	8.9 ±0.08^{c}
	Destete	5.8 ±0.12^{c}	100.7 ±6.4^{c}	45.3 ±3.1^{a}	8.9 ±0.08^{c}
Promedio general	Parto	5.3 ±0.07^{a}	74.5 ±3.9^{a}	48.2 ±1.9^{a}	8.8 ±0.05^{a}
	Destete	5.5 ±0.07^{b}	87.2 ±3.9^{b}	38.6 ±1.9^{b}	8.6 ±0.05^{b}

Literales $^{a, b, c}$ indican diferencias (p<0.05) dentro de columna.

En esta investigación se pudo establecer que, el índice de TyG fue mayor en el grupo control, debido a que los valores de glucosa y los triglicéridos en este grupo fueron mayores (Tabla 5) con respecto a los grupos que consumieron nopal como parte de su dieta. En este sentido y como ya se ha establecido en este trabajo, el efecto hipoglucémico y el efecto hipocolesterolemico del nopal, atribuido esencialmente por la presencia de fibra dietética soluble (FDS), la cual posee capacidad para formar un gel que interfiere con la absorción de lípidos y colesterol (Jennings *et al*., 1988, Morán *et a*l., 2012) y ello, disminuye los niveles de GS y provoca que las cerdas "escapen" a la RI al término de la lactación.

En relación con la porción de cerdas con RI de acuerdo con la clasificación del índice TyG, se observó que, durante la fase de parto, las cerdas ($p<0.05$) de los tres grupos presentaron RI entre alta y moderada: 89% diagnosticadas con glucosa derivada de HbA1c y 100% con diagnóstico a través de glucosa sanguínea (Figura 7). Sin embargo, el diagnostico con glucosa derivada de HbA1c, en la fase de destete en los tres grupos se observó que el 39% de las cerdas "escaparon" a RI, el resto presento RI alta o moderada de cerdas con RI.

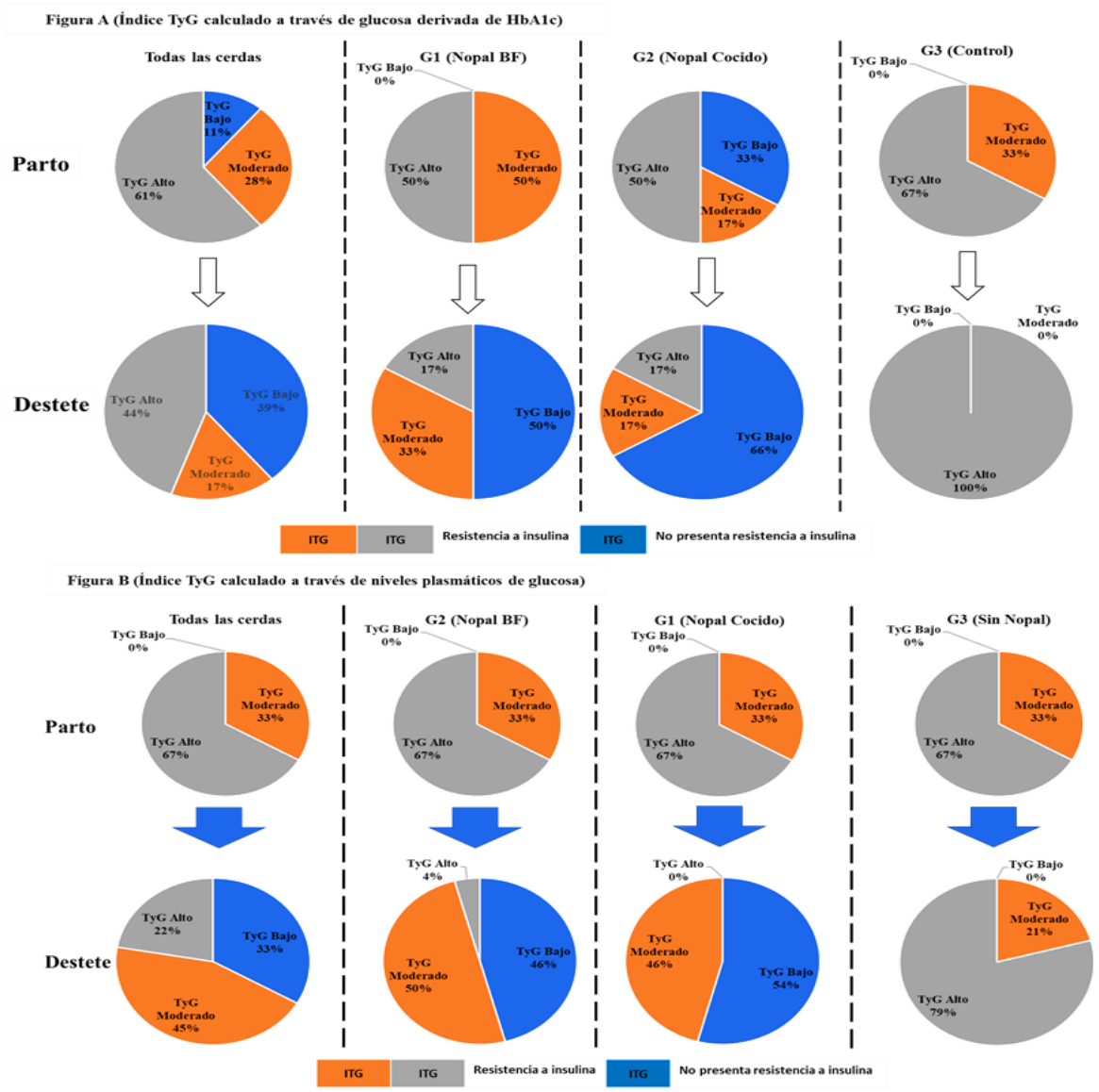


Figura 5. Proporción de cerdas con resistencia a insulina de acuerdo con la clasificación del índice TyG (calculado con glucosa derivada de HbA1c [Figura A] o con niveles plasmáticos de glucosa [Figura B]), grupo y fase productiva.

En cuanto a la proporción de cerdas con RI diagnosticada con glucosa plasmática (al finalizar la fase de lactación) se encontró que 33% de las cerdas presentaron RI bajo, el resto presentó RI alta o moderada (Figura 5) G1 (nopal en BF) mostró 50% de cerdas con RI alto y 50% con RI moderado; en comparación el G2 (nopal cocido),

presento 50% de cerdas con RI alto y 17% con RI moderada. Mientras que G3 (control) presentó 67% de cerdas con RI alto y 33% con RI moderada.

Respecto a la proporción de cerdas con RI de acuerdo con el grupo, se pudo observar que el 33% de cerdas del G2 (nopal cocido) no presentaron RI (TyG bajo) al parto vs G1 (nopal en BF) y G3 (control) en donde el 100% de las cerdas presentó RI (alta o moderada), ello de acuerdo con el diagnóstico de RI con glucosa derivada de HbA1c. Mientras que, la proporción de cerdas grupo^{-1} con RI diagnosticada al parto y mediante niveles plasmáticos de glucosa fue como sigue: 67% de cerdas con RI alta y 33% con RI moderada, en los tres grupos (Figura 5).

En cuanto al diagnóstico de cerdas con RI mediante glucosa derivada de HbA1c al término de la fase de lactación (destete), se encontró que en el G1 (nopal en BF) 50% de las cerdas "escaparon" a la RI (índice TyG bajo), en el G2 (nopal cocido) el 66% de las cerdas no presentaron RI y en el G3 (control), el 100% presentaron RI alto. Ello en comparación con el diagnóstico de RI a través de glucosa plasmática: 46 y 54 con RI bajo, en el G1 y G2 respectivamente. Mientras que en G3, el 100% de las cerdas aun presentaban RI (79% con TyG alto y 21% con TyG moderado) (Figura 5).

De acuerdo con el diagnóstico de RI mediante glucosa derivada de HbA1c o con glucosa plasmática, se pudo observar que, el índice de TyG calculado con glucosa plasmática, fue más preciso para determinar los niveles de RI en los tres grupos al momento de del parto y al destete (Figura 5). Aspecto que concuerda con varios

estudios que utilizaron la GS para calcular dicho índice y han demostrado que es un indicador eficaz y confiable que refleja la variación de GS y puede utilizarse para predecir los resultados relacionados con RI (Du *et al*., 2014; Marini *et al*., 2017; Kim *et al*., 2018). Por último, los grupos que recibieron la dieta para lactancia adicionada con nopal (G1 y G2) presentaron menores porcentajes de cerdas con RI, aspecto que se atribuye al efecto hipoglucemiante e hipocolesterolemico del nopal. Ortiz *et al*. (2020) establecieron que durante la fase de lactación las cerdas presentan una mejoría en la regulación de la GS debido a la ingesta del nopal, provocando que las cerdas "escapen" al efecto de la hipofagia lactacional causada por la RI. Aspecto que se confirmó en esta investigación (Tabla 6).

Tabla 6. Medias de mínimos cuadrados (± EE) para los valores promedio de consumo de alimento total* (kg cerda^{-1} día^{-1}) durante la fase de lactación de acuerdo con la clasificación del ITG (por glucosa derivada del IGH o glucosa en sangre), en el total de cerdas analizadas y por grupo

Cálculo del índice TyG	TyG	Independiente del Grupo (G)	Grupo		
			G1, Nopal BF	G2, Nopal Cocido	G3, Control
Glucosa derivada del HbA1c	Bajo	5.6^{a} ±0.16	5.2^{a1} ±0.26	5.9^{a2} ±0.20	---
	Moderado	3.9^{ab} ±0.23	3.6^{b1} ±0.46	3.9^{b1} ±0.46	4.2^{a1} ±0.23
	Alto	2.8^{b} ±0.23	2.7^{c1} ±0.32	---	2.9^{b1} ±0.32
Glucosa plasmática	Bajo	5.5^{a} ±0.35	4.9^{a1} ±0.48	6.2^{a2} ±0.52	---
	Moderado	4.6^{b} ±0.35	4.2^{a,b1} ±0.52	5.7^{a2} ±0.50	3.8^{a1} ±0.77
	Alto	3.6^{b} ±0.89	3.8^{b1} ±0.50	---	3.4^{a1} ±0.39

*= Alimento comercial más consumo del hipoglucemiante: nopal en BF (0.529±0.09 kg cerda^{-1} día^{-1}), nopal cocido al vapor (1.305±0.09 kg cerda^{-1} día^{-1})
Literales $^{a, b}$ indican diferencias ($p<0.05$) dentro de columna para cada intervalo.
Numerales $^{1, 2}$ indican diferencias ($p<0.05$) entre grupos dentro de fila.

En relación de las medias de mínimos cuadrados (± EE) para el consumo voluntario de alimento (CVA) total* (kg cerda^{-1} día^{-1}) durante la fase de lactación, se encontró efecto de grupo ($p<0.05$) y de la anidación grupo (clasificación del índice TyG)

($p<0.05$) sobre dicha variable (CVA_{total}). De acuerdo con los resultados, se encontró que entre más alto sea el índice de TyG (independientemente del método calculado: glucosa sanguínea o glucosa derivada de HbA1c) menor es el consumo de alimento (Tabla 6). En cuanto al efecto del grupo sobre CVA_{total}, el G2 (nopal cocido al vapor) mostró los mayores valores ($p<0.05$): 5.9 a 6.2 kg de alimento día^{-1} cerda^{-1} con índice TyG bajo (escape a RI) vs G1 (nopal en BF): 4.9 a 5.2 kg de alimento día^{-1} cerda^{-1} con índice TyG bajo (escape a RI). Mientras que el grupo control, mostró los consumos más bajos ($p<0.05$) 3.8 a 4.2 kg de alimento día^{-1} cerda^{-1} con índice TyG moderado (RI moderada) (Tabla 6).

De acuerdo con lo anterior, se puede establecer que, la regulación de la GS a través de la ingesta del nopal (en BF o cocido) provoca que las cerdas "escapen" a la RI y al efecto de la hipofagia fisiológica lactacional. Aspecto que se comprobó con el índice TyG y con el CVA_{total} día^{-1} cerda^{-1} de cuerdo a dicho índice. Por lo que, el índice TyG es una herramienta de diagnóstico innovadora y viable en la producción porcina.

8. Conclusión

La dieta de las cerdas adicionada con nopal (*O*. *Ficus -índica)* cocido al vapor es una alternativa nutricional que disminuye los valores de glucosa sanguínea, triglicéridos y HbA1c de manera que aumenta el consumo voluntario alimento en las cerdas postparto en comparación con las dietas adicionadas con nopal (*O*. *Ficus-índica)* en base fresca; ya que genera una mejor respuesta de apetito por parte de las cerdas, debido a que la disminución de glucosa no es tan excesiva como el nopal en base fresca.

9. Bibliografía.

Aherne, F. (2001). Feeding the lactating Sow. University of Alberta. Revista Extensión. Disponible en: [línea] https://articles.extension.org/pages/27437/feeding-the-lactating-sow.

Ahmed, F.A., and Ali R.F.M. (2013). Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Fresh and Processed White Cauliflower. BioMed Research International. 1–9. doi:10.1155/2013/367819l.

Ahumada, J. (2021). Efecto de adición de nopal (*Opuntia ficus- indica)* cocido a la dieta de cerdas post- parto sobre: consumo voluntario de alimento y su relación con el metabolismo energético. Tesis de Maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Amo, F. (2018). El mercado de la carne de cerdo en México. ICEX España Exportación e Inversiones. Disponible [en línea]: https://carnica.cdecomunicacion.es/images/descargas/carnica/M%C3%A9xico_El_mercado_de_la_carne_de_cerdo.pdf

Armesto, J. Gómez-Limia, L. Carballo, J., and Martínez, S. (2018). Effects of different cooking methods on the antioxidant capacity and flavonoid, organic acid and mineral contents of Galega Kale (Brassica oleracea var. acephala cv. Galega). International Journal of Food Sciences and Nutrition.1–14.

Barlos, M. (2015). Influencia de las gonadotrofinas y la insulina en la incorporación de glucosa por el complejo ovocito-cumulus porcino durante la maduración in vitro. Licenciatura. Universidad de Buenos Aires.

Bartolomé, J. (2009). Endocrinología y fisiología de la gestación y el parto en el bovino. Taurus, Bs. As., 42 :20-28

Begoña, C. Lainez, M. Cerisuelo, A. Belenguer, P. (2012). Estudio de reservas corporales en cerdas nulíparas y multinulíparas, Anaporc. Disponible en: [Línea]: https://issuu.com/instituto_leblu/docs/48-53.producci_n_porcina.

Britt J.H. (1996). Biology and Management of the Early Weaned Sow. 27th Annual Meeting. American Association of Swine Practitioners. 417-426.

Bueno, E. y Sarniento, A. (2015). Nuevos avances en la alimentación de cerdas ibéricas VII jornadas, Cooperativa COBADU, Salamanca, España.

Campuzano, G. Latorre, G. 2010. La HbA1c en el diagnóstico y en el manejo de la diabetes. Medicina & Laboratorio; 16: 211-241.

CEDRSSA. 2018. La Porcicultura en México. Situación y Perspectiva. [En línea]: http://www.cedrssa.gob.mx/files/10/71La%20Porcicultura%20en%20M%C3%A9xico.%20Situaci%C3%B3n%20y%20Perspectiva.pdf

CIOMS. (1985). International guiding principles for biomedical research involving animals. In: Organization WH editor. International guiding principles for biomedical research involving animals. Council for International Organizations of Medical Sciences ed. Geneva.

Cools, A. Maes, D. Decaluwé, R. Buyse, J. Van kempen, T.A. Janssens, G.P. (2013). Peripartum changes inorexigenic and anorexigenic hormones in relation to back fat thickness and feedind strategy of sows. Domestic animal Endocrinology 45: 22-27.

Cortés. C. Escobar, A. Cebada, J. Soto, G. Bilbao, T. Vélez, M. (2018). Estrés y cortisol: implicaciones en la ingesta de alimento. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, *37*:1-15.

Cortez, R. M., Ortiz, A., Zepeda, L. G., Necoechea, H. (2015). Effects of Cooking Methods on Phenolic Compounds in Xoconostle (*Opuntia xoconostle*). Plant Foods for Human Nutrition. 70, 85–90.

De Luis, D. Gómez, E. Ortolá, A. Delgado, E. Díaz G, Torres, B. López, J. (2020). La variante rs10401670 del gen de la resistina se relaciona con los niveles de resistina circulante, la resistencia a la insulina y la presencia de diabetes mellitus de tipo 2 en los pacientes obesos. Nutr Hosp. 292 – 293.

Diario Oficial de la Federación. Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. Norma Oficial Mexicana NOM-062- ZOO-1999. Diario Oficial de la Federación 2001(miércoles 2 de agosto).

Du, T. Yuan, G. Zhang, M. Zhou, X. Sun, X. Yu, X. (2014). Clinical usefulness of lipid ratios, visceral adiposity indicators, and the triglycerides and glucose index as risk markers of insulin resistance. Cardiovasc. Diabetol. 13: 146.

Escudero, E. González, P. (2006). La fibra dietética. *Nutr. Hosp*, *21:* 61-72.

Farmer, C. (2016). Altering prolactin concentrations in sows. Domest. Anim. Endocrinol. 56: 155–164.

Farmer, C. Charagu, P. Palin, M.F. (2007). Influence of genotype on metabolic variables, colostrum and milk composition of primiparous sows. Can J Anim Sci; 87:511-515.

Farmer, C. Trottier, N. and Dourmad, J.Y. (2008). Current knowledge on mammary blood flow, mammary uptake of energy precursors and their effects on sow milk yield. Can. J. Anim. Sci. 88: 195-204.

Fernández, S. (2020). ¿Cómo elijo a mis cerdas de reemplazo? Parte 1. Disponible en: [Línea]: https://www.porcicultura.com/destacado/%C2%BFComo-elijo-a-mis-cerdas-de-reemplazo_-Parte-1.

FIRA. 2020. Panorama Agroalimentario carne de cerdo. Disponible [En línea]: https://www.porcicultoresmerida.com.mx/app/download/12326918557/Panorama+Agroalimentario+Carne+de+cerdo+2020.pdf?t=1597967721.

Gaona, J. (2017). Endorfinas Las hormonas de la felicidad. España: La esfera de los libros, 1: 11 - 12.

Germán, C. Camacho, J. Gallegos, J. (2005). Manual del participante producción de cerdos. Disponible en: [Línea]: http://www.ciap.org.ar/Sitio/Archivos/14960672-Manual-de-Produccion-Cerdos.pdf

Godina, A. Pacheco, F. (2016). Situación de la porcicultura mexicana (I). El economista. Disponible [En línea]: https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Situacion-de-la-porcicultura-mexicana-I-20160530-0007.html.

Gómez. Rebollar, S. Hernández, J. Guzmán, E. (2012). Disponible [En línea]: http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/139/7/RCE_MZO-ABR_2012_Competitividad.pdf

Guerra, M. Torres A, L. Alvarado M, Bustamante T, Lavalle C, Luján D. (2007). Relación de los niveles de HbA1c (%) y de fructosamina (mg/dl) en

sujetos saludables y diabéticos tipo 1.v. Universitas Scientiarum Revista de la Facultad de Ciencias.12 (1):55-65.

Guerrero, F. Simental, L.E. González, M. Martinez, E. Ramos M.G. Hernandez Gonzalez, S.O. (2010). The product of triglycerides and glucose, a simple measure of insulin sensitivity. Comparison with the euglycemic-hyperinsulinemic clamp. J Clin Endocrinol Metab. 95:3347-51.

Hempe, J.M. Liu, S. Myers, L. McCarter, R.J. Buse JB. Fonseca V. (2015). The hemoglobin glycation index identifies subpopulations with harms or benefits from intensive treatment in the ACCORD trial. Diabetes Care. 38:1067–74.

Hernández, U. Pérez, T. Rodríguez, G. (2011). Chemical Analysis of Nutritional Content of Prickly Pads (Opuntia ficus indica) at Varied Ages in an Organic Harvest. Int. J. Environ. Res. Public Health. 8: 1287-1295.

Huang, F.R. Liu, H.B. Sun, H.Q. Peng, J. (2013). Effects of lysine and protein intake over two consecutive lactations on lactation and subsequent reproductive performance in multiparous sows. Livestock Science 157: 482-489.

INEGI. (2010). Anuario Estadístico del Estado de Michoacán. Ed. 2009-2010. 127-142.

Instituto Nacional de Economía Social. (2018). Porcicultura, una actividad milenaria. Disponible en: [línea]: https://www.gob.mx/inaes/es/articulos/porcicultura-una-actividadmilenaria?idiom=es#:~:text=La%20porcicultura%20es%20una%20de,las%20zonas%20donde%20se%20realiza.

Jennings, D. Bridges, S. R. Wood, P.J. & Anderson, J. W. (1988). A comparison of the Lipid-Lowering and Intestinal Morphological Effects of Cholestyramine, Chitosan, and Oat Gum in Rats. Preceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine, 20 (189); 13-20.

Kim, M. K. Jeong, J. S. Yun, J.-S. Kwon, H.-S. Baek, K. H. Song, K.-H. Ko, S.-H. (2018). Hemoglobin glycation index predicts cardiovascular disease in people with type 2 diabetes mellitus: A 10-year longitudinal cohort study. Journal of Diabetes and Its Complications. doi: 10.1016/j.jdiacomp.2018.08.007.

Kim, S.W. Weaver, A.C. Shen, Y.B. Zhao, Y. (2013). Improving efficiency of sow productivity: nutrition and health. Journal of Animal Scienci and Biotechnology 4(26): 1-8.

Kraeling, R.R. Barb, C.R. (1990). Hipotalamic Control of Gonadotrophin and Prolactin Secretion in Pigs. Control of Pig Reproduction III. Journal Reprod Fertil. 40: 3-17.

Littell, R.C. Henry, P.R. Ammerman, C.B. (1998). Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. J Anim Sci.76: 1216 -1231.

Liu, Q. Zhang, Q.M. Zhang, Z.J. Zhang, Y.J. Zhang, Y.W. Chen, L. Zhuang, Z. (2016). Effect of fiber source and enzyme addition on the apparentdigestibility of nutrients and physicochemical properties ofdigesta in cannulated growing pigs. Animal feed science and technology 216: 262- 272.

Lovise, S. T. Helen, A.G. Petter, N.K. Hetland, H. Framstad, T. (2013). Pea starch meal as a substitute for cereal grain in diets for lactating sows: the effect on sow and litter performance. Livestock science. 157: 210-217.

Marini, M.A. Fiorentino, T.V. Succurro, E. Pedace, E. Andreozzi, F. Sciacqua, A. Perticone, F. Sesti, G. (2017). Association between hemoglobin glycation index with insulin resistance and carotid atherosclerosis in non-diabetic individuals. PLoS One.; 12(4): e0175547.

Martínez, A. Maldonado, J. López, M. (2011). Métodos diagnósticos de la resistencia a la insulina en la población pediátrica. Boletín médico del Hospital Infantil de México. 68(5), 397-404.

Martínez, M. Miana, M. Jurado, L. Bartolomé, M. Souza, N. (2013). The potential role of leptin in the vascular remode- ling associated with obesity. Int. J. of Obesity. 38: 12: 1565-72.

Martínez, R. (2018). Importancia de la pubertad en las cerdas. Disponible en: [Línea]: https://www.porcicultura.com/destacado/Importancia-de-la-pubertad-en-las-cerdas#:~:text=Un%20menor%20tama%C3%B1o%20de%20camada,por%20los%20tres%20primeros%20partos.

Martínez, T. Mora, D. (2010). Conocimientos y opiniones sobre la carne de pollo de dos comunidades ruralurbana de Costa Rica. Rev Costarr Salud Pública. 19: 3-11

Mateos, G. y Piquer, J. (2020). Programas de Alimentación para nuestras Cerdas Reproductoras. Disponible [En línea]: https://razasporcinas.com/programas-de-alimentacion-para-nuestras-cerdas-reproductoras/.

Morán, S. Ávila, A. Tovar, A.R. Pedraza, J. López, P. Torres, N. (2012). Opuntia ficus indica (Nopal9 attenuates hepatic steatosis and oxidative stress in obese Zucker (fa/fa) rats. Journal of Nutrition, 142(11): 1956- 1963.

Mosnier, E. Etienne, M. Ramaekers, P. Pére, MC. (2010). The metabolic status during the peri partum period affects the voluntary feed intake and the metabolism of the lactating multiparous sow. Livestock Science. 127, 127-136.

Murillo, A. Álvarez, J. M. Villalba, D. Cano, G. (2013). La composición de las dietas de las cerdas lactantes y la producción láctea. FEDNA. 113-145.

Nagaishi, V.S. Cardinali, L.I. Zampieri, T.T. Furigo I.C. Metzger M. Donato J.J. (2014). Possible crosstalk between leptin and prolactin during pregnancy. Neuroscience. 259, 71–83.

Nogueiras, R. Romero, A. Vázquez, M. Novelle, M. López, M. Diéguez, C. (2012). El sistema opioide y la ingesta de alimentos: mecanismos homeostáticos y hedónicos. Hechos de Obes. 5: 196 – 207

Nuñez, M.A.L. Paredes, O.L. Y Reynoso, R.C. (2013). Functional and hypoglycemic properties of nopal cladodes (O. ficus-indica) at fifferent maturity stages using in vitro and in vivo test. Journal of agricultural and food chemistry 61, 10981-10986.

Ordaz, G. Juárez, A. García, A. Pérez, R. Ortiz, R. (2013). Efecto del número de parto sobre los principales indicadores reproductivos de las cerdas. Revista Científica FCV- LUZ. Vol. XXIII, (6): 511- 519.

Ordaz, G. Juárez, A. Valdez, J. Martínez, H. Portillo, L. Pérez, R. E. Ortiz, R. (2019). Characterization of the metabolic modulation of sows during peripartum and lactation and their association with the lactational physiological hypophagia: a review. Tropical and Subtropical Agroecosystems. (22): 547-573.

Ordaz, O.G. Juarez, C. A. Pérez, S.R.E. Román B. R. M. Ortiz, R.R. (2017). Effect of spineless cactus intake (Opuntia ficus-indica) on blood glucose levels in lactating sows and its impact on feed intake, body weight loss, and weaning-estrus Interval. Trop Anim Health Prod (49):1025–1033.

Ordaz, G. (2014). Evaluación de la productividad e impacto económico al utilizar una tasa de remplazo del 100% en cerdas de primer parto en un sistema de producción porcina. Tesis de Maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Ortiz, R. (2019). Impacto de la gestión administrativa tradicional en las empresas porcinas del centro de México. Revista Científica del Instituto Iberoamericano de Desarrollo Empresarial. Vol 1. (4): 111- 137.

Ortiz, R. Lopez, M. Perez, R. E. Ramirez, P. de la P. Ordaz, G. (2020). Effect of the inclusión of different levels of dietary cactus (*opuntia ficus- indica*) on gilts´ biochemical parameters and feed intake during lactation. Animals, 10 (10): 1-16.

Ortiz, R. Román, E. y Ayala, M. (2019). Análisis de rentabilidad y sensibilidad de una empresa porcícola productora de lechones destetados a través de metodologías de matriz de análisis de políticas. Revista Científica del Instituto iberoamericano de Desarrollo Empresarial. Vol1. (4):148-169.

Ortiz, R.R. Ordaz, O.G. Juárez, C.A. Pérez, R.E. (2014). Efecto de nopal (opuntia ficusindica) sobre los niveles de glucosa sanguínea en cerdas lactantes y su repercusión en el consumo voluntario de alimento. XXIV Congreso de la asociación latinoamericana de producción animal y XL Congreso de la sociedad chilena de producción animal. Sochipa. A.G.

Ortiz, R.R. Orozco, G.A. Arreola, V.D. Martínez, F.H.E. y Pérez, S.R.E. (2017). Efecto de la adición de nopal (Opuntia ficus-indica) a la dieta de cerdas lactantes sobre la producción y calidad de la leche. Revista de Investigación de la Universidad De La Salle Bajío. Nova Scientia. N° 18, Vol. 9 (1). pp.: 290-312.

Pari, L. and Latha, M. (2005). Antidiabetic effect of scoporia dulcis: Effect on lipid peroxidation in streptozocin diabetes. Gen. Physiol. Biophys. 24: 13-26.

Pére, M.C. and Etienne M. (2007). Insulin sensitivity during pregnancy, lactation, and postweaning in primiparous gilts. J Anim Sci; 85(1):101-109.

Pérez, G. González, O. Cano, M. (2010). Inhibidores del cotransportador sodio-glucosa tipo 2 (SGLT2): de la glucosuria renal familiar al tratamiento de la diabetes mellitus tipo 2. Nefrologia.30: (6): 599-714.

Pérez, R. Ordaz, G. Caratachea, A. Bravo, R. Ortiz, R.O (2016). Validation of A Commercial Hand-Held Human Electronic Glucose Meter for use in Pigs, Int. J. Pure App. Biosci. 4(4): 1-7.

Pérez, S.R.E. Ordaz, O.G. Juárez, C.A. García, V.A. Ortiz, R.R. (2015). Efecto del número de parto sobre el consume de alimento voluntario de las cerdas durante la fase de lactancia y su repercusión en el intervalo destete-estro. Nota técnica. Rev.Cient. FCV-LUZ XXV (2): 145-152.

Pesado, F. Rodríguez, E. (2020). La carne de cerdo en el mundo y las importaciones y exportaciones del producto por México. Disponible en: [En línea]: https://bmeditores.mx/secciones-especiales/la-carne-de-cerdo-en-el-mundo-y-las-importaciones-y-exportaciones-del-producto-por-mexico/#

Revell, D. Williams, I. Mullan, B. Ranford, J. Smits, R. (1998). Body composition at farrowing and nutrition during lactation affect the performance of primiparous sows: I. Voluntary feed intake, weight loss, and plasma metabolites. J. Anim. Sci. 76: 7: 1729-1737.

Rodríguez, G.J. (2009). Estudio de Diferentes Marcadores de Glicación en las Complicaciones Crónicas de la Diabetes Mellitus. Doctorado. Universidad de Santiago de Compostela. 35-37.

Rodríguez, A. Fortiz, A. (2016). Calidad de nopal fresco cortado envasado con películas plásticas durante el almacenamiento a baja temperatura. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.7 (4): 793-807

SAS (2000). Statistical Analysis Sistem Institute. Guide for personal computers. Version 8.

Silva, B. (2017). ¿Es eficiente la lactación de las cerdas hiperprolíficas? (1/2). Disponible en: [Línea]: https://www.3tres3.com/articulos/%C2%BFes-eficiente-la-lactacion-de-las-cerdas-hiperprolificas-1-2_38044/.

SEDRUA. (2020). Se estima para 2020 una producción de 1.7 millones de toneladas de carne de porcino: Agricultura. Disponible en: [Línea]: https://www.gob.mx/agricultura/prensa/se-estima-para-2020-una-produccion-de-1-7-millones-de-toneladas-de-carne-de-porcino-agricultura

Tessier D.R. Ferraro Z.M. Gruslin A. (2013). Role of leptin in pregnancy: consequences of maternal obesity. Placenta. 34, 205–211.

Torrades, S. (2005). Diabetes tipo 2. Elsevier. 24: 118-122.

Vargas, L. (2020). ¿A qué peso y edad se sirve una cerda de reemplazo?. Disponible en: [Línea]: https://www.porcicultura.com/destacado/%C2%BFA-qu%C3%A9-peso-y-edad-se-sirve-una-cerda-de-reemplazo%3F.

Vera, R. (2020). Sector porcino y su bienestar animal en México. [En línea]. https://www.porcicultura.com/destacado/Sector-porcino-y-su-bienestar-animal-en-Mexico.

Vizcaíno, E. Piñeiro, C. Aparicio, M. De Andrés, M. (2017). Disponible en: [Línea]: https://www.3tres3.com/articulos/%C2%BFhiperprolificas-si-pero-no-tanto_37613/.

Yang, Y.X. Heo, S.J.Z. Yun, J.H. Choi, J.Y. Yoon, S.Y. Park, M.S. Yang, B.K. Che, B.J. (2009). Effects of lysine intake during late gestation and lactation on blood metabolites, hormones, milk composition and reproductive performance in primiparous sows. Anim. Reprod. Sci. 112: 199-214.