



# UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

---

---

**Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas**

**Área temática: Producción y Salud Animal**

**Facultad de Químico Farmacobiología**

## **T e s i s**

“Efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) cocido a la dieta de cerdas post-parto sobre: perfil metabólico y consumo voluntario de alimento”

**Que presenta:**

M.V.Z. Jessica Tamara Ahumada Garcini

Como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**Directora de tesis:** Dra. Rosa Elena Pérez Sánchez

**Co-director de tesis:** M.C. Ruy Ortiz Rodríguez

**Miembros del comité tutorial:**

Dr. Héctor Eduardo Martínez Flores

Dr. Pedro Antonio García Saucedo

Dr. Daniel Val Arreola

Morelia, Michoacán, agosto 2021.



## **Agradecimientos**

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por permitirme llevar a cabo mis estudios de posgrado.

Agradezco a mis asesores la Dra. Rosa Elena Pérez Sánchez y al Dr. Ruy Ortiz Rodríguez, así como a los integrantes del comité sinodal, el Dr. Héctor Eduardo Martínez Flores, el Dr. Pedro Antonio García Saucedo y el Dr. Daniel Val Arreola por su apoyo, orientación, enseñanzas y disposición para la realización de la presente investigación.

Doy gracias a Esther Tadeo y a Isaí Pérez por su tiempo, acompañamiento y paciencia.

A mis amigos, en especial a Salvador Padilla y Leslie Gárate por ser incondicionales.

A mi familia por su amor y brindarme fortaleza siempre.

.

# Índice

<b>1. Introducción</b> .....	<b>9</b>
<b>2. Antecedentes</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1 Producción y consumo de carne de cerdo en el mundo</b> .....	<b>11</b>
2.2 Producción y consumo de carne de cerdo en México .....	14
2.3 El déficit productivo del sector porcino de México .....	16
2.4 Resistencia a la insulina e hipofagia lactacional en cerdas .....	17
2.5 El nopal forrajero ( <i>O. ficus-indica</i> ) como estrategia en la modulación de la hipofagia lactacional en cerdas post-parto.....	22
2.6 Limitaciones del uso del nopal en base fresca para su uso como modulador de la hipofagia lactacional en la industria porcina.....	23
<b>3. Planteamiento del problema</b> .....	<b>26</b>
<b>4. Hipótesis</b> .....	<b>27</b>
<b>5. Objetivos</b> .....	<b>27</b>
5.1 Objetivos generales.....	27
5.2 Objetivos particulares .....	27
<b>6. Etapa 1: Evaluación del efecto de cocción con vapor (100 °C) a diferentes tiempos sobre los cambios químicos del nopal (<i>O. ficus-indica</i>).</b> 28	
6.1 Materiales y Metodología .....	28
6.2 Resultados .....	31
6.3 Discusión.....	35
6.4 Conclusiones.....	39
<b>7. Etapa 2: Determinación del efecto de la adición de <i>O. ficus-indica</i> cocido con vapor (100 °C) por cuatro min sobre los metabolitos energéticos y su relación con el consumo voluntario de alimento</b> .....	<b>40</b>
7.1 Materiales y Metodología .....	40
7.2 Resultados .....	43

7.3	Discusión.....	52
7.4	Conclusiones.....	65
<b>8.</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>66</b>

## Índice de tablas

Tabla 1. Consumo per cápita de carne en el mundo, 1995-2026.....	11
Tabla 2. Producción de carne: número de animales y peso de la canal .....	12
Tabla 3. Producción de carne de cerdo (Millones de toneladas): pasada y proyectada.....	13
Tabla 4. Valores normales de glucosa sanguínea en monogástricos .....	18
Tabla 5. Composición química del nopal en base fresca (BF) y en harina.....	21
Tabla 6. Cambios en la fibra soluble e insoluble de cladodios de <i>O. ficus-indica</i> en diferentes técnicas de deshidratación .....	24
Tabla 7. Cambios en la fibra soluble (FS) de vegetales en diferentes técnicas de cocción .....	25
Tabla 8. Análisis de varianza para los componentes químicos de nopal (en base seca) post-cocción con vapor a 100 °C.....	31
Tabla 9. Medias de mínimos cuadrados para los componentes del análisis químico proximal de nopal BS de acuerdo con el tiempo de cocción con vapor a 100 °C .	32
Tabla 10. Composición nutrimental de las dietas implementadas.....	41
Tabla 11. Medias de mínimos cuadrados para consumo voluntario (en base fresca y cocido) de nopal y alimento comercial durante la fase de lactación .....	43
Tabla 12. Análisis de efectos fijos para la concentración plasmática de metabolitos energéticos en cerdas fase de lactación .....	44
Tabla 13. Estimadores de regresión no lineal para niveles plasmáticos de glucosa de acuerdo con la presentación del nopal <i>O. ficus-indica</i> adicionado a la dieta de las cerdas en fase de lactación en cada grupo.....	45
Tabla 14. Medias de mínimos cuadrados para consumo voluntario de alimento total en la fase de lactancia de acuerdo con ITG y grupo .....	51

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Crecimiento (%) e inventarios de cerdas reproductoras de los principales países productores de cerdos en América en el 2019. Fuente: Elaboración propia a partir de los reportes del USDA (2020), CPM (2020) y Statistics Canada (2020) .....	15
<b>Figura 2.</b> Caracterización esquemática del cambio de correlaciones de Pearson entre los indicadores químicos del nopal ( <i>O. ficus-indica</i> ) sometido a diferentes tiempos de cocción con vapor a 100° C .....	34
<b>Figura 3.</b> Medias de mínimos cuadrados de la concentración plasmática de glucosa durante 21 días post-parto (etapa de lactancia).....	45
<b>Figura 4.</b> Dinámica del comportamiento de la glucosa sanguínea en cerdas durante la fase de lactación por efecto de la ingesta de nopal <i>O. ficus-indica</i> en base fresca (BF) o cocido con vapor (CCV) .....	46
<b>Figura 5.</b> Medias de mínimos cuadrados de la concentración plasmática de colesterol durante 21 días post-parto (etapa de lactancia).....	47
<b>Figura 6.</b> Medias de mínimos cuadrados de la concentración plasmática de triglicéridos durante 21 días post-parto (etapa de lactancia).....	47
<b>Figura 7.</b> Medias de mínimos cuadrados de consumo de alimento comercial día <sup>-1</sup> cerda <sup>-1</sup> durante 21 días post-parto (etapa de lactancia).....	48
<b>Figura 8.</b> Medias de mínimos cuadrados de consumo voluntario de nopal en sus dos presentaciones (base fresca y cocido con vapor) día <sup>-1</sup> cerda <sup>-1</sup> durante 21 días post-parto (etapa de lactancia).....	49
<b>Figura 9.</b> Medias de mínimos cuadrados de consumo de alimento comercial más nopal día <sup>-1</sup> cerda <sup>-1</sup> durante 21 días post-parto (etapa de lactancia). .....	50
<b>Figura 10.</b> Proporción de cerdas con índice de triglicéridos-glucosa (ITG) bajo, moderado o alto de acuerdo con el grupo y momento de la toma de muestra de glucosa y triglicéridos (al parto y al destete).....	51
<b>Figura 11.</b> Dinámica de glucosa en sangre y su relación con la ingesta voluntaria de alimento en la lactancia: reformulación esquemática. ....	53

## RESUMEN

Los objetivos generales fueron: a) determinar el tiempo de cocción del nopal (*O. ficus indica*) con vapor (CCV) a 100 °C, en el cual los cambios químicos de esta cactácea mejoren los efectos observados [mitigación de la resistencia a insulina (RI)] en cerdas en fase de lactación (FL) cuando son sometidas a una dieta adicionada con nopal en base fresca (BF); y b) evaluar el efecto del nopal CCV a 100 °C (seleccionado a partir del logro del primer objetivo general) sobre: niveles de glucosa sanguínea (GS), colesterol y triglicéridos y su relación con RI y consumo voluntario de alimento (CVA) en cerdas en FL. Para el primer objetivo, se utilizaron cladodios de 90 días de edad, mismos que se fraccionaron en trozos (25 mm x 30 mm x 1.5 mm); con el total de trozos de nopal se formaron cuatro muestras (1,250 g muestra<sup>-1</sup>) y a cada muestra se le asignó un tratamiento (T) de CCV: T1 o Testigo; T2, CCV/4 minutos (min); T3, CCV/7 min y T4, CCV/10 min. Posterior a la CCV, las muestras se sometieron a análisis químico proximal. Para el segundo objetivo se utilizaron 18 cerdas multíparas seleccionadas al azar con 100 días de gestación; con las cuales se formaron tres grupos (G) de 6 cerdas grupo<sup>-1</sup>: los tres grupos recibieron alimento comercial (AC) para FL; la diferencia fue en G2 y G3, en donde se adicionaron al AC 2.0 kg de nopal en BF (G2) o nopal CCV (G3) cerda<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>; el G1 fue el testigo. Se evaluó cerda<sup>-1</sup>: CVA día<sup>-1</sup>, GS, colesterol y triglicéridos, en los días 1, 7, 14 y 21 post-parto. Se encontró que, el T2 (nopal CCV/4 min) mostró mayor ( $p < 0.05$ ) fibra dietética soluble ( $14.5 \pm 0.5 \text{ g}^{-100\text{MS}}$ ) vs. T1, T3 y T4; por lo que T2 fue seleccionado para adicionarse al AC de las cerdas del G3. Se encontró que, al adicionar el nopal CCV por 4 min al AC mejoró en la FL ( $p < 0.05$ ) el CVA ( $5.947 \text{ kg día}^{-1} \text{ cerda}^{-1}$ ) y, disminuyó: GS ( $p < 0.05$ ) ( $85.6 \text{ mg dL}^{-1}$ ) y colesterol ( $88.5 \text{ mg dL}^{-1}$ ); pero, se incrementaron los triglicéridos ( $p < 0.05$ ) ( $59.8 \text{ mg dL}^{-1}$ ), ello en comparación con G1 y G2. El índice glucosa-triglicéridos determinó que, en G3 (AC + nopal CCV por 4 min) logró mitigar el efecto de RI (hipofagia lactacional) en el 54.0% de las cerdas en FL. La CCV del nopal por 4 min mejora la composición química de esta cactácea y, al adicionar el nopal CCV a la dieta de cerdas en FL, mitiga la RI y mejora el CVA de estos animales en respuesta a la disminución de GS y colesterol.

**Palabras clave:** Cactácea, tratamiento térmico, cocción, resistencia a insulina, hipofagia.

## ABSTRACT

The general objectives were: a) determine the time of steaming cooking (SC) nopal (*O. ficus indica*) at 100°C in which the chemical changes of this cactus improve the observed effects [mitigation of insulin resistance (IR)] in sows in lactation phase (LP) when they are subjected to a diet added with nopal in fresh base (FB) and, b) evaluate the effect of the nopal SC at 100 ° C (selected from the achievement of the first general objective) on: blood glucose (BG), cholesterol and triglyceride levels and their relationship with IR and voluntary feed intake (VFI) in sows in LP. For the first objective, 90-day-old cladodes were used, which were divided into pieces (25 mm x 30 mm x 1.5 mm); With the total nopal pieces, four samples were formed (1,250 g sample<sup>-1</sup>) and each sample was assigned a treatment (T) of SC: T1 or Control; T2, SC / 4 minutes (min); T3, SC / 7 min and T4, SC / 10 min. After the SC, the samples were subjected to proximal chemical analysis. For the second objective, 18 randomly selected multiparous sows with 100 days of gestation were used; with which three groups (G) of 6 sows group<sup>-1</sup> were formed: the three groups received commercial diet (CD) for LF; the difference was in G2 and G3, where 2.0 kg of nopal in FB (G2) or nopal SC (G3) sow<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup> was added to the CD; G1 was the control. It was evaluated: VFI day<sup>-1</sup> sow<sup>-1</sup>, GS, cholesterol and triglycerides, on days 1, 7, 14 and 21 postpartum. It was found that T2 (nopal SC / 4 min) showed higher ( $p < 0.05$ ) soluble dietary fiber ( $14.5 \pm 0.5$  g-100MS) vs. T1, T3 and T4; therefore, T2 was selected to be added to the CD of the G3 sows. It was found that, when adding the nopal SC for 4 min to the CF, the VFI (5,947 kg day<sup>-1</sup> sow<sup>-1</sup>) improved in LF ( $p < 0.05$ ) and, decreased: BG ( $p < 0.05$ ) (85.6 mg dL<sup>-1</sup>) and cholesterol (88.5 mg dL<sup>-1</sup>); but triglycerides were increased ( $p < 0.05$ ) (59.8 mg dL<sup>-1</sup>), compared to G1 and G2. The glucose-triglycerides index determined that, in G3 (CD + nopal SC for 4 min) it was able to mitigate the effect of IR (lactational hypophagia) in 54.0% of the sows in LF. The SC of the nopal for 4 min improves the chemical composition of this cactus and, by adding the nopal SC to the diet of sows in LF, it mitigates the IR and improves the VFI of these animals in response to the decrease in BG and cholesterol.

**Key words:** Cactus, heat treatment, cooking, insulin resistance, hypophagia.

## 1. Introducción

El desarrollo genético en la industria porcícola ha permitido en la actualidad tener líneas de madres con mayor prolificidad (12 lechones nacidos vivos) y, en consecuencia, con una gran demanda de producción de leche (10 a 12 L de leche  $d^{-1}$ ) (Estévez, 2016), con la finalidad de incrementar el número de lechones destetados (> 10 lechones destetados) y reducir los costos de producción en los sistemas de producción porcina (Neill y Williams, 2010). Por lo cual, es fundamental centrarse en la fase de parto y lactancia, debido a que el número de lechones destetados/cerda/año determina la eficiencia productiva del sistema (Patullo, 2011).

No obstante, la selección genética para el incremento de prolificidad, producción de leche y velocidad de crecimiento han repercutido en otros indicadores productivos, como son: menor rusticidad, pubertad prolongada, disminución del consumo voluntario de alimento (Carrión y Mendel, 2001; Estévez, 2016), mayor pérdida de peso corporal de la cerda al destete e incremento en el intervalo destete-estro (Kim *et al.*, 2013; Ordaz *et al.*, 2017).

Las investigaciones en torno a la disminución del consumo voluntario (hipofagia fisiológica lactacional) de las cerdas en fase de la lactación, han reportado que, en respuesta a las altas demandas de energía (principalmente glucosa) para el desarrollo fetal y la producción láctea, la cerda desarrolla resistencia a la insulina e hipofagia fisiológica lactacional, fenómenos que se producen durante el último tercio de la gestación y la primera semana post-parto (Ortiz *et al.*, 2020).

Por lo anterior, algunos autores sugieren que la adición de nopal en base fresca (BF), 1% con base al peso vivo de la cerda, a la dieta de estos animales es una alternativa, para contrarrestar dichos efectos metabólicos (Ordaz *et al.*, 2017; Ordaz *et al.*, 2019a), ya que se han atribuido propiedades hipoglucemiantes al nopal y mismas que se relaciona principalmente con el contenido de fibra dietética soluble (FS) (Tadera *et al.*, 2006; Nuñez *et al.*, 2013 Hwan *et al.*, 2017). Sin embargo, a gran escala esta estrategia (adición de nopal en BF a la dieta de cerdas en lactación) es poco viable, ya que implementarla en sistemas comerciales de producción

porcina incrementa los costos por concepto de alimentación (mano de obra para la cosecha y picado de los cladodios).

Debido a la ausencia de investigaciones en torno al efecto de la cocción del nopal sobre sus cualidades químicas y su relación con el metabolismo energético, resistencia a insulina e hipofagia lactacional en las cerdas, es necesario investigar el efecto de un proceso térmico en el nopal sobre sus propiedades bioquímicas, puesto que se han reportado cambios en el contenido de fibra dietética soluble (FS) por efecto del procesamiento térmico como: vapor, asado o hervido (Ramírez *et al.*, 2013; De Santiago *et al.*, 2018). Por ello, los objetivos generales de la presente investigación fueron: a) determinar el tiempo de cocción (4, 7 y 10 min) del nopal (*O. ficus indica*) con vapor (CCV) a 100 °C, en el cual los cambios químicos de esta cactácea mejoren los efectos observados (mitigación de la resistencia a insulina) en cerdas en fase de lactación cuando son sometidas a una dieta adicionada con nopal en base fresca (BF) y b) evaluar el efecto del nopal CCV a 100 °C (seleccionado a partir del logro del primer objetivo general) sobre: niveles de glucosa sanguínea, colesterol y triglicéridos y su relación con resistencia a insulina y consumo voluntario de alimento en cerdas en fase de lactación.

## 2. Antecedentes

### 2.1 Producción y consumo de carne de cerdo en el mundo

Actualmente, la producción de carne de animales de granja presenta un mayor crecimiento y consumo en el mundo, debido al incremento de la población y la mejora en el nivel de ingreso económico. En cuanto a la carne de cerdo, esta es una de las más consumidas en el mundo, a pesar de las restricciones religiosas y culturales que existen en algunos países (AMVEC, 2019). En cuanto al consumo per cápita de carne de cerdo en el mundo, se pronostica que para el 2026 será de 12.1 kg (Tabla 1). No obstante, los pronósticos indican que el consumo de carne de pollo (14.1 kg) superará al de la carne de cerdo (2 kg por debajo del consumo de carne de aves). Sin embargo, para lograr satisfacer estas demandas de carne, el incremento en la producción de este producto se obtendrá a partir de piaras más grandes y un mayor rendimiento por cabeza, y persistirán grandes diferencias en la intensidad de la producción (OCDE/FAO, 2017).

**Tabla 1.** Consumo per cápita de carne en el mundo, 1995-2026

	Kilogramos per cápita					
	1995	% total	2017	% total	2026**	% total
<b>Bovino</b>	6.8	24.6%	6.4	18.7%	6.5	18.7%
<b>Porcino</b>	10.6	38.6%	12.2	35.6%	12.1	35.0%
<b>Ovino</b>	1.6	5.8%	1.7	5.0%	1.9	5.4%
<b>Aves</b>	8.5	31.0%	14.0	40.7%	14.1	40.8%
<b>Total</b>	27.5		34.3		34.6	

*Nota:* \*\*Pronosticado.

*Fuente:* OCDE/FAO (2017).

En 2017, se estimó que el consumo per cápita de carne en el mundo fue de 34.3 kg, consumo que fue mayor al reportado en 1995 (27.5 kg). Para 2026, se espera un consumo per cápita de 34.6 kg y dentro de estos, 12.1 kg corresponde al consumo de carne de cerdo (35.0%), 0.6% menos que en 2017 (Tabla 1). Esta disminución también se vio reflejada en el consumo per cápita de la carne bovino que pasó de representar 24.6% a 18.7% entre 1995 y 2017. En contraste, el consumo per cápita de la carne aviar aumentó y pasó de 31% a 40.7% entre 1995

y 2017. Sin embargo, en 2017 y en el pronóstico del 2026, la carne de cerdo será la segunda en importancia, detrás de la carne de ave (OCDE/FAO, 2017).

Para poder cubrir dichos consumos de carne, la proyección de producción y mejoras en el rendimiento de las canales de estos animales para el 2030 (Tabla 2) se requiere, a nivel mundial, que se produzcan 1,062 millones de cerdos, 1,858 millones de bovinos y 24,804 millones de pollos, este incremento de pollos es debido al peso de la canal/ave (1.9 kg) comparado con el peso de la canal de un bovino (211 kg) o de un cerdo (84 kg) (Bruinsma, 2003); además, para producir 1.9 kg de carne de pollo (1 pollo en canal) se requieren de 40-50 días (Jarama, 2016), mientras que 84 kg de cerdo (1 cerdo en canal) requiere de 150-170 días (Wolter y Ellis, 2001) y 211 kg de carne de bovino (1 bovino en canal) se logra en 30.6 meses o más del nacimiento al sacrificio (Plasse *et al.*, 2000). Mientras que, en Latinoamérica y el caribe se pronostica que se producirán 108 millones de cerdos en el 2030 y cada animal estará pesando en promedio 83.0 kg en canal (Tabla 2). Sin embargo, la mayor concentración de la industria del cerdo se presenta en China, puesto que, 75% de la producción de cerdos se obtiene de este país, de la Unión Europea y de USA (Tabla 3) ( Bruinsma, 2003; 3tres3, 2020).

**Tabla 2.** Producción de carne: número de animales y peso de la canal

	Número de animales (millones)				Peso en canal (kg/animal)		
	1967	1987	1997	2030	1967	1997	2030
<b>Mundo</b>	1969	1989	1999		1969	1999	
<b>Bovinos</b>	1189	1418	1497	1858	174	198	211
<b>Cerdos</b>	566	838	873	1062	65	78	84
<b>Pollos</b>	5585	10731	15067	24804	1.3	1.6	1.8
<b>Latino América y el Caribe</b>							
<b>Bovinos</b>	219	317	350	483	191	211	230
<b>Cerdos</b>	63	74	76	108	65	72	83
<b>Pollos</b>	558	1248	2075	3815	1.2	1.5	1.9

Fuente: (Bruinsma, 2003)

Se pronostica que la producción de China en el 2030 alcanzará 58.3 millones de toneladas (mdt), ello comparado con 33.1 mdt de carne de cerdo que producirán los países industrializados o con 24.5 mdt que se producirán en el 2030 en los países

en desarrollo. Mientras que, en Latinoamérica, la estimación de la producción es de 7.8 mdt para el 2030, lo que implicaría un crecimiento de la producción de carne de cerdo, en dicha región, del 1.8% del 2015 al 2030. Mientras que, a nivel mundial, la producción de carne de cerdo presentará un crecimiento del 0.8% del 2015 al 2030 (Tabla 3).

**Tabla 3.** Producción de carne de cerdo (Millones de toneladas): pasada y proyectada

	Año					Crecimiento (%)			
	1967 1969	1987 1989	1997 1999	2015	2030	1969 1999	1989 1999	1995 2015	2015 2030
Mundo	34.1	66.3	86.5	110.2	124.5	3.2	2.7	1.4	0.8
Excluyendo a China	28.1	46.2	48.1	57.9	66.2	1.7	0.4	1.1	0.9
Países en desarrollo	9.7	28	49.3	69.5	82.8	6.1	5.7	2.0	1.2
Excluyendo a China	3.8	7.9	10.9	17.2	24.5	3.7	3.4	2.7	2.4
L. Amér y el Caribe	1.8	3.0	3.9	6.0	7.8	2.1	3.9	2.5	1.8
Excluyendo a Brasil	1.1	1.9	2.3	3.4	4.4	1.7	2.8	2.3	1.8
Este de Asia	7.6	24.2	44.3	61.6	71.9	6.8	6.0	2.0	1.0
Excluyendo a China	1.6	4.0	5.9	9.3	13.6	5.1	3.3	2.8	2.5
Países industrializados	16.6	26	29.3	32.3	33.1	1.8	1.4	0.6	0.2
Países en transición	7.7	12.3	7.9	8.4	8.6	-0.1	-5.3	0.4	0.1

Fuente: FAO (2003)

No obstante, el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), en el periodo 2015-2019, estimó que la producción mundial de carne de cerdo decreció a una tasa promedio anual de 2.3%, para ubicarse en 102.0 mdt (USDA, 2020). De esta forma, la producción registró un decremento anual de 9.7% en 2019. Este mismo departamento (USDA) estableció que, en 2020, la producción mundial decrecerá 7.5% a tasa anual, para ubicarse en 94.3 mdt, es decir, su nivel más bajo de los últimos trece años. Por lo que, China, principal productor (41.7% de la producción mundial) mostró en 2020 una disminución de su producción a una tasa anual de 20.1%, por lo que se ubicaría en su nivel más bajo en 24 años. Lo anterior, derivado de los brotes de Peste Porcina Africana (PPA) que han afectado a todas sus regiones productoras, así como la emergencia sanitaria por COVID-19 (USDA, 2020).

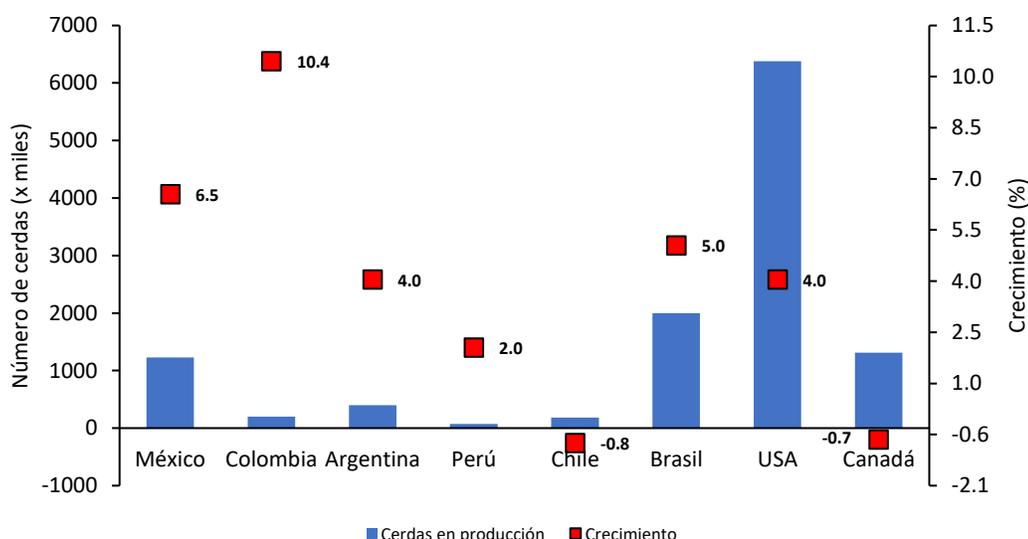
Por otro lado, el USDA (2020) indicó que durante el primer trimestre del año las exportaciones de carne de cerdo de USA se incrementaron 40% respecto al mismo periodo de 2019, comercializando un total de 838,118 toneladas con un valor 52% superior (2,230 millones de dólares), el principal monto de exportaciones (296,525 toneladas) fue China con una comercialización de 231% más que el año anterior (724.5 millones de dólares). No obstante, México fue el segundo comprador de carne de cerdo (195,351 toneladas) de USA en el mundo: importó 10% más carne que en mismo periodo del año pasado.

## **2.2 Producción y consumo de carne de cerdo en México**

México es un productor mediano, que representa 1.1% de la producción mundial y esta es deficitaria. Además, es el segundo importador más importante, pues sus compras representan 9% del total del comercio internacional del producto (OCDE, 2019). En los países americanos, México y Canadá presentan similar número de cerdos reproductores (1,230,000 y 1,309,000 cerdas en producción, respectivamente) (Figura 1). A pesar de ello, sus inventarios están por debajo de los que presenta USA (6,380,000 cerdas en producción) y Brasil (2,000,000 cerdas en producción); pero estos países están por debajo de los inventarios de China (Figura 1), quienes además mostraron en el 2019 un crecimiento en sus inventarios del 4.0 y 5.0%, respectivamente. Mientras que el crecimiento de los inventarios en México fue del 6.5%. Únicamente, Chile y Canadá reportaron crecimiento negativo en sus inventarios: -0.8 y -0.7%, respectivamente (Figura 1), ello de acuerdo con los reportes de la Confederación de Porcicultores Mexicanos, USDA (2020) y a Statistics Canada (2020).

De acuerdo con estudios de la industria porcícola mexicana, el consumo de carne de cerdo se ha incrementado de 28% a cerca del 32% (Alvarado, 2019). No obstante, con el inventario de cerdas reproductoras, la producción en México para el 2020, fue de 20.3 millones de cabezas. Ello, impulsado por el aumento de la demanda de los consumidores de carne de cerdo (6.5%) en el 2019, con respecto al 2018 USDA (2020). Pero, dicha producción no fue suficiente para cubrir el

pronóstico de consumo de carne de cerdo en el país en el 2020: 2.2 mdt de carne de cerdo (USDA, 2020).



**Figura 1.** Crecimiento (%) e inventarios de cerdas reproductoras de los principales países productores de cerdos en América en el 2019. Fuente: Elaboración propia a partir de los reportes del USDA (2020), CPM (2020) y Statistics Canada (2020)

Al igual que en el mundo, el aumento del consumo de carne de cerdo en México puede atribuirse a diferentes factores, tales como: urbanización, expansión de clase media y baja, precios más económicos, carne de mayor calidad, conservación y embasamiento de la carne de cerdo, integración vertical de las granjas, reconocimiento del estatus zosanitario para producciones de algunos estados, lento crecimiento económico del país, migración del consumo de carnes de alto precio (res) hacia las de menor precio (cerdo y pollo) e inversión en genética (animales menor deposición de grasa y velocidad de crecimiento). Aunado a ello, los precios estables de la carne de cerdo durante 2019 aliviaron la presión sobre los porcicultores y evitó sacrificar animales (disminución de inventarios) para compensar los costos de producción y el precio de venta (Alvarado, 2019).

Dadas las expectativas del crecimiento de la demanda de carne de cerdo en México y en otros países (principalmente China y Japón), las importaciones de porcinos vivos crecieron y en el 2020 la importación de reproductores fue de 41,000 cabezas con estatus de alto valor genético y eficiencia reproductiva, puesto que, los

productores mexicanos buscan mejores rendimientos y razas resistentes a enfermedades. En este sentido, Estados Unidos es el principal proveedor de importaciones de cerdos vivos con una participación de mercado del 72%, seguido de Canadá con el 28% restante. Ello, como respuesta al crecimiento de la demanda de la carne de cerdo en el país durante los próximos años, por el aumento poblacional y mejora en el ingreso (OCDE, 2019).

### **2.3 El déficit productivo del sector porcino de México**

En términos generales, el déficit productivo de sector porcino de México se demuestra con la menor tasa de extracción (TE), es decir la relación entre los animales sacrificados en un año y la población porcina total, expresada en porcentaje, un valor de 100% indica que se sacrificaron la misma cantidad de animales que su población, por lo que entre mayor sea la tasa, mayor será la productividad (Gómez *et al.*, 2012), pues ello implica que se obtuvo más cantidad de carne de una población de producto promedio; mismo que en el país, es de 95.9% vs. USA, cuya TE es de 158%; aspecto que explica porque la tasa de penetración de importaciones (TPI) de México es de 37.3%, mientras que la TPI de Estados Unidos es de 4.2% (Gómez *et al.*, 2012).

Este déficit productivo de las empresas porcinas nacionales está relacionado con varios factores, entre los que destacan: a) la continua exposición de los cerdos a enfermedades, b) uso parcial de paquetes tecnológicos, c) esquemas de producción inadecuados o ejecutados con deficiencias de origen; que en conjunto evidencian la deficiente relación entre los componentes hombre-tecnología-cerdo (Ortiz *et al.*, 2015) y, d) orientan metas y objetivos hacia la maximización de los ingresos obtenidos por unidad producida a través de tecnología para reducir el costo de producción del lechón destetado (LD) (FAO, 2016); puesto que, en la empresa porcina, el indicador que mayor impacto tiene sobre el costo/kg de cerdo finalizado (90-100 kg de peso vivo) es precisamente el LD, mismo que se considera la materia prima para la línea de producción (producción de cerdos para abasto) (Santomá y Pontes, 2011; Boulot *et al.*, 2013).

Actualmente, para lograr el objetivo de reducir los costos de producción del LD se ha priorizado el reemplazo de cerdas prolíficas (25 LD cerda/año) por cerdas hiperprolíficas (30 LD cerda<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) (Boulot *et al.*, 2008; Foxcroft, 2012). Sin embargo, tanto las hembras prolíficas como las hiperprolíficas presentan el fenómeno de resistencia a la insulina durante el último tercio de la gestación y la primera semana post-parto (Pére y Etienne, 2007; Mosnier *et al.*, 2010; Ortiz *et al.*, 2019). Aspecto que provoca reducción del consumo voluntario de alimento, principalmente durante la fase de lactación, remoción de reservas corporales (para mantener la producción láctea) y fallas reproductivas después de culminar la fase de lactación (Quesnel *et al.*, 2009; Ordaz *et al.*, 2018), lo cual reduce la productividad de las cerdas en los sistemas de producción porcina, manifestada por un menor número de partos al año, menor número de lechones nacidos por cerda/año y menor número de lechones destetados por cerda/año (Ordaz *et al.*, 2020).

#### **2.4 Resistencia a la insulina e hipofagia lactacional en cerdas**

En el caso de los cerdos, éstos padecen hiperglucemia gestacional e hipofagia fisiológica lactacional (HFL), fenómenos relacionados con resistencia a la insulina (diabetes gestacional), misma que repercute en los índices productivos y reproductivos inmediatamente después de culminar la fase de lactancia (Park *et al.*, 2010; Ordaz *et al.*, 2017; Ordaz *et al.*, 2018). En este sentido, el comportamiento reproductivo de las cerdas post-destete es esencial para la productividad de los sistemas de producción porcina, motivo por el cual, se buscan estrategias que minimicen los efectos de la resistencia a la insulina en las cerdas en el último tercio de la gestación y en la primera semana de la fase de lactación (Ordaz *et al.*, 2018).

La hiperglucemia es la elevación de la glucosa sanguínea por encima de los valores que se consideran normales en cada especie (Tabla 4). En algunos monogástricos, esta alteración se toma en cuenta en los criterios de diagnóstico de la diabetes mellitus (Nelson y Reusch, 2014; Diabetes Care, 2019) o para determinar estados fisiológicos asociados al incremento de glucosa sanguínea y

resistencia a la insulina que provocan modificaciones metabólicas y alteran el control del apetito en respuesta a adaptaciones evolutivas, como es el caso de la cerda (Ordaz *et al.*, 2019<sub>b</sub>).

**Tabla 4.** Valores normales de glucosa sanguínea en monogástricos

Especie	Glucosa plasmática	
	mg dL <sup>-1</sup>	Autor y año
Hombre ( <i>Homo sapiens sapiens</i> )	<100	Diabetes Care (2019)
Perro ( <i>Canis lupus familiaris</i> )	80-120	Nelson <i>et al.</i> (2014)
Cerdo ( <i>Sus scrofa domesticus</i> )	75-136	Cooper <i>et al.</i> (2014)

ADA (siglas en inglés) = Asociación Americana de Diabetes

La preñez se puede asociar con muchos cambios metabólicos, bioquímicos, fisiológicos, hematológicos e inmunológicos, sin muchas complicaciones en el largo plazo y que son reversibles después del parto; se ha observado que uno de esos cambios está asociado a la resistencia a la acción de la insulina sobre la capacidad de ésta para disponer de la glucosa (Baz *et al.*, 2016). Tanto en las mujeres con diabetes mellitus gestacional (DMG) como en la que no la desarrollan, se producen cambios importantes en el metabolismo energético para crear un ambiente que permita la embriogénesis, el crecimiento, maduración y supervivencia del feto; a través de favorecer la reserva nutricional energética al inicio de la gestación (primer tercio) e incrementarla gradualmente conforme progresa la gestación (Medina *et al.*, 2017; Rodas *et al.*, 2018).

La DMG de acuerdo a Rodas *et al.* (2018) es la intolerancia a la glucosa derivado de la hiperglucemia sostenida de severidad variable, durante la gestación debido a la resistencia a la insulina. Sonagra *et al.* (2014) define la resistencia a la insulina (RI) como la habilidad disminuida de los órganos blanco como es el hígado, el tejido adiposo y los músculos de responder a las concentraciones normales de insulina. En la preñez normal, los tejidos se vuelven cada vez más insensibles a la insulina; se ha reportado entre un 50-60% en la disminución en la sensibilidad a la insulina en la gestación avanzada tanto en mujeres con tolerancia normal a la insulina como en mujeres con diabetes gestacional (Kampmann *et al.*, 2019). En el caso de las mujeres con tolerancia normal a la glucosa, los cambios en la sensibilidad a la insulina se supera por una suficiente producción de insulina por las células beta del

páncreas, pero en el caso de las mujeres con diabetes, la secreción de insulina endógena es insuficiente durante la preñez (Catalano, 2013).

Inicialmente, la sensibilidad periférica de la insulina se incrementa en el proceso de implantación embrionaria; la unidad feto placentaria que se instaura en las primeras semanas de gestación provoca decremento de los niveles de la hormona del crecimiento; aspecto que genera incremento de la sensibilidad a la insulina (Rodas *et al.*, 2018). Posteriormente, se incrementan el lactógeno placentario sérico, hormona del crecimiento placentaria, progesterona, cortisol y prolactina, mismas que colaboran en la disminución de la sensibilidad de los tejidos periféricos a la insulina (Sonagra *et al.*, 2014; Velegrakis, 2017, citado por Rodas *et al.*, 2018). Lo cual provoca un incremento en la secreción de insulina por parte de las células beta del páncreas, se ha reportado que este incremento es casi del 300% en la gestación, dicha adaptación se considera que probablemente se deba al incremento de hormonas durante la gestación, lo cual coincide con el desarrollo de la RI y es la vía para sobrellevar la regulación normal de la glucosa durante la preñez (Sonagra *et al.*, 2014; Baz *et al.*, 2016). Sin embargo, en las mujeres con DMG dicha resistencia es más marcada, como consecuencia de la insuficiente secreción de insulina y se produce hiperglucemia sostenida e intolerancia a la glucosa (García, 2008; Sonagra *et al.*, 2014)

Otro factor que interviene en la DMG es la acción de la leptina (hormona sintetizada en el tejido adiposo) sobre el control de la saciedad del apetito: lo disminuye (Varela y Horvath, 2012; Tessier *et al.*, 2013). Durante la gestación, la prolactina es capaz de producir resistencia a la insulina y provocar que los receptores de leptina, en el sistema nervioso, se desensibilicen. Aspecto que contribuye con el incremento gradual en la ingesta de alimento (Varela y Horvath, 2012). No obstante, la leptina puede inducir apoptosis en las células  $\beta$  del páncreas al inhibir la biosíntesis de insulina y generar mayor estrés oxidativo (Cervantes y Presno, 2013; Medina *et al.*, 2017). De esta manera se podría explicar la hiperglucemia ( $> 200 \text{ mg dL}^{-1}$  de glucosa sanguínea postprandial) o diabetes gestacional en la mujer (Medina *et al.*, 2017).

Por otra parte, la hiperglucemia gestacional en la cerda se presenta en esencia debido a la demanda de requerimientos energéticos no solo para el crecimiento de los fetos durante el último mes de la gestación, sino también para el desarrollo de la glándula mamaria y la eminente síntesis y liberación de leche durante la lactación (Nobet *et al.*, 1990). Sin embargo, para que ello ocurra, el organismo requiere de adaptaciones metabólicas que permitan una mayor síntesis y liberación de glucosa al torrente sanguíneo y, para ello, se requiere: resistencia progresiva a la insulina durante la gestación tardía para proveer de glucosa al útero gestante (Koketsu *et al.*, 1998; Schenkel *et al.*, 2010) e incremento del catabolismo de la cerda durante la lactación para proveer de glucosa a la glándula mamaria (Dourmad *et al.*, 2000; Valros *et al.*, 2003; Père y Etienne, 2007; Farmer *et al.*, 2008; Dourmad y Matte, 2021).

Así, el incremento del catabolismo de la cerda durante la lactación acentúa aún más la hipofagia fisiológica lactacional (Ordaz *et al.*, 2020), producto de los elevados niveles de glucosa en sangre durante la primera semana post-parto (81.5 mg dL<sup>-1</sup> de glucosa postprandial) comparado con los niveles de glucosa en la tercera semana de lactación (54.8 mg dL<sup>-1</sup> de glucosa postprandial). Por ello, uno de los objetivos del tratamiento de la hiperglucemia en monogástricos es estabilizar los niveles de glucosa plasmática a través de la dieta (Farcas *et al.*, 2015; Ordaz *et al.*, 2018; Diabetes Care, 2019).

En el caso del control de la resistencia a la insulina en las cerdas, Quesnel *et al.* (2009) sugieren que, la adición de fibra en la dieta de estos animales en fase de gestación favorece la salud gástrica e incrementa el consumo de alimento durante la lactancia. Ello debido al efecto benéfico de la fibra sobre el perfil metabólico (Jha y Berrocoso, 2016). Puesto que, la fibra dietética mejora la respuesta a la sensibilidad a la insulina debido a una reducción de los niveles sanguíneos de glucosa, ácidos grasos no esterificados (NEFAS) y colesterol (Halmi *et al.*, 2013), este último precursor para la síntesis de leptina (Père y Etienne, 2007).

Así, el consumo de fibra favorece mayor síntesis de ácidos grasos volátiles debido a la fermentación de la fibra soluble por parte de la microbiota intestinal (Cani *et al.*, 2006). Se tienen evidencias de que los ácidos grasos volátiles pueden incidir

en el aporte energético de las cerdas, propiciando menor catabolismo durante la lactancia (Berrocoso *et al.*, 2015), por ello, la implementación de dietas fibrosas durante la transición de la gestación y la fase de lactancia aminoraría los efectos de la resistencia a la insulina que se presenta en dicho periodo, lo cual, se reflejará en: i) mayor consumo de alimento de las cerdas durante la lactancia, ii) restablecimiento balance energético y iii) incremento del rendimiento reproductivo de las cerdas post-destete (Ordaz *et al.*, 2018; Ordaz *et al.*, 2019a).

De acuerdo con lo anteriormente citado, un insumo que puede utilizarse para la regulación de la glucosa en monogástricos es el nopal (*Opuntia spp*) puesto que se ha documentado que esta cactácea tiene efecto positivo sobre la regulación de insulina en humanos debido a sus propiedades hipoglucémica, e hipocolesterolémica (Onakpoya *et al.*, 2015). Así como, a su alto contenido en fibra (Tabla 5) y energía digestible (Pinos *et al.*, 2010).

**Tabla 5.** Composición química del nopal en base fresca (BF) y en harina

Variable	Nopal fresco*		Harina de nopal **
	Época de lluvia	Época de estiaje	
Humedad %	86.61	93.13	5.25
Materia seca%	13.39	6.87	94.75
Extracto etéreo %	0.27	2.97	3.0
Fibra cruda %	31.70	18.57	47.6
Proteína cruda %	4.38	5.92	12.7
Cenizas %	22.30	24.35	20.3
E.L.N.%	41.36	48.18	16.4
Mucílago %	1.76	1.60	1.08

Fuente: \* Perez *et al.* (2015); \*\* Castillo *et al.* (2013)

Nuñez *et al.* (2013) establecieron que las fibras dietéticas fermentables no digeribles aumentan la liberación de péptido intestinal similar al glucagón 1 (GLP-1), que conduce a la estimulación de la secreción de insulina y la reducción de la producción hepática de glucosa por la mejora de la fosforilación estimulada por insulina de IRS-2 y Akt en el hígado normalizando así la producción excesiva de glucosa hepática (Pari y Latha, 2005). Por lo tanto, el nopal puede actuar de la misma manera (Ordaz *et al.*, 2018) que los antidiabéticos orales (glibenclamida)

cerrando los canales de K<sup>+</sup>/ATP, despolimerizando membrana y estimulando los canales de Ca<sup>2+</sup> para la secreción de insulina (Halmi *et al.*, 2015).

## **2.5 El nopal forrajero (*O. ficus-indica*) como estrategia en la modulación de la hipofagia lactacional en cerdas post-parto**

El nopal es una cactácea que se encuentra presente en zonas áridas y semiáridas, con gran diversidad de especies y amplia distribución geográfica en México (Betancourt *et al.*, 2006; Hernández *et al.*, 2010). Actualmente también se cultiva en América central y sur, África y el mediterráneo (El-Mostafa *et al.*, 2014). Se ha utilizado en México desde tiempos prehispánicos, ya sea como componente de la dieta en humanos (por su contenido nutricional) (Tabla 5) y animales o como medicina no convencional (Betancourt *et al.*, 2006); particularmente en enfermedades crónicas como diabetes, obesidad, padecimientos cardiovasculares, cáncer (Santos *et al.*, 2017).

Dentro de las variedades de nopal como *O. ficus-indica* la presentación más utilizada como insumo para las dietas de los animales es la penca o nopal maduro (Flores y Reveles, 2010; Aguilar *et al.*, 2011). Esta variedad de nopal es una fuente importante de minerales (2403, 627, 63, 0.09, 8.6 y 13.8 mg/100g para K, Ca, Na, P, Fe y Min, respectivamente) (Astello *et al.*, 2015). En humanos, Aguilera *et al.* (2013) reportaron que el consumo de nopal mejora la densidad mineral ósea en mujeres con una masa ósea disminuida. Pero, se han descrito propiedades para el control de la hiperglucemia en humanos (Bacardi *et al.*, 2007; López *et al.*, 2014) y en cerdos (Ordaz *et al.*, 2019a).

En modelos animales *O. ficus-índica* se ha empleado en roedores diabéticos en forma de licuado (García *et al.*, 2006) o harina (Nuñez *et al.*, 2013; Hwan *et al.*, 2017). En cerdos, se ha probado en fresco y picado en trozos de 2 a 3 cm<sup>3</sup> (Ordaz *et al.*, 2017; Ordaz *et al.*, 2020) para contrarrestar los efectos de la HFL. En estos modelos biológicos para el estudio del efecto del consumo de nopal sobre el control de la hiperglucemia, se ha establecido que dicho efecto (disminución de niveles de glucosa sanguínea) se debe a que el contenido de pectina y mucílago del nopal

pueden disminuir la absorción de glucosa incrementando la viscosidad de los alimentos en el intestino (Shapiro y Gong, 2002; Kendall *et al.*, 2010; Nuñez *et al.*, 2013) o bien, que hay una inhibición de la alfa glucosidasa y, en consecuencia, una disminución de la absorción de carbohidratos en el ribete del cepillo del intestino (Tadera *et al.*, 2006; Hwan *et al.*, 2017).

Otro mecanismo relacionado con la disminución de niveles de glucosa, debido al consumo de fibra dietética, está relacionado con el incremento de la liberación del receptor GLP-1, lo que provoca la estimulación de la secreción de insulina (Cani *et al.*, 2006). López *et al.* (2014), determinaron en humanos que la ingesta de una dieta que incluía nopal aumentó los niveles plasmáticos de GIP (Péptido insulínico dependiente de la glucosa) y por consecuencia la modulación de las concentraciones de glucosa e insulina en plasma. Mientras que, Morán *et al.* (2012), sugirieron que la administración de cladodios deshidratados a ratas obesas, mejora la sensibilidad del hígado a la insulina, y por consecuencia reduce la gluconeogénesis hepática.

## **2.6 Limitaciones del uso del nopal en base fresca para su uso como modulador de la hipofagia lactacional en la industria porcina.**

Con respecto a las cerdas con HFL secundaria los índices glucémicos que se presentan en esta etapa y a la resistencia a la insulina, algunos autores sugieren que la adición de nopal en BF (1% con base al peso vivo de la cerda) a la dieta de estos animales es una alternativa, para contrarrestar dichos efectos metabólicos (Ordaz *et al.*, 2017; Ordaz *et al.*, 2020). Para fines de investigación, el nopal se ha suministrado picado y en animales no hay evaluaciones de nopal sometido a tratamientos térmicos tales como la deshidratación, cocción al vapor, hervido o asado, como en el caso de investigaciones en humanos (Fрати *et al.*, 1990; Meckes y Román, 2005; López *et al.*, 2014). Por ello, se requiere de evaluar al menos un proceso térmico, como la cocción al vapor, para evaluar su efecto tanto en los cambios químicos como en los efectos hipoglucémicos mostrados en base fresca.

Al respecto, investigaciones que utilizan diferentes procedimientos de deshidratación han caracterizado las propiedades químico proximales del nopal y han reportado, cambios en el contenido de fibra (Contreras *et al.*, 2012), debido a las diferentes formas de secado de esta cactácea. Sin descartar, los cambios de este componente debido a la edad (Nuñez *et al.*, 2013), aún y cuando estos se sometieron a 40 °C para su secado (Tabla 6). Asumiendo que sea la fibra soluble (FS) la que mejore los índices glucémicos en la diabetes mellitus, la conservación de los cladodios de nopal a temperatura de -50 °C (liofilizado), mantiene mayor cantidad de este componente (Contreras *et al.*, 2012. Mientras que, si la conservación se establece a partir de la edad del cladodio y se utilizan temperaturas de 40 °C, es preferible utilizar cladodios de 20 días de edad (Tabla 6).

**Tabla 6.** Cambios en la fibra soluble e insoluble de cladodios de *O. ficus-indica* en diferentes técnicas de deshidratación

Método de secado	Temperatura °C	Fibra soluble g/110 g	Edad (días)	Fibra insoluble g/100 g
Horno de aire secado*	50	14		48
Congelado*	-50	18		46
En túnel*	70	16		46
Secador de bandeja**	40	8.5±2	10	29.8±0
		9.3±2	20	25.9±0.6
		6.1±2	30	27.6±0.6

Fuente: \*Contreras *et al.*, 2012; \*\*Nuñez *et al.*, 2013

Se han desarrollado diversas investigaciones con respecto a los métodos térmicos y a los cambios que provoca en la composición química de los alimentos, en específico de los vegetales ya sea para efecto de las preferencias de consumo humano y en algunos casos con la finalidad de preservar sus cualidades (Ahmed y Ali, 2013; Cortez *et al.*, 2015; Armesto *et al.*, 2019).

Con respecto a la FS De Santiago *et al.* (2018), determinaron que al someter al nopal a diferentes tipos de cocción (microondas, a la parrilla y freído), aumenta ( $p < 0.05$ ) contenido de fibra dietética soluble ( $1.5 \pm 0.0$ ,  $1.7 \pm 0.0$ ,  $1.6 \pm 0.4$  g respectivamente) vs.  $1.0 \pm 0.1$ g en BF, en este mismo sentido Ramírez *et al.* (2013) compararon el contenido de FS del nopal fresco y hervido, determinando que este último presentó un aumento ( $p < 0.05$ ) de  $7.72 \pm 0.10$  (Tabla 7). En otro estudio

desarrollado por Kalala *et al.* (2018) en donde caracterizaron el contenido de fibra dietética total, soluble e insoluble de 29 vegetales sometidos a efecto térmico por vapor, encontraron que en 19 de ellos hubo incremento ( $p < 0.05$ ) de FS, en la Tabla 7 se muestran tres vegetales (calabaza, apio y brócoli) en donde se observó dicho efecto.

**Tabla 7.** Cambios en la fibra soluble (FS) de vegetales en diferentes técnicas de cocción

Autor y año	Tipo de vegetal	Contenido de FS en crudo	Técnica de cocción	Contenido de FS bajo cocción
De Santiago <i>et al.</i> (2018)	Nopal	1.0±0.1	Asado	1.5±0.0
			Microondas	1.7±0.0
			Hervido	1.3±0.3
			Frito	1.6±0.0
Ramírez <i>et al.</i> (2013)	Nopal	5.6 ±0.3	Hervido	7.7±0.1
	Calabaza	4.4 ± 1.0		7.1 ± 1.6
Kalala <i>et al.</i> (2018)	Brócoli	4.8 ± 1.8	Vapor	12.0 ± 1.6
	Apio	4.9 ± 1.4		17.0 ± 1.5

Otro medio de conservación del nopal es la aplicada por López *et al.* (2014), el cual consistió en la cocción de nopal al vapor, durante 11 min; puesto que dichos autores asumen que es la forma tradicional de consumo en el humano, este procedimiento, de acuerdo con los resultados, mantuvo los efectos del nopal como cuando se ofrece en forma fresca: la glucosa disminuyó ( $5 \text{ mmol L}^{-1}$ ) vs. testigo ( $7 \text{ mmol L}^{-1}$ ) a 30 min después del consumo de nopal.

### **3. Planteamiento del problema**

En el caso de los cerdos, la hipofagia fisiológica lactacional (HFL) repercute en los índices productivos y reproductivos inmediatamente después de culminar la fase de lactancia. En este sentido, el comportamiento reproductivo de las cerdas post-destete es esencial para la eficiencia productiva de los sistemas de producción de esta especie; motivo por el cual, se buscan estrategias que minimicen los efectos de la resistencia a la insulina en las cerdas en el último tercio de la gestación y en la primera semana de la fase de lactación. Al respecto, la adición de nopal en BF y picado (1% con base al peso vivo de la cerda) a la dieta de estos animales ha demostrado contrarrestar los efectos de la HFL. Pero, la humedad y azúcares contenidos en los cladodios hacen al nopal, una vez cosechado, susceptible de contaminarse rápidamente y no ser apto para consumo de los animales. Por ello, se requiere de un proceso que no afecte (pierda) los efectos hipoglucémicos mostrados en BF. Investigaciones que utilizan el método de cocción al vapor para la conservación de esta cactácea, han observado cambios en el contenido de fibra y se asume que la fibra soluble es la responsable de disminuir niveles de glucemia en los individuos hiperglucémicos. Por lo cual, el proceso de cocción al vapor debe ser investigado como posible estrategia para evitar que se contamine rápidamente postcosecha y mantenga su propiedad de modulador de la resistencia de insulina y de la HFL en cerdas en fase de lactación.

#### 4. Hipótesis

La cocción del nopal (*O. ficus-indica*) con vapor (100 °C) es una alternativa viable para incrementar sus propiedades químicas y su efecto hipoglucemiante en cerdas que consumirán una dieta adicionada con nopal en BF durante la fase de lactancia.

#### 5. Objetivos

##### 5.1 Objetivos generales

1. Determinar el tiempo de cocción (4, 7 y 10 min) del nopal (*O. ficus indica*) con vapor (CCV) a 100 °C, en el cual los cambios químicos de esta cactácea mejoren los efectos observados (mitigación de la resistencia a la insulina) en cerdas en fase de lactación cuando son sometidas a una dieta adicionada con nopal en base fresca (BF)
2. Evaluar el efecto del nopal CCV a 100 °C (seleccionado a partir del logro del primer objetivo general) sobre: niveles de glucosa sanguínea, colesterol y triglicéridos y su relación con resistencia a insulina y consumo voluntario de alimento en cerdas en fase de lactación.

##### 5.2 Objetivos particulares

1. Comparar el efecto de diferentes tiempos (4, 7 y 10 min) de cocción con vapor a 100 °C del nopal (*O. ficus-indica*) sobre los cambios químicos de esta cactácea.
2. Determinar el tiempo de cocción con vapor a 100 °C de *O. ficus-indica* en el cual se mejoren las características químicas de esta cactácea, en particular de la fibra dietética.
3. Evaluar y comparar el efecto de *O. ficus-indica* cocido con vapor a 100 °C (seleccionado a partir del logro del objetivo particular número dos) sobre el consumo voluntario de alimento de cerdas en fase de lactación y su relación con los niveles de glucosa sanguínea, colesterol y triglicéridos

Para fines del logro de los objetivos de esta investigación, la fase experimental se diseñó en dos etapas, mismas que se abordan a continuación:

## **6. Etapa 1: Evaluación del efecto de cocción con vapor (100 °C) a diferentes tiempos sobre los cambios químicos del nopal (*O. ficus-indica*).**

### **6.1 Materiales y Metodología**

Se utilizaron cladodios de nopal (*O. ficus-indica*) provenientes de la parcela de la Posta Zootécnica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UMSNH, ubicada en el km 9.5 de la carretera Morelia-Zinapécuaro, municipio de Tarímbaro, Michoacán, México. La región corresponde a la clasificación Cw: subhúmeda y semi- húmeda con clima templado, temperatura media de 18.6 °C y precipitación media anual de 773.9 mm (CONABIO, 2008).

Los cladodios utilizados poseían 90 días de edad, mismo que fueron seleccionados al azar y cosechados en el mes de junio de 2020. Los ocho cladodios, una vez cosechados, se lavaron y desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio comercial al 4%. Posteriormente, se determinaron los promedios de sus medidas morfológicas: peso, 669.8 ±164.5 g; longitud, 36.6 ±2.26 cm y ancho, 20.6 ±2.5 cm. Además, cada cladodio se fraccionó en trozos de 25 mm x 30 mm x 1.5 mm. Una vez reducidos los cladodios a trozos, éstos fueron mezclados para obtener cuatro muestras en BF de 1,250 g muestra<sup>-1</sup> y asignarle un tratamiento (T) a cada muestra: T1 o Testigo, nopal en BF; T2, nopal sometido a cocción con vapor (CCV) a 100 °C durante 4 min; T3, nopal sometido a CCV a 100 °C durante 7 min y T4, nopal sometido a CCV a 100 °C durante 10 min.

El proceso de CCV se realizó en una olla vaporera para uso doméstico (Vasconia®, capacidad de 5.0 L). Debido a la capacidad de la vaporera, las muestras de los tratamientos T2, T3 y T4 se fraccionaron en cinco porciones (250 g porción<sup>-1</sup>) para someterlos al proceso de CCV a 100 °C de acuerdo con el tiempo establecido en el diseño experimental (T2, 4 min, T3, 7 min y T4, 10 min). La temperatura del vapor se monitoreo con un termómetro de acero inoxidable (temperatura mínima 60 °C, máxima 120 °C). Se controló manualmente la cantidad de flama de la estufa de gas para mantener constante la temperatura del vapor;

alcanzada la temperatura del vapor a 100 °C, se colocaron las porciones por tratamiento por el tiempo determinado en el diseño experimental. Culminado el tiempo de precocción tratamiento<sup>-1</sup>, las muestras se sumergieron en agua fría a 7 °C durante 5 min y se drenaron.

Todas las muestras tratamiento<sup>-1</sup> se colocaron en bandejas de aluminio y se deshidrataron en un horno de secado con aire caliente a 50 °C hasta alcanzar una pérdida de humedad del 94% aproximadamente en cada muestra. Deshidratadas las muestras (80 g tratamiento<sup>-1</sup>) se molieron en una licuadora marca Oster® modelo: 450-10 y se almacenaron en un desecador hasta llevar a cabo los análisis. Los análisis químico proximales se realizaron en el laboratorio de Investigación y Análisis de alimentos (LIDA) de la Facultad de Químico Farmacobiología-UMSNH, bajo la metodología descrita por la AOAC (2000).

Se determinó (muestra<sup>-1</sup> tratamiento<sup>-1</sup>): humedad (HM), materia seca (MS), extracto etéreo (E.E), proteína cruda (Prot), cenizas (Cen), extracto libre de nitrógeno (ELN), fibra dietética soluble (FS), insoluble (FI) y fibra dietética total (FDT). Mismas que se determinaron como sigue: para HM se utilizó el método 925.10; MS, se calculó mediante sustracción de la HM de la muestra a 100; E.E., a través de la extracción con éter en un equipo Soxhlet (920.39); Prot, mediante el método Kjeldahl, (950.48) con factor de conversión de 6.25; Cen, mediante la incineración en muffle a 550° C (942.05); ELN se obtuvo por diferencia, restando a 100 g a los valores obtenidos de los demás componentes (986.25). Mientras que la determinación de FS, FI y FDT fue mediante un kit comercial (Sigma Aldrich®) utilizando el método 985.29 de la AOAC (Proskey *et al.*, 1995).

### **Análisis estadístico**

La información recabada se analizó a través de estadísticas descriptivas e inferencial, esta última mediante los modelos de efectos fijos (Herrera y Barreras, 2000), bajo el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$$

## Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas

Donde:

$y_{ij}$ =Variable respuesta (HM, MS, Prot, Cen, E.E., ELN, FDT, FS y FI);  $\mu$ = Media general;  $\tau_i$ = Tratamiento con  $i$ ésimo tratamiento = T1, T2, T3, T4;  $\varepsilon_{ij}$ = Error aleatorio asociado a cada observación ( $\sim$ NID=0,  $\sigma^2e$ )

Las diferencias entre grupos se obtuvieron a través de la metodología de medias de mínimos cuadrados (LsMeans) (Littell *et al.*, 1998) a un  $\alpha = 0.05$ .

## 6.2 Resultados

Se encontró efecto ( $p < 0.001$ ) de tratamiento (CCV a diferentes tiempos) sobre los componentes del nopal (*O. ficus-indica*) y cuyos promedios generales fueron:  $6.03 \pm 0.3 \text{ g}^{-100 \text{ g MS}}$  de HM,  $93.9 \pm 0.2 \text{ g}^{-100 \text{ g MS}}$  de MS,  $16.4 \pm 0.2 \text{ g}^{-100 \text{ g MS}}$  de Prot,  $1.6 \pm 0.3 \text{ g}^{-100 \text{ g MS}}$  de E.E.,  $22.2 \pm 2.1 \text{ g}^{-100 \text{ g MS}}$  de ELN,  $31.5 \pm 2.1$ ,  $8.3 \pm 1.1$  y  $23.1 \pm 1.7 \text{ g}^{-100 \text{ g MS}}$ , para FDT, FS y FI, respectivamente. Para Cen fue de  $22.6 \pm 0.1 \text{ g}^{-100 \text{ g MS}}$  (Tabla 8).

**Tabla 8.** Análisis de varianza para los componentes químicos de nopal (en base seca) post-cocción con vapor a  $100 \text{ }^\circ\text{C}$

		Cuadrados Medios				
F de V	GL	Humedad	Materia Seca	Proteína	Lípidos	Cenizas
Tratamiento	3	0.64333**	0.64333333**	14.1866**	1.311153**	71.26406**
Error	20	0.088166	0.08816667	0.056399	0.0978467	0.002813
Promedio $\pm$		$6.03 \pm 0.3$	$93.9 \pm 0.2$	$16.4 \pm 0.2$	$1.6 \pm 0.3$	$22.6 \pm 0.1$
R <sup>2</sup>		0.52	0.89	0.97	0.66	0.99

		Fibra			
		ELN	Dietética	Soluble	Insoluble
Tratamiento	3	403.722758**	216.6109516**	105.6756498**	194.5862413**
Error	20	4.655548	4.8075343	1.3076051	3.2302864
Promedio		$22.2 \pm 2.1$	$31.5 \pm 2.1$	$8.3 \pm 1.1$	$23.1 \pm 1.7$
R <sup>2</sup>		0.93	0.87	0.92	0.90

$\pm$  = Desviación estándar

\*\* = Altamente significativo ( $p < 0.001$ )

En cuanto a las diferencias de las cantidades de los compuestos químicos del nopal (*O. ficus-indica*) de acuerdo al tratamiento (Tabla 9), se encontró que, la humedad fue mayor ( $p < 0.05$ ) en el tratamiento CCV por 10 min (T3) ( $6.5 \pm 0.1 \text{ g}^{-100 \text{ g MS}}$ ) en comparación con los tratamientos T1, T2 y T3, quienes mostraron valores similares ( $p > 0.05$ ) entre sí ( $\leq 6.0^a \pm 0.1 \text{ g}^{-100 \text{ g MS}}$  de HM). En cuanto a proteína, se observó que los tratamientos T2, T3 y T4 presentaron mayores valores de Prot ( $p < 0.05$ ) en comparación con T1, y dentro de estos, T4 ( $16.3 \pm 0.09 \text{ g}^{-100 \text{ g MS}}$ ) presentó menor ( $p < 0.05$ ) Prot vs. T2 y T3 ( $17.7 \pm 0.09$  y  $17.5 \pm 0.09 \text{ g}^{-100 \text{ g MS}}$ , respectivamente). En lo que respecta al E.E, este disminuyó ( $p < 0.05$ ) en los tratamientos de CCV ( $\leq 1.7 \pm 0.1 \text{ g}^{-100 \text{ g MS}}$ ), en comparación con el testigo ( $2.3 \pm 0.1 \text{ g}^{-100 \text{ g MS}}$ ). Referente al ELN, también se incrementó ( $p < 0.05$ ) en los tratamientos

por CCV ( $\geq 20.4^b \pm 0.8 \text{ g}^{-100 \text{ g MS}}$ ) en comparación con el Testigo ( $10.8 \pm 0.8 \text{ g}^{-100 \text{ g MS}}$ ) (Tabla 9).

**Tabla 9.** Medias de mínimos cuadrados para los componentes del análisis químico proximal de nopal BS de acuerdo con el tiempo de cocción con vapor a 100 °C

Variable	Tiempo de cocción con vapor a 100 °C			
	0 min (Testigo)	4 min (T2)	7 min (T3)	10 min (T4)
Humedad (HM) %	5.7 <sup>b</sup> ±0.11	6.0 <sup>b</sup> ±0.11	5.8 <sup>b</sup> ±0.11	6.5 <sup>a</sup> ±0.11
Materia seca (MS) $\text{g}^{-100 \text{ g MS}}$	94.3 <sup>a</sup> ±0.11	93.9 <sup>a</sup> ±0.11	94.1 <sup>a</sup> ±0.11	93.5 <sup>b</sup> ±0.11
Proteína (Prot) $\text{g}^{-100 \text{ g MS}}$	14.3 <sup>c</sup> ±0.09	17.7 <sup>a</sup> ±0.09	17.5 <sup>a</sup> ±0.09	16.3 <sup>b</sup> ±0.09
Lípidos (E.E.) $\text{g}^{-100 \text{ g MS}}$	2.3 <sup>a</sup> ±0.13	1.7 <sup>b</sup> ±0.13	1.4 <sup>b</sup> ±0.13	1.3 <sup>b</sup> ±0.13
Ex. libre de Nitrógeno (ELN) $\text{g}^{-100 \text{ g MS}}$	10.8 <sup>d</sup> ±0.88	20.4 <sup>c</sup> ±0.88	26.1 <sup>b</sup> ±0.88	29.6 <sup>a</sup> ±0.88
Fibra Dietética (FDT) $\text{g}^{-100 \text{ g MS}}$	38.9 <sup>a</sup> ±0.89	33.7 <sup>b</sup> ±0.89	27.9 <sup>c</sup> ±0.89	25.6 <sup>c</sup> ±0.89
Fibra Soluble (FS) $\text{g}^{-100 \text{ g MS}}$	7.5 <sup>b</sup> ±0.46	14.5 <sup>a</sup> ±0.46	5.9 <sup>c</sup> ±0.46	5.5 <sup>c</sup> ±0.46
Fibra Insoluble (FI) $\text{g}^{-100 \text{ g MS}}$	31.5 <sup>a</sup> ±0.73	19.0 <sup>b,d</sup> ±0.73	22.0 <sup>c</sup> ±0.73	20.1 <sup>c,d</sup> ±0.73
Cenizas (Cen) $\text{g}^{-100 \text{ g MS}}$	27.8 <sup>a</sup> ±0.02	20.2 <sup>d</sup> ±0.02	21.2 <sup>c</sup> ±0.02	20.7 <sup>b</sup> ±0.02

BS=Base seca; min= minutos; T= Tratamiento; ±= Error estándar  
 Literales <sup>a, b, c, d</sup> indican diferencias ( $p < 0.05$ ) dentro de fila.

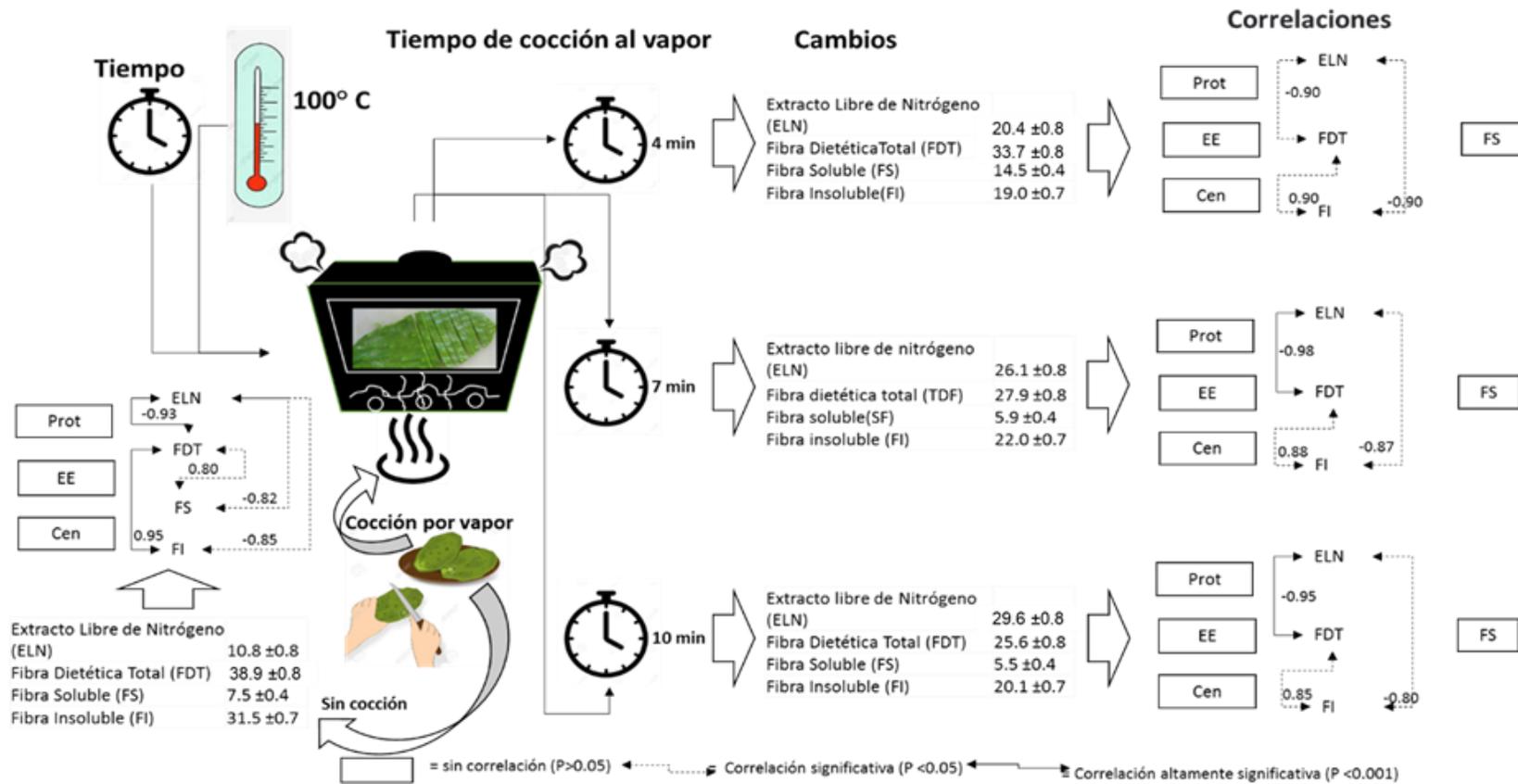
Respecto a la FDT, esta disminuyó ( $p < 0.05$ ) con el proceso de CCV ( $\leq 33.7 \pm 0.8 \text{ g}^{-100 \text{ g MS}}$ ) en comparación con el testigo ( $38.9 \pm 0.8 \text{ g}^{-100 \text{ g MS}}$ ); pero, la disminución fue mayor en T3 ( $27.9 \pm 0.8 \text{ g}^{-100 \text{ g MS}}$ ) y T4 ( $25.6 \pm 0.8 \text{ g}^{-100 \text{ g MS}}$ ) (Tabla 9). En cuanto a FS, esta fue mayor ( $p < 0.05$ ) en T2 ( $14.5 \pm 0.4 \text{ g}^{-100 \text{ g MS}}$ ) vs. resto de los tratamientos analizados ( $7.5 \pm 0.4$ ;  $5.9 \pm 0.4$  y  $5.5 \pm 0.4 \text{ g}^{-100 \text{ g MS}}$  de FS para T1, T3 y T4, respectivamente). Sin embargo, los promedios de T3 y T4 fueron iguales entre sí ( $p > 0.05$ ), pero menores ( $p < 0.05$ ) a T1 (Tabla 9). Mientras que la FI mostró menor concentración ( $p < 0.05$ ) en T2, T3 y T4 ( $\leq 22.0 \pm 0.7 \text{ g}^{-100 \text{ g MS}}$ ) en comparación con T1 ( $31.5 \pm 0.7 \text{ g}^{-100 \text{ g MS}}$ ) (Tabla 9). Por último, se encontró que el contenido de Cen fue diferente en cada uno de tratamientos analizados ( $p < 0.05$ ); donde T1 fue quien mostró el mayor ( $p < 0.05$ ) valor de Cen ( $27.8 \pm 0.02 \text{ g}^{-100 \text{ g MS}}$ ); mientras que, T2 mostró el menor contenido de este componente ( $p < 0.05$ ):  $20.2 \pm 0.02 \text{ g}^{-100 \text{ g MS}}$  de Cen (Tabla 9).

En cuanto a las correlaciones ( $r$ ) entre los componentes químicos dentro de cada tratamiento analizado (Figura 2), mismas que sirvieron para caracterizar esquemáticamente la acción de la CCV del nopal (*O. ficus-indica*), se pudo

establecer que, en los cuatro tratamientos la Prot, E.E. y las Cen, no se correlacionaron entre sí ni entre el resto de los componentes ( $p > 0.05$ ) (Figura 2).

Al tomar como referente al Testigo (BF) se determinó que, al someter a *O. ficus-indica* al proceso de CCV a 100°C y a diferentes tiempos (T2, 4 min; T3, 7 min, T4, 10 min) se disminuyó el número de correlaciones entre los componentes químicos del nopal: T1, presentó cinco correlaciones, mientras que el resto de los tratamientos solo mostraron tres correlaciones entre los componentes evaluados.

Para el caso del ELN, este compuesto se correlacionó ( $r$ ), en los tratamientos analizados, de forma negativa ( $p \leq 0.05$ ) y valores altos (correlaciones  $\geq -0.90$ ) con FDT (Figura 2). Mientras que la FDT, en T1 se correlacionó con FI ( $r = 0.95$ ; ( $p < 0.001$ )) y FS ( $r = 0.80$ ; ( $p < 0.05$ )); aspecto que no ocurrió en el resto de los tratamientos analizados; solo se observó correlación entre ELN-FDT (Figura 2). Además, se encontró que la FDT se correlacionó positivamente ( $p < 0.05$ ) y con coeficientes altos ( $\geq 0.85$ ) con FI; y esta a su vez, se correlacionó con ELN de forma negativa ( $p < 0.05$ ) y con coeficientes  $\geq -0.80$ , ello dependiendo del tratamiento (Figura 2). En cuanto a FS, en los tratamientos por CV, no se observó que esta se correlacionara con alguno de los componentes analizados ( $p < 0.05$ ) (Figura 2).



**Figura 2.** Caracterización esquemática del cambio de correlaciones de Pearson entre los indicadores químicos del nopal (*O. ficus-indica*) sometido a diferentes tiempos de cocción con vapor a 100° C

### 6.3 Discusión

En la mayoría de las investigaciones (Martínez *et al.*, 2010; Hernández *et al.*, 2010; Nuñez *et al.*, 2013) donde someten al nopal (*O. ficus-indica*) a tratamiento térmico reportan cambios en sus componentes químicos; como en el contenido de fibra (Figueroa *et al.*, 2018) y contenido mineral (Contreras *et al.*, 2011). Aspectos observados en esta investigación (Tabla 9). Sin embargo, dichas investigaciones se han desarrollado con *O. ficus-indica* para consumo humano con una edad promedio de 15 días; mientras que en la presente investigación se utilizó *O. ficus-indica* de 90 días de edad.

En cuanto a los aspectos de HM y MS en los tratamientos (T1, T2 y T3) analizados en esta investigación (Tabla 9, Figura 2), estos se comportaron tal como lo determinaron Martínez *et al.* (2010) quienes establecieron que un porcentaje de humedad  $\leq 6\%$  es el adecuado para el almacenamiento de la muestra. Sin embargo, en T4 (CCV durante 10 min) la HM y el contenido de MS fueron diferentes ( $p < 0.05$ ) al resto de los tratamientos evaluados (Tabla 9). Posiblemente, este comportamiento se debió al mayor tiempo de contacto del nopal con el vapor (10 min) en comparación con el resto de los tratamientos sometidos a CCV (T1, 4 min en T2 y, 7 min en T3) y al testigo.

Para aspectos de proteína, específicamente a lo encontrado en el T1 ( $14.3 \text{ g}^{-100\text{g}} \text{ MS}$ ) (Tabla 9), el valor determinado fue superior a lo encontrado por Hernández *et al.*, (2010) ( $7.8 \text{ g}^{-100\text{g}} \text{ MS}$ ) y Pérez *et al.*, (2015) ( $5.9 \text{ g}^{-100\text{g}} \text{ MS}$ ). Sin embargo, Rodríguez *et al.*, (2012), reportaron un valor de  $14.2 \text{ g}^{-100\text{g}} \text{ MS}$  en cladodios de 60 días. El contenido de proteína reportado por dichos investigadores concuerda con el resultado obtenido en T1; pero, la diferencia está en las edades de los cladodios analizados: 90 días de edad (en la presente investigación) vs. 60 días de edad (en la investigación de Rodríguez *et al.*, 2007). Estas diferencias, en las cantidades de proteína, en nopal en BF, posiblemente fue producto de los factores agroclimáticos de donde provienen los cladodios de nopal (*O. ficus-indica*) (Hernández *et al.*, 2010; Santos *et al.*, 2017). Sin embargo, la mayoría de las investigaciones en torno a la cantidad de proteína presente en *O. ficus-indica* reportan valores bajos (7.0-8.0%);

de aquí la recomendación de que, en la alimentación animal, el nopal debe combinarse con otros ingredientes para cubrir los requerimientos de proteína (Ortiz *et al.*, 2013; Pérez *et al.*, 2015).

Con relación al incremento ( $p < 0.05$ ) del contenido de proteína de los tratamientos sometidos a CCV (Tabla 9), Santos *et al.* (2017) y Neves *et al.*, (2019) también observaron este fenómeno, aunque el tratamiento térmico del nopal fue por 5 min en microondas (Santos *et al.*, 2017) y a la parrilla (Neves *et al.*, 2019). No obstante, en estudios anteriores al 2010, se determinó que, el incremento en la cantidad de proteína en los nopales sometidos a tratamiento térmico, previo al análisis químico-proximal, puede deberse a la reducción de la humedad, resultado de la pérdida de líquido durante el proceso de cocción (Manzi *et al.*, 2004; Ersoy y Özeren, 2009). Pero, también la lixiviación puede arrastrar algunos componentes como la fibra soluble (Ramírez *et al.*, 2013) y otros insolubles (minerales o lípidos) y esta pérdida provoca que se concentren otros componentes como la proteína. Armesto *et al.*, 2018, refieren que algunos componentes insolubles se pueden perder en el líquido de cocción, tal como los minerales y los lípidos (Ahmed *et al.*, 2013) y, por lixiviación, una fracción parcial de la fibra soluble. Lo cual puede contribuir a la concentración de otros compuestos como la proteína (Ramírez *et al.*, 2013).

Contrario al efecto de la temperatura sobre el contenido de proteína en *O. ficus-indica*, los lípidos disminuyeron ( $p < 0.05$ ) (Tabla 2). Aspecto que concuerda con lo reportado por Ahmed y Ali (2013), quien investigó los cambios en lípidos en la coliflor sometida a proceso térmico:  $2.2 \pm 0.14 \text{ g}^{-100\text{g MS}}$  de lípidos en coliflor en BF vs.  $1.9 \pm 0.07 \text{ g}^{-100\text{g MS}}$  en coliflor sometida al procesamiento térmico. Roncero *et al.* (2017), quienes trabajaron con champiñones, encontraron la misma tendencia en lípidos:  $2.3 \pm 0.03 \text{ g}^{-100\text{g MS}}$  en fresco y  $1.2 \pm 0.02 \text{ g}^{-100\text{g MS}}$  en champiñones cocidos en un medio acuoso. Esta disminución de lípidos en *O. ficus-indica* sometida a cocción por vapor (Tabla 9), podría atribuirse a fenómenos como oxidación lipídica y/o lixiviación (Ahmed *et al.*, 2013; Aadil *et al.*, 2018). Para el caso de lípidos en T1, Rodríguez *et al.*, (2007) y Hernández *et al.*, (2011) reportan valores ( $2.4$  y  $2.5 \text{ g}^{-100\text{g MS}}$ , respectivamente) similares a los encontrados en dicho tratamiento (Tabla 9).

En cuanto a ELN en T1 en comparación con los tratamientos sometidos a CCV (Tabla 9), López *et al.* (2014), Ramírez *et al.* (2013), y Castillo *et al.*, (2013) reportan valores superiores de ELN en nopal en BF ( $15.3 \pm 3.8$ ,  $18.9 \pm 0.6$  y  $16.4 \text{ g}^{-100\text{g MS}}$ ) a lo encontrado en esta investigación (Tabla 9). Aspecto que puede atribuirse varios factores; (Pérez *et al.*, 2015), encontraron diferencias en ELN por efecto de la variedad de nopal, edad del cladodio, época de año y ausencia o presencia de prácticas culturales. Con respecto al incremento de ELN en *O. ficus-indica* por efecto de la CCV (Tabla 9), Dikeman *et al.*, (2005) y Roncero *et al.*, (2017) determinaron que este comportamiento puede atribuirse a la lixiviación de sustancias solubles durante la ebullición, lo que podría resultar en un incremento de concentración de la fracción de ELN insoluble.

Para la fibra dietética total (FDT) contenida en T1, el resultado observado (Tabla 9) fue similar al reportado por Nuñez *et al.* (2013) ( $38.3 \text{ g}^{-100\text{g MS}}$ ) y por Ramírez *et al.*, (2013) ( $47.5 \text{ g}^{-100\text{g MS}}$ ). Sin embargo, la CCV de los cladodios de nopal provocó que la FDT disminuyera ( $p < 0.05$ ) en comparación con T1 (Tabla 9). Fenómeno que coincide con Kalala *et al.* (2018), quienes observaron disminución de FDT en calabacín y calabacita amarilla cocidos al vapor. Al respecto, Neves *et al.* (2019) asociaron la pérdida de fibra al proceso de lixiviación. Mientras que, Margareta y Nyman (2003) relacionan la pérdida de FDT con el daño a los polisacáridos de la pared celular por el efecto térmico.

Kalala *et al.* (2018) al caracterizar el contenido de fibra con 29 diferentes vegetales sometidos a cocción con vapor; encontraron que, en 19 de ellos se incrementó la fibra soluble (FS). Ramírez *et al.*, (2013) también reportaron incremento ( $p < 0.05$ ) de FS en nopal hervido ( $7.7 \pm 0.10 \text{ g}^{-100\text{g MS}}$ ). Mismo fenómeno reportaron De Santiago *et al.*, (2018) cuando analizaron la FS en nopal cocido en parrilla y microondas. Sin embargo, este aspecto únicamente se observó en T2 (CCV por 4 min), puesto que en T3 y T4 se redujo ( $p < 0.05$ ) la cantidad de este componente vs. T1 (Tabla 9). En este sentido, Kalala *et al.* (2018), sugieren que el calor del vapor no es capaz de degradar los límites covalentes que unen los diferentes monómeros en las cadenas de los polisacáridos que constituyen la FS.

Es posible que, el efecto, de la cocción del nopal, más importante fue a 4 min (T2) en donde la fibra pudo sufrir dos modificaciones: a) rompimiento de enlaces que le conferían carácter insoluble y con el tratamiento térmico produjo mayor solubilidad; b) una parte de la fibra insoluble se fragmentó y se generaron fracciones solubles de fibra. Posterior a los 4 min de cocción del nopal (7 y 10 min) y de acuerdo con los resultados, posiblemente se perdió fibra soluble por lixiviación. En este sentido, la temperatura y el tiempo (4 min) de cocción del nopal pudo contribuir en la degradación de polímeros que constituyen la fibra insoluble los cuales al degradarse exponen sus grupos funcionales que interaccionan con agua y así cuantificarse como FS (Ayadi *et al.*, 2009, Bader *et al.*, 2019). Para el caso de T3 y T4 (7 y 10 min, respectivamente), la FS pudo comenzar a perderse por efecto de lixiviación. Ello, acorde a lo reportado por Ramírez *et al.* (2013).

Lo referido anteriormente, concuerdan con los resultados de esta investigación: la CCV del nopal por 4 min es capaz de incrementar el contenido de fibra soluble, pero después de este tiempo la cantidad de dicho componente disminuye ( $p < 0.05$ ) (Tabla 9). La importancia de este hallazgo radica en que se ha establecido que a la FS del nopal se le atribuyen propiedades hipoglucémicas e hipocolesterolémicas; por lo que el nopal es utilizado como tratamiento de padecimientos crónicos, como el caso de la diabetes (Núñez López *et al.*, 2014; Hwan *et al.*, 2017).

Otro de los compuestos químicos del nopal que se alteró (disminución) por efecto de la CCV ( $p < 0.05$ ) fueron las cenizas (Tabla 9). Fenómeno similar observaron (Moreno *et al.*, 2015) en papa (*puca shungo*), estos investigadores reportaron  $4.5 \pm 0.06 \text{ g}^{-100\text{g MS}}$  en papa en BF y  $3.7 \pm 0.01 \text{ g}^{-100\text{g MS}}$  en papa sometida a efecto térmico. Ahmed *et al.*, (2013), también observaron este comportamiento en la cuantificación de cenizas en coliflor cocida vs. en BF:  $9.6 \pm 0.25$  y  $11.0 \pm 0.08 \text{ g}^{-100\text{g MS}}$ , respectivamente. Reducción que puede asociarse a la filtración de los minerales solubles hacia el agua de cocción durante el proceso térmico acuoso (Moncada *et al.*, 2006; Bernhardt y Schlich, 2006; Ahmed *et al.*, 2013).

Finalmente, la caracterización esquemática de los cambios de correlaciones entre componentes químicos del nopal, de acuerdo con el tiempo de CCV, permitió establecer que este proceso cambia no solo las cantidades de los componentes

químicos del nopal, sino también, su asociación ( $p < 0.05$ ) entre los mismos (Figura 2). En este sentido, la CCV provocó: a) mayor contenido de FDT, pero, menor cantidad de ELN presente en los cladodios y b) a mayor cantidad de ELN, menor cantidad de FI (Tabla 9). Sin embargo, la CCV por 4 min o más evita una relación positiva entre la FI y el ELN, además de que evita la correlación de la FS con otros componentes químicos del nopal (Figura 2). Las explicaciones vertidas por otros investigadores y que pudieran explicar este fenómeno, son: parte del contenido de FDT y FS se pierden debido al daño a los polisacáridos de la pared celular por el efecto térmico (Margareta y Nyman, 2003) o por lixiviación parcial de los componentes de la fibra (Neves *et al.*, 2019); pero, no hay explicación sobre: a) porqué la FS se incrementa a 4 min de cocción y se reduce a más de 4 min de cocción y, b) porque se pierde la asociación ( $r$ ) entre FS y ELN, tal como ocurrió en T1 (BF) (Figura 2).

#### **6.4 Conclusiones**

La cocción con vapor a 100 °C (entre 4 y 10 min) modifica la composición química del nopal *O. ficus-indica* en comparación con la composición en BF. Dicha modificación se presenta en dos sentidos: el primero, aumento de proteína, extracto libre de nitrógeno y lípidos y, en segundo: disminuyen cenizas, fibra digestible y fibra insoluble, excepto en fibra soluble, la cual disminuye con la cocción con vapor a 7 y 10 min y aumenta con la cocción a 4 min. Estos cambios químicos, sugieren que, el nopal sometido a cocción con vapor a 4 min podría mejorar sus propiedades biofuncionales en comparación al nopal en BF. Sin embargo, se requiere de una mayor investigación para establecer dicha sugerencia.

## **7. Etapa 2: Determinación del efecto de la adición de *O. ficus-indica* cocido con vapor (100 °C) por cuatro min sobre los metabolitos energéticos y su relación con el consumo voluntario de alimento**

### **7.1 Materiales y Metodología**

Esta etapa se llevó a cabo en una unidad de producción porcícola ubicada en el poblado Isaac Arriaga dentro del Municipio de Puruándiro, Michoacán, México, localizada al norte del estado en las coordenadas 20.253301 de latitud norte y 101.497144 de longitud oeste, a una altura de 1729 msnm (INEGI, 2010).

#### **Animales y dietas**

Se utilizaron 18 cerdas multíparas próximas al parto y de línea genética para magrez de la canal y velocidad de crecimiento, con peso promedio de 210 kg, seleccionadas al azar a los 100 días de gestación; con el total de cerdas se formaron tres grupos (G): G1 (n=6) sometidas a alimento comercial para fase de lactación únicamente; G2 (n=6) sometidas a alimento comercial para fase de lactación más 2.0 kg de nopal en BF y G3 (n=6) sometidas a alimento comercial más 2.0 kg nopal CCV por 4 min.

El alimento comercial se ofreció *ad libitum* (cantidad superior a lo establecido en la fase de lactación:  $\geq 5 \text{ kg día}^{-1} \text{ cerda}^{-1}$ ) con el objetivo de establecer el consumo voluntario de alimento (CVA)  $\text{cerda}^{-1}$ . La cantidad total de alimento comercial para fase de lactación ( $8 \text{ kg día}^{-1} \text{ cerda}^{-1}$ ) se dividió en tres porciones: la primera se suministró a las 7:30 h; la segunda, a las 12:00 h y la tercera a las 15:00 h. La adición de *O. ficus-indica* a la dieta de cada grupo se realizó a las 7:00 h desde el día del parto y durante 21 días de lactación. A las 21:00 h de cada día, se midió el rechazo de alimento comercial y de nopal en BF o CV. Para ello, se separó el nopal del alimento comercial sobrante mediante una malla metálica para poderlos pesar por separado. El contenido nutricional de las dietas se muestra en la Tabla 10.

**Tabla 10.** Composición nutrimental de las dietas implementadas

<b>Alimento comercial</b>	<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>	<b>Grupo 3</b>
Proteína Cruda %	16.8	16.8	16.8
Grasa Cruda %	6.6	6.6	6.6
Fibra Cruda %	3.0	3.0	3.0
Cenizas	5.4	5.4	5.4
Humedad	11.8	11.8	11.8
Fósforo	0.4	0.4	0.4
Calcio	0.8	0.8	0.8
<b>Nopal (<i>O. Ficus-indica</i>)</b>		<b>Fresco</b>	<b>Cocido al vapor*</b>
Proteína g <sup>-100g MS</sup>		14.2 ±0.1	17.6 ±0.1
Extracto Etéreo g <sup>-100g MS</sup>		2.3 ±0.1	1.6 ±0.1
Fibra Dietética Total g <sup>-100g MS</sup>		40 ±0.8	33.6 ±0.8
Fibra Soluble g <sup>-100g MS</sup>		7.5 ±0.4	14.5 ±0.4
Fibra Insoluble g <sup>-100g MS</sup>		31.5 ±0.7	19.0 ±0.7
Cenizas g <sup>-100g MS</sup>		27.8 ±0.02	20.1 ±0.02
Extracto libre de Nitrógeno g <sup>-100g MS</sup>		10.8 ±0.8	20.2 ±0.8
Humedad %		5.7 ±0.1	6.0 ±0.1
Materia seca g <sup>-100g MS</sup>		94.2 ±0.1	94 ±0.1

\*= Nopal (*O. ficus-indica*) cocido con vapor a 100 °C por cuatro min

### Procedimientos experimentales

Las variables evaluadas cerda<sup>-1</sup> grupo<sup>-1</sup> fueron: niveles séricos de colesterol (Col), triglicéridos (Trg) y glucosa sanguínea (GS). Así como: Lechones nacidos vivos (LV), Lechones destetados (LD), consumo voluntario de alimento total (CVA) y diario (CA<sub>d</sub>), así como índice triglicéridos-glucosa (ITG).

Para determinar los niveles de los metabolitos energéticos (colesterol y triglicéridos) se tomaron muestras sanguíneas (6 cerdas grupo<sup>-1</sup>) de 10 ml cerdo<sup>-1</sup>. Para ello, se utilizaron tubos vacutainer® con suero activador de coagulación. Las muestras cerda<sup>-1</sup> grupo<sup>-1</sup> se recolectaron en los días 1, 7, 14 y 21 post-parto y se obtuvieron de la vena yugular previo ayuno de 8 h, se centrifugaron a 1000 rpm durante 5 min, una vez separado el plasma se colocó en tubos de eppendorf® de 2 mL y se mantuvieron en una hielera a una temperatura de 4 °C, hasta su transporte al laboratorio clínico donde se llevaron a cabo las determinaciones.

La determinación de los niveles de glucosa sanguínea, esta se realizó mediante un glucómetro de uso humano (Accu check performance®), para ello se realizó la

punción directa de la vena yugular. Esta metodología fue validada para obtener valores de glucosa sanguínea en cerdos (Pérez *et al.*, 2015).

El CVA y el consumo voluntario de nopal se determinaron a través del peso del alimento y nopal suministrado día<sup>-1</sup> menos el peso de alimento y nopal sobrante día<sup>-1</sup>. El alimento suministrado y sobrante se pesaron en una báscula Mini Lcd Digital 300 kg Portátil Industrial Electrónico Rhino®.

Para determinar el grado de resistencia a insulina (RI) durante la fase de lactación, se utilizó ITG, cálculo establecido por Guerrero *et al.*, (2010):

$$\text{índice de T-G} = \text{Log}_{10}(\text{TG} [\text{mg}\cdot\text{dL}^{-1}] \times \text{GS} [\text{mg}\cdot\text{dL}^{-1}] / 2)$$

Donde: Log<sub>10</sub>=Logaritmo natural; T=Triglicéridos; G=Glucosa sanguínea.

Las cerdas se estratificaron en terciles, de acuerdo con su valor de índice de T-G: bajo ( $\leq 8.3$ ); moderado (de 8.4 a 8.7) o alto ( $\geq 8.8$ ). El uso de un sistema de clasificación de terciles es consistente con estudios previos (Hempe *et al.*, 2015; Marini *et al.*, 2017).

### **Análisis estadístico**

Los datos se analizaron por ANOVA a través de la metodología de mediciones repetidas mediante PROC MIXED (SAS Ins.) (Littell *et al.*, 1998) fijando a la cerda como objeto del efecto aleatorio de tiempo (días) y, como efectos fijos: grupo, día y la anidación grupo(día), bajo el siguiente modelo.

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + G(D)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ij}$ =Variable respuesta: CVA, consumo de nopal, LV, LD, GS, Col y Trg;  $\mu$ = Media general;  $G_i$ = Efecto fijo del  $i$ ésimo grupo con  $i = G1, G2$  y  $G3$ ;  $G(D)_i$ = Efecto fijo de la anidación del  $j$ ésimo grupo dentro del  $k$ ésimo día con  $k = 0, 7, 14,$  y  $21$  días;  $\epsilon_{ij}$ = Error aleatorio asociado a cada observación ( $\sim \text{NID}=0, \sigma^2e$ )

Las diferencias entre grupos se obtuvieron mediante la metodología de medias de mínimos cuadros (LsMeans, siglas en inglés) a un  $\alpha=0.05$  (Littell *et al.*, 1998)

## 7.2 Resultados

En necesario acotar que, el tamaño de camada cerda<sup>-1</sup> se estandarizó a 9.0 lechones camada<sup>-1</sup> grupo<sup>-1</sup> inmediatamente después del parto (Tabla 11), ello debido a que el tamaño de cama es un factor que puede incidir en variables como CVA, remoción de reservas corporales de las cerdas y ello asociarse con RI.

**Tabla 11.** Medias de mínimos cuadrados para consumo voluntario (en base fresca y cocido) de nopal y alimento comercial durante la fase de lactación

Variable	Grupo								
	G1 (Sin Nopal)			G2 (Nopal BF)			G3 (Nopal CCV)		
	Prom ±	Mín	Máx	Prom ±	Mín	Máx	Prom ±	Mín	Máx
L. Vivos	10.1 <sup>a</sup> ±0.9	9.0	11.0	8.7 <sup>b</sup> ±3.3	4.0	12.0	9.7 <sup>a</sup> ±2.0	7.0	13.0
Camada ajustada	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
Nopal*	0.0 <sup>a</sup>	0.0	0.0	0.5 <sup>b</sup> ±0.7	0.0	2.0	1.2 <sup>a</sup> ±0.8	0.1	2.0
Alimento*	3.1 <sup>c</sup> ±1.0	1.0	4.4	3.2 <sup>b</sup> ±1.9	0.0	6.2	3.9 <sup>a</sup> ±1.8	0.0	6.9
Alimento+Nopal*	3.1 <sup>c</sup> ±1.0	1.0	4.4	3.8 <sup>b</sup> ±2.3	0.1	7.8	5.1 <sup>a</sup> ±2.3	0.4	8.9
LD	8.0 <sup>a</sup> ±1.0	6.0	9.0	7.3 <sup>a</sup> ±0.9	6.0	8.0	7.6 <sup>a</sup> ±0.7	6.0	8.0
PLD	6.9 <sup>b</sup> ±1.3	4.0	8.0	7.1 <sup>ab</sup> ±1.3	4.0	10.0	7.7 <sup>a</sup> ±1.6	4.0	12.0

Prom=Promedio; ±= Desviación estándar; BF= Base fresca; CCV=Cocido con vapor  
 \*= Consumo (kg); L=Lechones; LD= Lechones Destetados; PLD= Peso del lechón al destete  
 Literales <sup>a, b</sup> indican diferencias entre promedios dentro de fila

En lo referente a la cantidad de lechones destetados (LD) cerda<sup>-1</sup> grupo<sup>-1</sup> no se encontraron diferencias ( $p < 0.05$ ) en esta variable: 8.3 ±1.0, 7.3 ±0.9 y 7.6 ±0.7 LD cerda<sup>-1</sup> para el G1, G2 y G3, respectivamente (Tabla 11). Sin embargo, en el peso del LD ( $p < 0.05$ ) se observó mayor ( $p < 0.05$ ) peso promedio de los LD en los grupos de cerdas que recibieron nopal CCV o en BF (7.1 ±1.3 y 7.7 ±1.6 kg lechón<sup>-1</sup>, respectivamente) con respecto al peso promedio del lechón destetado de las cerdas testigo: 6.9 ±1.3 kg lechón<sup>-1</sup> (Tabla 11).

En relación con los metabolitos energéticos (glucosa, colesterol y triglicéridos) post-parto, se observó, efecto de grupo ( $p < 0.001$ ) y de la anidación Grupo(día) ( $p < 0.001$ ) para la concentración plasmática de GS, Col y Trg (Tabla 12). Efectos que corroboran los cambios en las concentraciones plasmáticas de dichos metabolitos al adicionar a la dieta el nopal, tal como lo han determinado otros investigadores (Gallego y Ferreira, 2015; Ortiz *et al.*, 2017; Ordaz *et al.*, 2017; Ordaz *et al.*, 2020).

**Tabla 12.** Análisis de efectos fijos para la concentración plasmática de metabolitos energéticos en cerdas fase de lactación

F de V	GI	Concentración plasmática					
		Glucosa		Colesterol		Triglicéridos	
		Valor de F	Pr > F	Valor de F	Pr > F	Valor de F	Pr > F
Grupo	2	6.09	0.0039	7.94	0.0009	44.24	<.0001
Grupo(día)	9	25.32	<.0001	3.88	0.0006	5.43	<.0001
		Promedio ± E.E.		Promedio ± E.E.		Promedio ± E.E.	
G1		93.3 <sup>a</sup> ±1.6		76.3 <sup>a</sup> ±1.5		52.7 <sup>a</sup> ±2.0	
G2		85.6 <sup>b</sup> ±1.6		69.8 <sup>b</sup> ±1.5		29.9 <sup>b</sup> ±2.0	
G3		88.4 <sup>b</sup> ±1.6		68.3 <sup>b</sup> ±1.5		28.5 <sup>b</sup> ±2.0	

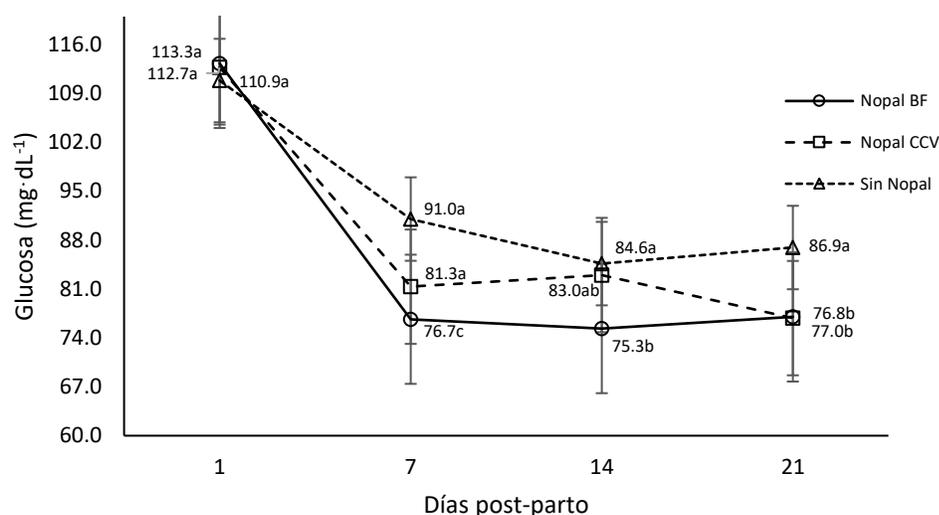
E.E. = Error estándar

Literales <sup>a, b</sup> indican diferencias ( $p < 0.05$ ) entre grupos dentro de columna

Con respecto a los cambios en los niveles plasmáticos de GS, Col y Trg, los promedios generales (Tabla 12) indicaron que, las cerdas del G1 (grupo testigo) fueron las que presentaron mayores ( $p < 0.05$ ) valores plasmáticos en GS ( $93.3 \pm 1.6$  mg dL<sup>-1</sup>), Col ( $76.3 \pm 1.5$  mg dL<sup>-1</sup>) y Trg ( $52.7 \pm 2.0$  mg dL<sup>-1</sup>) en comparación con las cerdas de los grupos sometidas a la dieta adicionada con nopal en BF (G2) o CCV (G3), quienes presentaron valores similares ( $p > 0.001$ ) en dichos metabolitos:  $\leq 88.4 \pm 1.6$  mg dL<sup>-1</sup> de GS;  $\leq 69.8 \pm 1.5$  mg dL<sup>-1</sup> de Col y  $\leq 29.9 \pm 2.0$  mg dL<sup>-1</sup> de Trg (Tabla 12).

En cuanto al comportamiento de GS, de acuerdo con el efecto de Grupo (día), en el día uno post-parto los niveles de glucosa sanguínea (GS) fueron similares ( $p < 0.05$ ) en los grupos analizados: entre 110.9 y 113.3 mg dL<sup>-1</sup> (Figura 3).

Dentro de la dinámica observada de la GS durante la fase de lactación (Figura 3), en el día 7 post-parto, se encontraron diferencias entre grupos ( $p < 0.05$ ); donde el G2 (nopal en BF) mostró un valor menor ( $p < 0.05$ ):  $76.7$  mg dL<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup> vs. G3 (nopal CCV) y G1 (testigo)  $81.3$  y  $91.0$  mg dL<sup>-1</sup> de GS cerda<sup>-1</sup>, respectivamente. Para el día 14 post-parto, los niveles de GS permanecieron más bajos ( $p < 0.05$ ) en G2 ( $75.3$  mg dL<sup>-1</sup> de GS cerda<sup>-1</sup>) en comparación con G1 ( $84.6$  mg dL<sup>-1</sup> de GS cerda<sup>-1</sup>), pero similares ( $p > 0.05$ ) a G3 ( $83.0$  mg dL<sup>-1</sup> de GS cerda<sup>-1</sup>). Mientras que, al finalizar la fase de lactación (día 21 post-parto) los niveles plasmáticos de glucosa fueron similares ( $p > 0.05$ ) en el G2 y G3 ( $76.8$  y  $77.0$  mg dL<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup>) pero, menores ( $p < 0.05$ ) al G1 ( $86.9$  mg dL<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup>) (Figura 3).



Literales a, b indican diferencias ( $p < 0.05$ ) entre promedios dentro de día

**Figura 3.** Medias de mínimos cuadrados de la concentración plasmática de glucosa durante 21 días post-parto (etapa de lactancia).

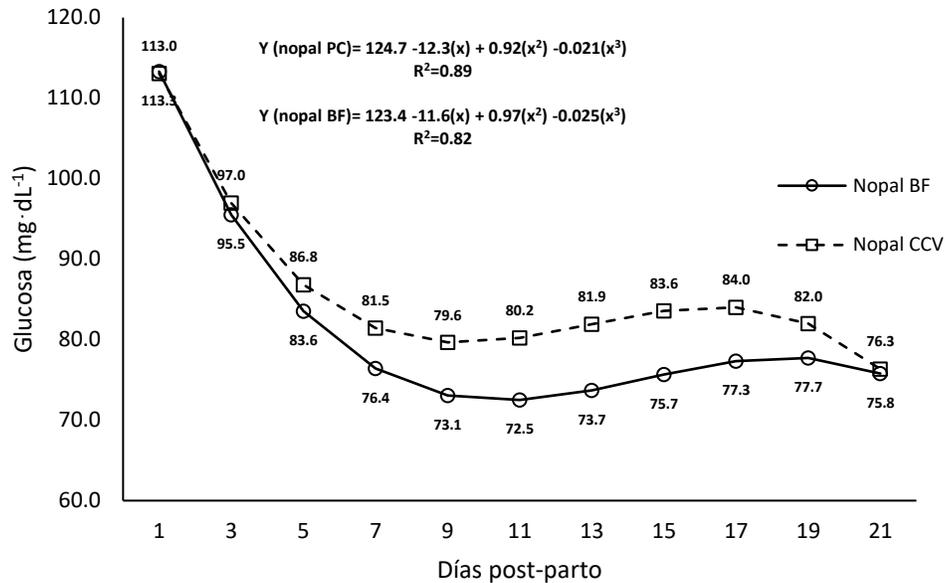
En cuanto al efecto de la ingesta de nopal en BF o CCV sobre los niveles plasmáticos de GS en los días de lactancia, los estimadores de la regresión no lineal (Tabla 13), establecieron que conforme se incrementan los días post-parto los niveles de GS disminuyen ( $p < 0.05$ ), con respecto al día del parto (día 1), en ambos grupos analizados (Figura 4).

**Tabla 13.** Estimadores de regresión no lineal para niveles plasmáticos de glucosa de acuerdo con la presentación del nopal *O. ficus-indica* adicionado a la dieta de las cerdas en fase de lactación en cada grupo

Parámetro	Grupo (G)					
	G2 (Nopal en BF)			G3 (Nopal cocido con vapor)		
	Estimador	E.E.	Pr >  t	Estimador	E.E.	Pr >  t
$\beta_0$	123.366	4.2	<.0001	124.670	3.6	<.0001
$\beta_1$	-11.580	2.1	<.0001	-12.271	1.8	<.0001
$\beta_2$	0.972	0.2	0.0007	0.922	0.2	0.0003
$\beta_3$	-0.025	0.007	0.0026	-0.021	0.006	0.003

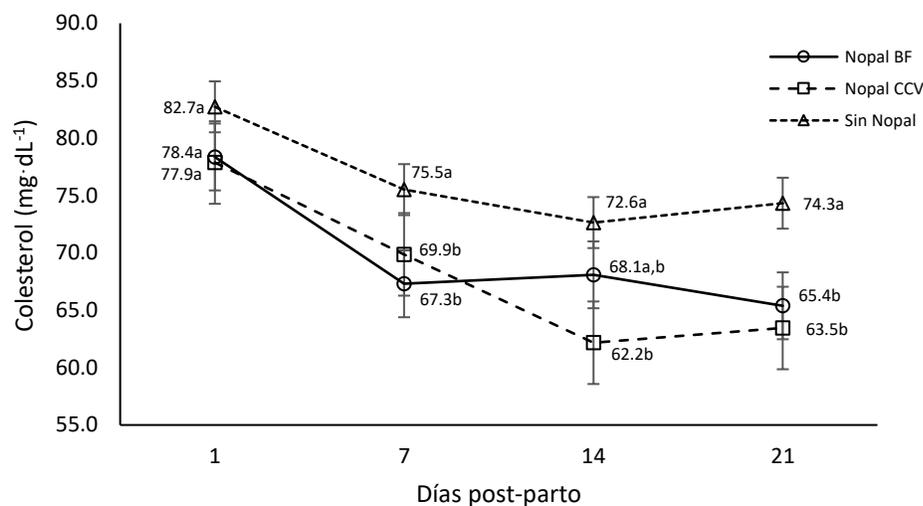
Así mismo, con los estimadores de la regresión se pudo establecer que, las diferencias entre niveles de GS de acuerdo con el grupo se manifestaron en el quinto día post-parto (Figura 4), encontrando el máximo descenso de GS en el onceavo día post-parto en el grupo de cerdas (G2) que consumieron nopal en BF ( $72.5 \text{ mg dL}^{-1} \text{ cerda}^{-1}$ ); ello en

comparación con el grupo (G3) donde se suministró nopal CCV (Figura 4); en el cual, la máxima reducción de GS se observó en el noveno día post-parto ( $79.6 \text{ mg dL}^{-1} \text{ cerda}^{-1}$ ).



**Figura 4.** Dinámica del comportamiento de la glucosa sanguínea en cerdas durante la fase de lactación por efecto de la ingesta de nopal *O. ficus-indica* en base fresca (BF) o cocido con vapor (CCV)

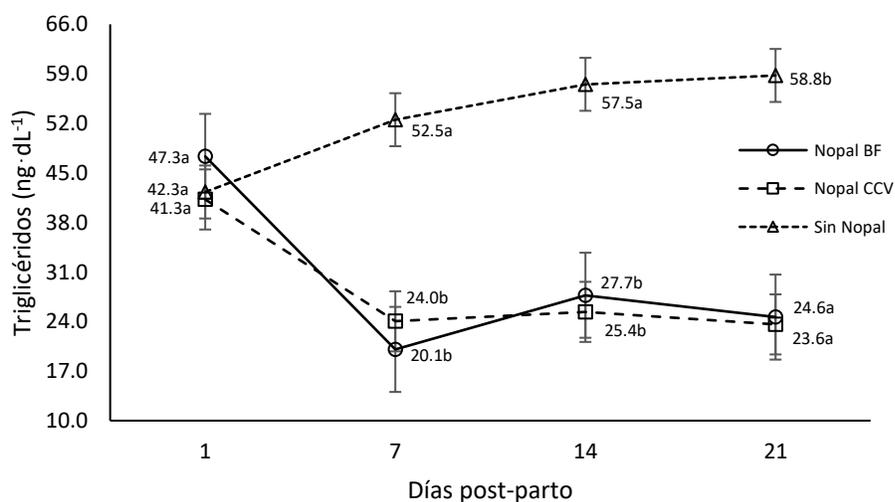
En cuanto a los niveles plasmáticos de Col reportados en esta investigación, en el día uno post-parto no hubo diferencias entre niveles de dicho metabolito por efecto de grupo ( $p > 0.05$ ). Sin embargo, el efecto se observó entre el día 7 y 21 de la lactancia; periodo en donde se encontró que, la concentración de Col fue menor ( $p < 0.05$ ), e igual ( $p > 0.05$ ), en las cerdas que consumieron nopal BF y CCV (rango  $67.3$  a  $65.4 \text{ mg dL}^{-1} \text{ cerda}^{-1}$ ) vs. grupo testigo ( $\leq 75.5 \text{ mg dL}^{-1} \text{ cerda}^{-1}$ ) (Figura 5).



Literales a, b indican diferencias ( $p < 0.05$ ) entre promedios dentro de día

**Figura 5.** Medias de mínimos cuadrados de la concentración plasmática de colesterol durante 21 días post-parto (etapa de lactancia).

Para los resultados de los niveles de Trg, estos confirman que la ingesta de nopal, ya sea en BF (G2) o CCV (G3), disminuyó ( $p < 0.05$ ) los niveles de Trg; puesto que se encontró, en entre los días 7 y 21 post-parto, 20.1 y 27.7 mg dL<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup> en el G2 y G3. Valores estos menores al del grupo testigo, en el mismo periodo de tiempo (Figura 6).

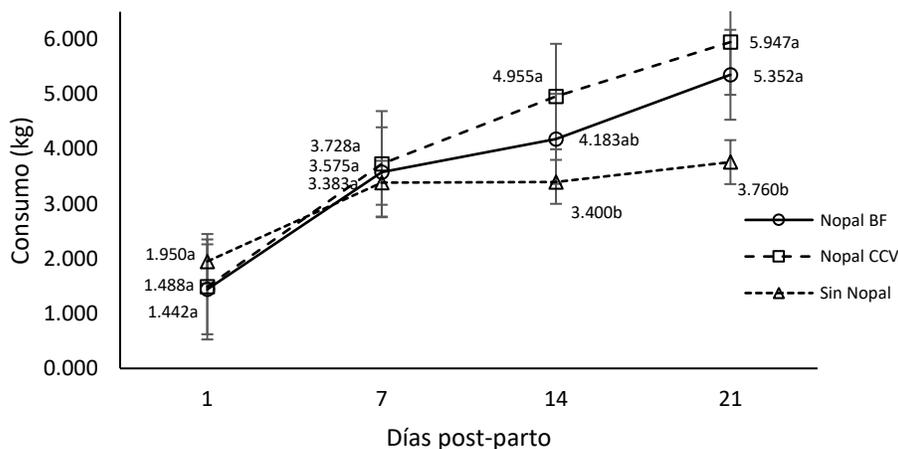


Literales a, b indican diferencias ( $p < 0.05$ ) entre promedios dentro de día

**Figura 6.** Medias de mínimos cuadrados de la concentración plasmática de triglicéridos durante 21 días post-parto (etapa de lactancia).

Con respecto a los resultados del CVA de las cerdas durante la lactancia, específicamente del alimento comercial (AC), se encontró que este fue mayor ( $p < 0.05$ ) en el grupo de cerdas al que se les adicionó nopal PC en la dieta (G3):  $3.9 \pm 1.8$  kg día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup>, en comparación con el grupo de cerdas al que se les adicionó nopal en BF a la dieta (G2) y al grupo testigo (G1):  $3.2 \pm 1.9$  y  $3.1 \pm 1.0$  kg de AC día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabla 11).

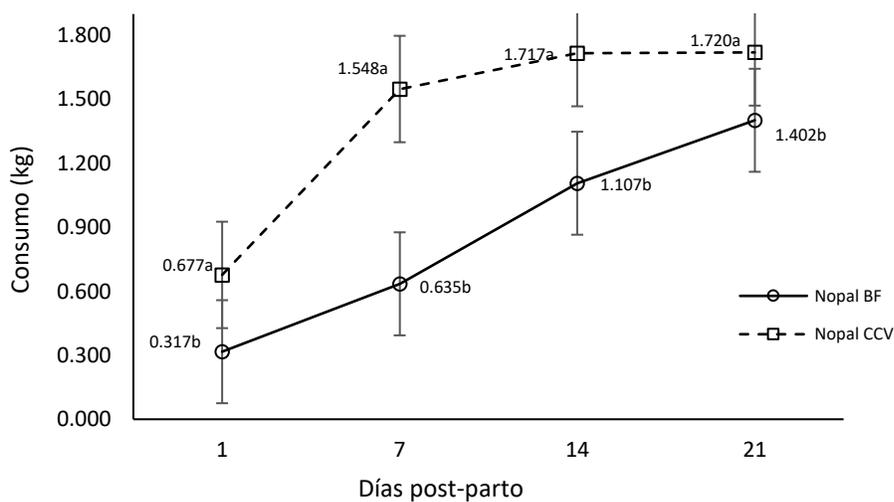
El análisis de la dinámica del consumo voluntario de alimento comercial (AC) en los días 1 al 21 post-parto determinó que no existió efecto de grupo al 1<sup>er</sup> y 7<sup>mo</sup> día de lactación: consumos similares ( $p > 0.05$ ): entre 1.442 y 1.950 kg de AC día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup>; para el día 7 post-parto y entre 3.383 y 3.728 kg de AC día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup> (Figura 7). Sin embargo, para el día 14 post-parto si hubo efecto de grupo ( $p < 0.05$ ): menor ( $p < 0.05$ ) consumo (3.400 kg de AC día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup>) en el grupo testigo vs. G3 y G2: 4.955 y 4.183 kg de AC día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup>, respectivamente). Finalmente, al día 21 post-parto, también se encontró efecto de grupo ( $p < 0.05$ ): el consumo de AC fue mayor ( $p < 0.05$ ) en G3 y G2: 5.947 y 5.352 kg día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup>, respectivamente vs. grupo testigo (3.760 kg día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup>) (Figura 7).



Literales a, b indican diferencias ( $p < 0.05$ ) entre promedios dentro de día

**Figura 7.** Medias de mínimos cuadrados de consumo de alimento comercial día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup> durante 21 días post-parto (etapa de lactancia).

Para el caso del consumo de *O. Ficus-indica* día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup> en BF o CCV, se encontró mayor ( $p < 0.05$ ) consumo del nopal CCV (1.2 ± 0.8 kg día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup>), ello en comparación con el consumo de nopal en BF (0.5 ± 0.7 kg día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup>) (Tabla 11). Pero, la dinámica del consumo voluntario de nopal BF o CCV de acuerdo con los días analizados (1, 7, 14 y 21 post-parto), se encontró que el consumo de nopal CCV a partir del día 7 fue de 1.548 kg día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup> y en el día 14 y 21 post-parto fue igual ( $p > 0.05$ ) (1.717 y 1.720 kg de nopal CCV día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup>, respectivamente). Mientras que el máximo consumo de nopal en BF se encontró en el día 21 post-parto: 1.402 kg de nopal en BF día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup> (Figura 8). Sin embargo, se encontró que, al 7<sup>mo</sup> día de lactación la diferencia en consumo de nopal entre G3 y G2 fue de 0.913 kg de nopal consumido día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup>; diferencia marcada por el mayor ( $p < 0.05$ ) consumo de nopal CCV del G3 (Figura 8).

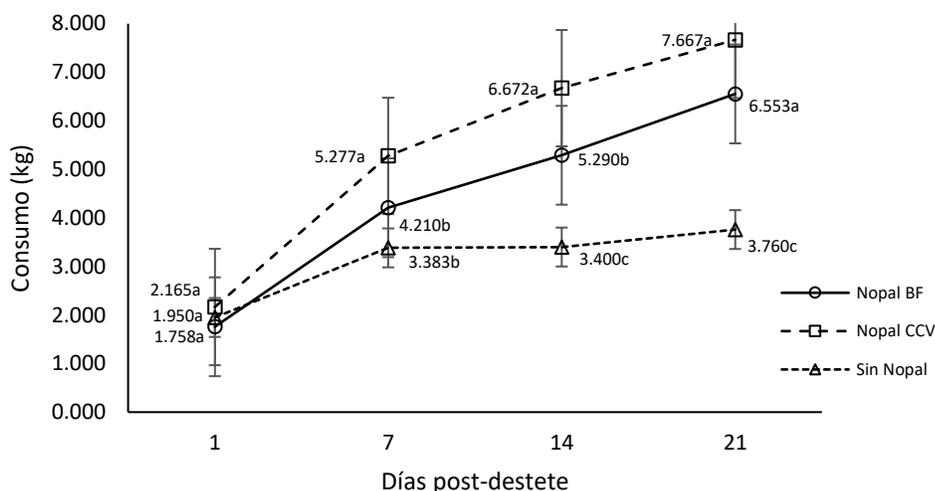


Literales a, b indican diferencias ( $p < 0.05$ ) entre promedios dentro de día

**Figura 8.** Medias de mínimos cuadrados de consumo voluntario de nopal en sus dos presentaciones (base fresca y cocido con vapor) día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup> durante 21 días post-parto (etapa de lactancia).

En lo referente al CVA total (comercial más nopal) día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup> grupo<sup>-1</sup> (Figura 9), se observaron diferencias ( $p < 0.05$ ) en esta variable a partir de día 7 post-parto; en el G3 se observó un mayor ( $p < 0.05$ ) CVA total (5.277 y 6.672 kg de AC más nopal CCV día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup> en día 7 y 14, respectivamente) vs. G2 (4.210 y 5.290 kg de nopal en BF día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup> en día 7 y 14, respectivamente). Sin embargo, para el día 21 post-parto tanto el G2 como el G3 mostraron CVA total similares entre sí ( $p > 0.05$ ): 6.553 y 7.667 290 kg

de nopal (PC y en BF, respectivamente) día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup>. En cuanto al G1, su CVA total (alimento comercial) fue ≤ 3.760 kg día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup> durante la fase de lactación (Figura 9).

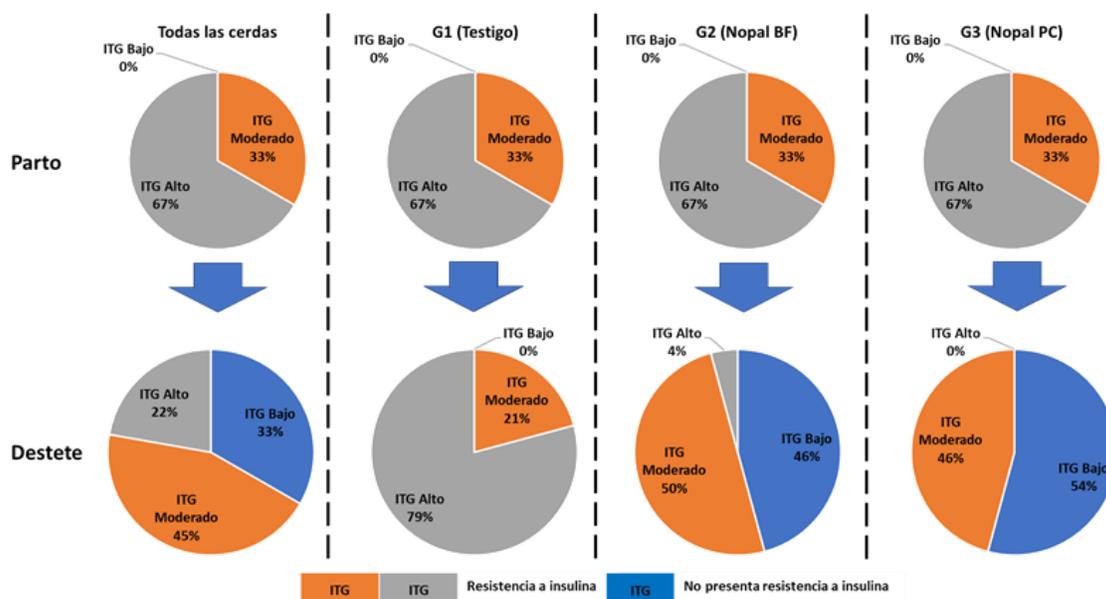


Literales a, b indican diferencias ( $p < 0.05$ ) entre promedios dentro de día

**Figura 9.** Medias de mínimos cuadrados de consumo de alimento comercial más nopal día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup> durante 21 días post-parto (etapa de lactancia).

En lo referente al índice de triglicéridos-glucosa (ITG) y su relación con el diagnóstico de RI (ITG alto  $\geq 8.8 \log_{10}$ ) en cerdas durante la fase de lactación (Figura 10), se encontró que, al parto, el 100% de las cerdas presentaron RI en diferente grado: 67.0% de las cerdas presentaron una alta RI (ITG  $\geq 8.8 \log_{10}$ ) y el 33.0% presentaron RI moderada (ITG de 8.4 a 8.7  $\log_{10}$ ), ello independientemente del grupo o por grupo analizado. No obstante, al culminar la lactación, el 54.0% de las cerdas que consumieron nopal CCV durante la lactancia no presentaron RI (ITG bajo  $\leq 8.3 \log_{10}$ ) vs. 46.0% de cerdas con ITG bajo en el grupo de cerdas que consumieron nopal en BF. Mientras que el grupo testigo, persistió la presencia de RI en sus dos grados: ITG moderado (21.0%) e ITG alto (79.0%).

## Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas



**Figura 10.** Proporción de cerdas con índice de triglicéridos-glucosa (ITG) bajo, moderado o alto de acuerdo con el grupo y momento de la toma de muestra de glucosa y triglicéridos (al parto y al destete).

El escape a la RI pudo corroborarse con los resultados del CVA total (alimento comercial más nopal), en donde las cerdas que presentaron ITG bajo, independientemente del grupo al que pertenecían, consumieron en promedio  $5.511 \pm 0.35$  kg de alimento cerda<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> durante los 21 días de lactancia. Mientras que las cerdas con un grado alto de resistencia a insulina (ITG alto), específicamente en el G1 y G2, mostraron consumos más bajos: en promedio  $\leq 3.850$  kg de alimento cerda<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> (Tabla 14).

**Tabla 14.** Medias de mínimos cuadrados para consumo voluntario de alimento total en la fase de lactancia de acuerdo con ITG y grupo

ITG	Grupo			
	Todas Promedio $\pm$ E.E.	G1 (Control) Promedio $\pm$ E.E.	G2 (Nopal BF) Promedio $\pm$ E.E.	G3 (Nopal PC) Promedio $\pm$ E.E.
Bajo	5.511 <sup>a</sup> $\pm$ 0.35	4.785 <sup>a1</sup> $\pm$ 0.48	6.238 <sup>a2</sup> $\pm$ 0.52	
Moderado	4.582 <sup>b</sup> $\pm$ 0.35	3.780 <sup>a1</sup> $\pm$ 0.77	4.233 <sup>a,b1</sup> $\pm$ 0.52	5.733 <sup>a2</sup> $\pm$ 0.50
Alto	3.614 <sup>b</sup> $\pm$ 0.89	3.378 <sup>a1</sup> $\pm$ 0.39	3.85 <sup>b1</sup> $\pm$ 0.50	

E.E. = Error estándar; ITG= índice triglicéridos-glucosa

Literales <sup>a, b</sup> indican diferencias ( $p < 0.05$ ) dentro de columna

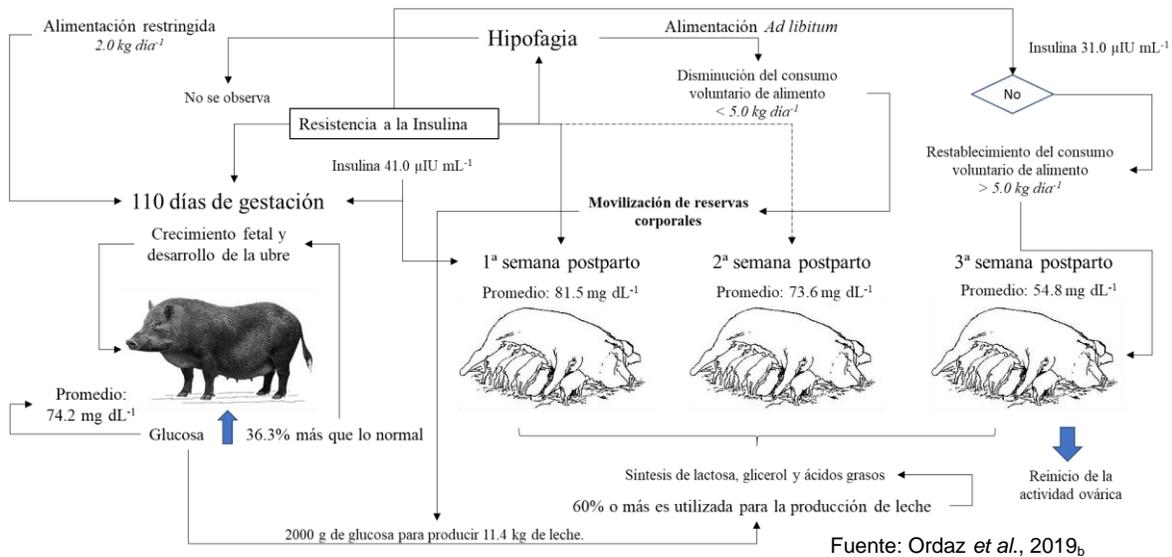
Numerales <sup>1, 2</sup> indican diferencias ( $p < 0.05$ ) entre grupos dentro de fila

### 7.3 Discusión

Un aspecto relevante en el CVA de las cerdas en fase de lactación es la cantidad de lechones amantados y destetados, ya que de la cantidad de lechones en fase de lactancia depende la producción de leche de la cerda y este a su vez, estará asociado al CVA; puesto que, por cada lechón que integre la camada, se debe proporcionar a la cerda lactante 0.5 kg de alimento día<sup>-1</sup> más su respectiva cantidad de alimento para mantenimiento (3-4 kg cerda<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>; Campabadal, 2009).

Se ha determinado que, el bajo consumo de alimento durante la lactancia tiene efectos secundarios tanto en la cerda, como en los lechones: 1) reducción de la producción láctea 2) viabilidad de la camada 3) peso bajo de los lechones al destete 4) menor ritmo de crecimiento en etapas posteriores y 5) mayor edad al mercado (Tan *et al.*, 2015 y Estévez, 2016). Al respecto y de acuerdo con los resultados consignados en la Tabla 11, específicamente en la cantidad de lechones destetados y peso promedio del lechón destetado en los grupos de cerdas sometidos a dietas adicionadas con nopal en BF o cocido con vapor (CCV) puede ser atribuible al mayor CVA comercial en estos grupos vs. grupo de cerdas testigo (G1), en las cuales el efecto de la resistencia a la insulina misma que se presenta como HFL fue más evidente (Tabla 11).

Es conocido que los requerimientos energéticos de la cerda aumentan considerablemente para sostener el rápido desarrollo de los fetos durante el último mes de gestación y para la producción de leche durante la lactancia (Nobet *et al.*, 1990; Estévez, 2016); en respuesta, el organismo de la cerda produce gradualmente resistencia a la insulina para satisfacer la demanda de glucosa requerida por el útero y las glándulas mamarias (Père y Etienne, 2007) y, en consecuencia, la cerda disminuye el consumo voluntario de alimento (hipofagia fisiológica lactacional) (Figura 11). Aspecto observado principalmente durante los primeros 7 días post-parto (Ordaz *et al.*, 2017; Ordaz *et al.*, 2019a).



**Figura 11.** Dinámica de glucosa en sangre y su relación con la ingesta voluntaria de alimento en la lactancia: reformulación esquemática.

La disminución del CVA post-parto, en las cerdas, afecta los indicadores productivos y reproductivos de estos animales, 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, así como, decremento en la fertilidad y prolificidad de las cerdas destetadas (Sung y Guoyao, 2009; Kim *et al.*, 2018; Cools *et al.*, 2014).

En este sentido, se han implementado estrategias que minimicen los efectos de la HFL. Algunos autores sugieren que la adición de nopal en BF (1% con base al peso vivo de la cerda) a la dieta de estos animales es una alternativa, para incrementar el CVA, efecto asociado al contenido de FS de dicha cactácea (Ordaz *et al.*, 2017; G. Ordaz *et al.*, 2019a). Al respecto, en la presente investigación se comparó el efecto de una dieta adicionada con nopal (*O. ficus-indica*) en BF vs. dieta adicionada con nopal (*O. ficus-indica*) CCV a 100 °C durante 4 min, esperando que las propiedades de este último sean similares a la presentación en BF.

En relación con el CVA durante la lactancia, se ha determinado que esta depende de las concentraciones plasmáticas de los metabolitos energéticos (glucosa, colesterol y triglicéridos) post-parto (Ordaz *et al.*, 2017). Así, como también que, el bajo consumo de alimento durante la lactancia tiene efectos secundarios tanto en la cerda, como en los

lechones: 1) reducción de la producción láctea 2) viabilidad de la camada 3) peso bajo de los lechones al destete 4) menor ritmo de crecimiento en etapas posteriores y 5) mayor edad al mercado (Tan *et al.*, 2015 y Estévez, 2016).

En este sentido, se observó, efecto de grupo ( $p < 0.001$ ) y de la anidación Grupo(día) ( $p < 0.001$ ) para la concentración plasmática de glucosa (GS), colesterol (Col) y triglicéridos (Trg) (Tabla 12). Efectos que corroboran los cambios en las concentraciones plasmáticas de dichos metabolitos al adicionar a la dieta el nopal, tal como lo han determinado otros investigadores (Muñoz *et al.*, 2014; Ordaz *et al.*, 2017; Ordaz *et al.*, 2020; Ortiz *et al.*, 2020).

Se ha establecido que el consumo de nopal, particularmente por el contenido de FS, produce efectos hipoglucemiantes, el contenido de pectina y mucílago pueden disminuir la absorción de glucosa incrementando la viscosidad de los alimentos en el intestino (Shapiro y Gong, 2002; Kendall *et al.*, 2010; Nuñez *et al.*, 2013). Pero, también, puede presentarse una inhibición de la alfa glucosidasa y, en consecuencia, una disminución de la absorción de carbohidratos en el intestino (Tadera *et al.*, 2006; Hwan *et al.*, 2017).

Morán *et al.*, (2012), encontraron que, la FS mejora la sensibilidad del hígado a la insulina, y en consecuencia reduce la gluconeogénesis hepática. Además, el contenido de del nopal podría estimular la secreción de insulina de las células beta del páncreas, mediante la despolarización de las membranas, apertura de los canales e incremento del ingreso intracelular de Ca (Newsholme *et al.*, 2005).

Por otra parte, Meckes y Román (2005) y Frati *et al.*, (1990), observaron efectos hipoglucemiantes en nopal asado y hervido, respectivamente. Sin embargo, López *et al.*, (2014), determinaron que la ingesta de nopal cocido al vapor aumenta los niveles plasmáticos de GIP (Péptido insulínico dependiente de la glucosa) y por consecuencia la modulación de las concentraciones de glucosa e insulina en plasma. Aspecto, que en los promedios generales de los grupos sometidos al nopal en BF o PC no se observó (Tabla 12)

Aunado a lo anteriormente descrito, los indicadores lipídicos de los grupos expuestos a la dieta de nopal en BF o PC, específicamente niveles plasmáticos de Col (69.8 y 68.3 mg dL<sup>-1</sup>, para G2 y G3 respectivamente) y Trg (29.9 y 28.5 mg dL<sup>-1</sup> para G2 y G3, respectivamente) (Tabla 12), estos fueron iguales entre sí ( $p < 0.05$ ) pero, menores ( $p$

<0.05) al grupo testigo (76.3 mg dL<sup>-1</sup> de Col y 52.7 mg dL<sup>-1</sup> de Trg). Valores promedio de Col y Trg del grupo testigo (G1) similares a lo determinado por Suárez *et al.* (2018): 75.3 mg dL<sup>-1</sup> y 66.2 mg dL<sup>-1</sup> para Col y Trg, respectivamente, y a lo determinado por Weng, (2020) :73.4 mg dL<sup>-1</sup> de Col y 56.8 mg dL<sup>-1</sup> de Trg. Aspecto que confirma, el efecto del tratamiento sobre estos metabolitos (Tabla 12).

Se ha documentado que, la respuesta hipolipidémica del nopal, se ha atribuido básicamente a la presencia de fibra dietética soluble (FS), debido a su capacidad para formar un gel que interfiere con la absorción de lípidos y colesterol (Jennings *et al.*, 1988; Morán *et al.*, 2012). Un mecanismo que explica la disminución en la absorción de lípidos es la viscosidad de la fibra debido a un aumento de la capa acuosa en el intestino en reposo, denominada capa de agua sin agitar (UWL), y la viscosidad del mucílago que amortigua la contractibilidad intestinal, aumentando el grosor del UWL y dificultando que las células apicales del intestino absorban los lípidos (Cárdenas *et al.*, 2019).

Otro aspecto a considerar, en la disminución del Col y los Trg, es que en el intestino grueso la FS es fermentada y produce diferentes ácidos grasos de cadena corta, destacando el propionato, que al absorberse en el colon y llegar a la circulación portal inhibe a la hidroximetilglutaril coenzima A reductasa (HMG Co-A reductasa) disminuyendo la tasa de síntesis de ácidos grasos, colesterol y lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL) en el hígado (Balcázar *et al.*, 2014). Los ácidos biliares formados del colesterol intracelular, por efecto de la FS son arrastrados por la fibra y posteriormente excretados fuera del organismo, efectuándose un proceso cíclico en el que el hígado deberá convertir más colesterol endógeno en sales biliares disminuyendo más el nivel de colesterol circulante (Ros, 2006).

De acuerdo con lo descrito en el párrafo anterior, el análisis químico del nopal CCV mostró mayor concentración de este compuesto (FS) (Tabla 9), sin embargo, en los promedios generales de estos metabolitos (Col y Trg) no se encontraron diferencias entre los grupos que consumieron nopal en BF y CCV (Tabla 12). No obstante, el efecto se observó con el análisis de la anidación Grupo(día), aspecto que se discute más adelante.

En cuanto al comportamiento de GS, de acuerdo con el efecto de Grupo(día), en el día uno post-parto los niveles de GS fueron similares ( $p < 0.05$ ) en los grupos analizados (Figura 3). Aspecto que concuerda con la dinámica (Figura 11) de los niveles plasmáticos

de GS encontrados en otras investigaciones. En el 2019, Yang *et al.* reportaron niveles de GS al parto de  $91.9 \pm 0.9 \text{ mg dL}^{-1}$ , valor menor al encontrado en esta investigación. No obstante, Père y Etienne (2007) observaron niveles altos de GS ( $> 90 \text{ mg dL}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ) alrededor del momento del parto; aspecto que, facilita la adaptación de las cerdas a la creciente demanda de energía. Sin embargo, Yang *et al.*, (2019) establecieron que los niveles plasmáticos de GS al parto están determinados por factores tales como: edad de las cerdas, condición corporal, genotipo, nutrición y, duración de la lactación.

En lo referente a la relación del genotipo y las concentraciones plasmáticas de GS en cerdas (pre y post-parto), Farmer *et al.*, (2008) reportaron diferencias ( $p < 0.05$ ) en los niveles de GS entre razas y líneas genéticas sintéticas; siendo las razas como la Landrace quien mostró menores niveles de GS al parto ( $72.0 \pm 3.1 \text{ mg dL}^{-1}$ ). En este aspecto, los grupos de cerdas analizados corresponden a los genotipos para velocidad de crecimiento y magres de la canal (línea genética sintética) lo que podría explicar los mayores niveles de GS al parto; puesto que, los efectos de la resistencia a la insulina son mayores en cerdas seleccionadas genéticamente para magrez de la canal (Ordaz *et al.*, 2013), acentuándose en las cerdas de primer parto (Mosnier *et al.*, 2010).

Dentro de la dinámica observada de la GS durante la fase de lactación: diferencias entre grupos ( $p < 0.05$ ) (Figura 3) en el día 7 post-parto y en donde los niveles de GS fueron menores en el G2, ello es consistente con lo determinado por Ordaz *et al.*, (2017). Sin embargo, los valores reportados por dicho autor fueron como sigue: Testigo:  $72.0 \pm 8.3$  y  $81.5 \pm 9.0 \text{ mg dL}^{-1}$  de GS pre y postprandial, respectivamente y en el grupo experimental (dieta comercial más nopal en BF) la GS promedio fue de  $59.7 \pm 5.4$  y  $67.2 \pm 12.1 \text{ mg dL}^{-1}$  de GS pre y postprandial, respectivamente); valores menores a lo encontrado en esta investigación (Figura 3).

Para el caso de los valores de GS en los días 14 y 21 post-parto, observados en esta investigación (Figura 3), también fueron mayores a los determinados por Ordaz *et al.* (2017): el testigo de  $71.1 \pm 8.5$  y  $69.2 \pm 7.7 \text{ mg dL}^{-1}$  de GS para el día 14 y 21 post-parto, respectivamente y, el experimental (nopal en BF),  $46.4 \pm 7.5 \text{ mg dL}^{-1}$  en el día 14 post-parto y  $66.1 \pm 9.5 \text{ mg dL}^{-1}$  en el día 21 post-parto. No obstante, la dinámica de los cambios de GS tanto para dichos investigadores como para la presente investigación son consistentes: disminución de GS conforme transcurren los días de lactación en cerdas

que consumen nopal; pero, en cuanto a las diferencias entre concentraciones reportadas por Ordaz *et al.* (2017) (Figura 11) y las observadas en esta investigación (Figura 3), es posible que la explicación radique en los genotipos usados en ambas investigaciones: Ordaz *et al.* (2017) utilizaron cerdas híbridas (Yorkshire x Landrace x Pietrain) con atributos de prolificidad y magrez de la canal y en la presente investigación se utilizaron cerdas de línea genética para velocidad de crecimiento y magrez de la canal.

Otro aspecto que se pudo observar en la dinámica de la GS de las cerdas que consumieron nopal en BF o CCV, durante la lactación, fue la diferencia ( $p < 0.05$ ) de los promedios de GS entre G2 ( $81.3 \pm 3.4 \text{ mg dL}^{-1}$ ) y G3 ( $86.0 \pm 3.4 \text{ mg dL}^{-1}$ ) obtenidos a partir de los valores de GS (Figura 4) generados a través de los estimadores de la regresión (Tabla 13). En contraste, los promedios de GS de G2 y G3 encontrados con los cuatro valores de este metabolito en los días 1, 7, 14 y 21 post-parto (Figura 3) fueron mayores ( $85.6$  y  $88.4 \text{ mg dL}^{-1}$  de GS para el G2 y G3, respectivamente) e iguales ( $p > 0.05$ ) entre sí (Tabla 12). Este aspecto fue debido a la aleatorización del día dentro del modelo estadístico para generar los promedios a través de los valores ajustados por la regresión no lineal de cada grupo analizado. En consecuencia, el comportamiento de GS durante los 21 días post-parto (Figura 4) muestra con mayor certeza las diferencias entre los grupos de cerdas que consumieron nopal en BF o CCV y en donde, el consumo de nopal CCV permitió una mayor concentración plasmática de glucosa ( $86.0 \pm 3.4 \text{ mg dL}^{-1}$ ) durante el periodo de monitoreo en comparación con los niveles plasmáticos de dicho metabolito ( $81.3 \pm 3.4 \text{ mg dL}^{-1}$ ) en cerdas que consumieron el nopal en BF.

La posible explicación a las diferencias de los niveles de GS entre los grupos referidos fueron las concentraciones de FS y FI presentes en el nopal en BF y CCV; para el primer caso (fibra soluble) los valores fueron de  $7.5 \text{ g}^{-100\text{g MS}}$  en el nopal en BF vs.  $31.5 \text{ g}^{-100\text{g MS}}$  en el nopal CCV, y para la fibra insoluble:  $14.5$  y  $19.0 \text{ g}^{-100\text{g MS}}$  para el nopal en BF y CCV, respectivamente (Tabla 9). En este sentido, en la regulación de la HFL se debe considerar el tipo de fibra que se implementará para tal fin; puesto que, se ha observado una mejor respuesta con la FS vs. FI (Cummings *et al.*, 2004), debido a los componentes que la constituyen como son: mucílago, pectina, flavonoides, polifenoles, carbohidratos estructurales entre otros (Halmi *et al.*, 2013).

La fibra dietética total es la suma de la insoluble y soluble, que corresponde a la parte comestible de las plantas y que es resistente a la digestión y absorción en el intestino delgado; pero, puede ser fermentada completa o parcialmente en el intestino grueso; puesto que, la microbiota del intestino grueso fermenta la fibra susceptible a esta acción, cuyo resultado son los ácidos grasos de cadena corta (ácido acético, propiónico y butírico), además de hidrógeno, anhídrido carbónico y el metano, mientras que el resto de la fibra no fermentable se elimina con las heces (Navarro, J. 2012). Además, se tienen reportes que, el contacto de las fibras solubles con el agua origina soluciones viscosas responsables del cambio metabólico lipídico e hidrocarbonado. Por el contrario, las fibras insolubles retienen agua en su matriz estructural y forman soluciones de baja viscosidad que acelera el tránsito intestinal (González y Álvarez, 2006).

Se ha establecido que la FS es la más eficaz en el control de la glucemia, puesto que esta reduce la velocidad de tránsito del alimento por el tracto gastrointestinal y disminuye la absorción de glucosa al quedar atrapada por la viscosidad de la fibra (Kendall *et al.*, 2010; Nuñez *et al.*, 2013). En consecuencia: existe menor el acceso a la acción de la amilasa pancreática, el propionato disminuirá la producción de glucosa por el hígado y el butirato reducirá la resistencia a la insulina periférica por efecto de la disminución de la producción de citoquinas como la TNF- $\alpha$ . Estas citoquinas han sido implicadas en la disfunción del tejido adiposo y están relacionadas bioquímicamente con la resistencia a la insulina, la alteración en la liberación de ácidos grasos libres y el desarrollo de alteraciones del metabolismo hepático (Ramírez y Sánchez, 2012).

En cuanto a la fibra dietética, al no ser digerida por las enzimas gastrointestinales, modifica la absorción de determinadas sustancias como las sales biliares, el colesterol y la glucosa (Fрати *et al.*, 1990). Esto está asociado con la pectina y el mucílago que se encuentran en el nopal y su efecto sobre la viscosidad del bolo alimenticio: reducir la absorción de glucosa a través de esta mecánica (Shapiro y Gong, 2002). Además, unido al efecto hipoglucemiante que produce la ingestión de nopal, los polisacáridos insolubles (hemicelulosas fuertemente adheridas y celulosa) presentes en el nopal aumentan el volumen de la ingesta de alimento y reducen su tiempo de tránsito a través del tracto digestivo (Hsu *et al.*, 2004).

Finalmente, los menores niveles de GS que presentan las cerdas que consumieron la dieta adicionada con nopal (Figura 3 y Tabla 12) confirma los efectos reportados por Halmi *et al.*, (2013). Para Ordaz *et al.*, (2019a), el decremento en los niveles de GS por efecto de la ingesta de nopal puede llevarse a cabo por dos vías: 1) mecánica, la FS de esta cactácea incrementa la viscosidad del alimento, hace más lento su tránsito y disminuye la absorción de glucosa (López *et al.*, 2007); y, 2) regulación metabólica de la glucosa, incremento de hasta 28% en la concentración de insulina plasmática (Deldicque *et al.*, 2013), que de acuerdo con Manders *et al.* (2012), este incremento de insulina puede provocar: disminución plasmática de glucosa mediante descarboxilación oxidativa y capacidad alostérica para activar glutamato deshidrogenasa y transaminación de  $\alpha$ -ketoisocaproate. Eventos estos que incrementan el flujo del ácido tricarbóxico y la reacción ATP/ADP provocando que se cierren los canales de potasio-ATP y se abran los canales de  $Ca^{2+}$ , facilitando la secreción de insulina (Newsholme *et al.*, 2005).

El proceso de la disminución de glucosa por efectos de la ingesta de nopal es acompañado por el efecto hipocolesterolémico, aspecto que se corroboró con los resultados de los niveles plasmáticos de colesterol determinados en esta investigación. Si bien, en el día uno post-parto no se encontraron diferencias entre niveles de colesterol por efecto de grupo ( $p > 0.05$ ), dicho efecto se observó a partir del día 7 hasta culminar la lactancia (día 21 post-parto) y en este periodo fue donde se determinó que la concentración de colesterol fue menor ( $p < 0.05$ ) e igual ( $p > 0.05$ ) en las cerdas que consumieron nopal BF y CCV (rango 67.3 a 65.4 mg dL<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup>), en contraste con las cerdas del grupo testigo ( $\leq 75.5$  mg dL<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup>) (Figura 5).

De acuerdo con la dinámica del contenido plasmático de colesterol establecido en la Figura 5, los grupos de cerdas que consumieron la dieta adicionada con nopal, principalmente el G2 (nopal en BF), mostraron reducción de colesterol y ello, como ya se ha mencionado, fue producto de las cualidades hipocolesterolémicas de esta cactácea, específicamente de su contenido de FS y esta, al fermentarse, produce propionato, que al absorberse en el colon inhibe a la hidroximetilglutaril coenzima A reductasa (HMG Co-A reductasa), cuya consecuencia es la disminución de la síntesis de ácidos grasos, colesterol y lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL) en el hígado (Gallego *et al.*, 2015). Puesto que, los ácidos biliares formados del colesterol intracelular, por efecto de

la FS, son arrastrados por la fibra y posteriormente excretados; cuya consecuencia es, el establecimiento de un proceso cíclico en el que el hígado deberá convertir más colesterol endógeno en sales biliares disminuyendo más el nivel de colesterol circulante (Ros, 2006).

Este proceso hipolipidémico por efecto de la FS del nopal, también conlleva a la reducción plasmática de triglicéridos (Jennings *et al.*, 1988; Morán *et al.*, 2012). En este sentido, los resultados de la presente investigación confirman que la ingesta de nopal ya sea en BF (G2) o PC (G3), disminuye ( $p < 0.05$ ) los niveles de triglicéridos; puesto que se encontró, en entre los días 7 y 21 post-parto un rango de 20.1 a 27.7 mg dL<sup>-1</sup> de triglicéridos cerda<sup>-1</sup> en el G2 y G3. Valores estos menores al del grupo testigo, en el mismo periodo de tiempo (Figura 6).

Para Ortiz *et al.*, (2020), las adaptaciones digestivas y metabólicas por las que pasan las cerdas durante la transición gestación-lactancia provoca incremento de resistencia a la insulina y ello tiene como consecuencia, en las cerdas, la disminución de la ingesta voluntaria de alimento. Condición que favorecen el balance energético negativo en estos animales y los obliga a movilizar sus reservas corporales para satisfacer sus necesidades nutricionales. Aspecto que, en la industria porcina, es un obstáculo para que las cerdas expresen su potencial reproductivo y productivo.

En la actualidad, las investigaciones para mitigar el efecto de la resistencia a la insulina en cerdas post-parto han propuesto como estrategia la suplementación de la dieta de las cerdas con *O. ficus-indica* puesto, como ya se ha venido discutiendo, esta cactácea provoca una reducción de los niveles plasmáticos de los metabolitos energéticos (GS, Colesterol y Triglicéridos) y con ello, es de esperarse el incremento del consumo voluntario de alimento (CVA) durante la fase de lactación.

El análisis de la dinámica del consumo voluntario de AC en los días 1, 7, 14 y 21 post-parto indicó que los tres grupos analizados, al primer día de lactación, consumieron cantidades similares ( $p > 0.05$ ): entre 1.442 y 1.950 kg de AC día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup>; para el día 7 post-parto, los consumos continuaron siendo similares ( $p > 0.05$ ): entre 3.383 y 3.728 kg de AC día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup> (Figura 7). Sin embargo, el consumo de AC al día 14 post-parto se comportó diferente ( $p < 0.05$ ): el grupo testigo (G1) mostró menor ( $p < 0.05$ ) consumo (3.400 kg de AC día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup>) comparado con los grupos que recibieron el nopal PC (G3)

o nopal en BF (G2): 4.955 y 4.183 kg de AC día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup>, respectivamente). Al finalizar la lactación (día 21 post-parto), los consumos de G3 y G2 fueron iguales ( $p > 0.05$ ) entre sí: 5.947 y 5.352 kg día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup>, respectivamente; pero diferentes ( $p < 0.05$ ) al grupo testigo (3.760 kg día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup>) (Figura 7).

El mayor consumo de nopal CCV día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup> en comparación con el consumo de nopal en BF, trajo como consecuencia que el CVA promedio total del alimento comercial más nopal CCV (G3) fuera mayor ( $p < 0.05$ ): 5.1 ± 2.3 kg día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup> vs. CVA total de alimento comercial más nopal en BF (G2) (Tabla 11). Sin embargo, la dinámica del consumo voluntario de nopal BF o CCV durante la FL (Figura 8) determinó un aspecto importante en el consumo de esta cactácea: en el día 7 post-parto entre G3 y G2, justamente donde se observa la hipofagia lactacional, la diferencia del consumo de nopal fue de 0.913 kg más en G3 (Figura 8).

En cuanto a los resultados del CVA total (comercial más nopal) día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup> grupo<sup>-1</sup> (Figura 9), se observaron diferencias ( $p < 0.05$ ) entre los grupos analizados a partir de día 7 post-parto (Figura 9). Como ya se mencionó, las cerdas desarrollan RI para satisfacer la demanda de glucosa por parte del útero y glándula mamaria durante la gestación (Père y Etienne, 2007), además de la producción de leche durante la lactación (Noblet *et al.*, 1990) lo cual repercute en la disminución del consumo de alimento durante los primeros 7 días post-parto. Sin embargo, dentro de este mecanismo, también se encuentra involucrada la leptina.

La leptina es una hormona producida principalmente por los adipocitos en el tejido adiposo blanco y, en menor medida, en otros tejidos como el tejido adiposo pardo, el músculo esquelético, la placenta y los ovarios. La leptina circulante se capta en el cerebro, específicamente en el hipotálamo, donde actúa principalmente para regular la ingesta de alimentos, las conductas apetitivas y el gasto energético (Wang *et al.*, 2014). Aunado a ello, la insulina tiene un papel fisiológico esencial en el comportamiento de la leptina lo cual se ha documentado en ratones (Walder *et al.*, 1997), en el humano (Oral *et al.*, 2002) y en cerdas (Mosnier *et al.*, 2010).

La leptina ejerce sus acciones fisiológicas a través del receptor de leptina afín, Ob-R. La forma larga de Ob-Rb se expresa principalmente en el hipotálamo y se cree que es responsable de la transducción de las acciones centrales de la leptina (Wang *et al.*,

2014). Lin *et al.* (2000), determinaron que el ARNm de Ob-R1 se expresó en el hipotálamo de cerdos, además en ovario, cuerpo uterino, hígado, riñón, páncreas, glándula suprarrenal, corazón, bazo, pulmón, intestino, médula ósea, músculo y tejido adiposo, por ello, la leptina repercute sobre la regulación de la ingesta de alimento, el equilibrio energético y la reproducción.

Mosnier *et al.* (2010) observaron que los niveles de leptina e insulina en cerdas multíparas incrementaron al momento del parto y fueron disminuyendo conforme avanzaba la lactación ello asociado al incremento en el consumo de alimento, lo que sugiere que las señales anoxigénicas de la leptina se redujeron y por ende se estimuló el apetito. Al respecto, Ordaz *et al.* (2020) al suplementar nopal a la dieta de cerdas en gestación y lactación, observaron que el grupo de cerdas que consumieron la cactácea, presentaron menores ( $p < 0.05$ ) concentraciones de leptina, triglicéridos y glucosa durante los 21 días post-parto en comparación del grupo control, es decir, incrementó la sensibilidad a la insulina lo cual se reflejó en el aumento ( $p < 0.05$ ) de consumo voluntario de alimento. Efecto similar se observó en la presente investigación, en dónde las cerdas que consumieron nopal precocido presentaron menores niveles de metabolitos energéticos, disminución de la resistencia a la insulina en consecuencia mayor consumo voluntario de alimento.

Finalmente, los resultados de los niveles plasmáticos de GS y Trg permitieron determinar el índice de triglicéridos-glucosa (ITG) y con ello establecer la proporción de cerdas con presencia de RI (ITG alto  $\geq 8.8 \log_{10}$ ) en el día del parto y al finalizar la lactación (Figura 10). El caso de que al parto el 100% de las cerdas presentaron RI (alta o moderada) independientemente del grupo o por grupo analizado y que dicha condición cambiara al culminar la lactación (54.0% de las cerdas) con diagnóstico de RI baja principalmente en el grupo de cerdas que consumieron nopal CCV, permite establecer que, el escape a RI se reflejó en el CVA total (alimento comercial más nopal): cerdas que presentaron ITG bajo, independientemente del grupo al que pertenecían, consumieron mayor cantidad de alimento día<sup>-1</sup> durante los 21 días de lactancia (Tabla 14).

La dinámica de la glucosa en pacientes con RI y diabéticos es de suma importancia, pues a través de esta y con la determinación de triglicéridos se puede calcular el ITG (Guerra *et al.*, 2007) y por ello, dicho índice puede ser útil en el diagnóstico de RI en

cerdas durante la gestación tardía y lactancia. Puesto que, se sabe que las cerdas experimentan resistencia a la insulina 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 de interés económico para los sistemas de producción porcina (Mosnier *et al.*, 2010; Cools *et al.*, 2014).

De acuerdo con la dinámica de la GS (discutida previamente), durante las fases productivas de las cerdas analizadas, los valores mayores de GS se observaron al parto (Figura 3), específicamente entre el 1er y el 3er día post-parto (Figura 4). Aspectos que concuerdan con (Flores y Reveles, 2010; Mosnier *et al.* 2010).

Selvin *et al.* (2007) y Menke *et al.* (2014) han establecido que el diagnóstico de RI a través de GS puede diferir notablemente, aspecto que se corroboró en esta investigación. Puesto que, las principales causas de estas diferencias es la variación interindividual en la concentración GS del día de la toma de la muestra (Bao *et al.*, 2017). En lo que concierne al cerdo, existen reportes de menores niveles de GS post-parto en la raza Landrace vs. genotipos con magrez de la canal (Duroc, Yorkshire) (Farmer *et al.*, 2007).

Al ser el ITG un biomarcador de la variación de GS poblacional (Rodríguez *et al.*, 2012), existen evidencias que pacientes con ITG alto (calculado a partir de GS) tenían mayor riesgo de tener RI o prediabetes (Mi *et al.*, 2020). Si este es el caso, es de esperar que las cerdas con un ITG moderado o alto puede aumentar el riesgo de un bajo consumo de alimento en la fase de lactancia. En el presente estudio, una modificación al ITG se realizó en cerdas para determinar la RI al momento del parto o al culminar la lactancia, se evaluó la asociación entre el ITG (dividido en terciles) con indicadores que determinan el estado metabólico de las cerdas (glucosa sanguínea y triglicéridos) y que se relacionan directamente con el consumo de alimento en la lactancia. De acuerdo con el ITG el día de parto más del 80.0% del total de las cerdas se clasificaron con un índice ITG moderado o alto, lo cual da la pauta a establecer que prácticamente dicho porcentaje de cerdas presentaron RI (Figura 10).

En la presente investigación, los valores del ITG moderados (de 8.4 a 8.7  $\text{Log}_{10}$ ), a altos ( $\geq 8.8 \text{Log}_{10}$ ) pueden considerarse como un factor de riesgo para la presentación de RI en las cerdas (Figura 10). Esto sugiere que el ITG puede conferir influencias adicionales (triglicéridos) de la RI y no únicamente sobre las mediciones de glucosa.

Varios estudios han utilizado 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 la RI (Du *et al.*, 2014, Marini *et al.*, 2017; Kim *et al.*, 2018).

De acuerdo con lo descrito anteriormente se puede establecer que el ITG puede ser una herramienta viable para el diagnóstico de RI en cerdas previo al parto, lo cual ayudaría a implementar estrategias nutricionales para contrarrestar el efecto de la RI sobre el consumo voluntario de alimento de las cerdas en fase de lactación. Aspecto que se observó en la presente investigación al adicionar el nopal PC o en BF a la dieta de estos animales en la fase de lactancia (Tabla 14). Las cerdas que consumieron el hipoglucemiante durante la lactancia presentaron, el día de destete, niveles más bajos de GS y triglicéridos (Figuras 3 y 6 respectivamente) con respecto al control. Así mismo, al destete los grupos de cerdas que consumieron nopal presentaron el mayor porcentaje ( $p < 0.05$ ) de cerdas con un ITG bajo ( $\geq 34.0\%$ ) lo que implicaría que este porcentaje de cerdas escapó al fenómeno de RI, aspecto que no se observó en el G1 (control); el 100% de las cerdas de este grupo al culminar la fase de gestación mostró resistencia a la insulina (Figura 10).

El efecto del nopal (hipoglucemiante) ya ha sido estudiado anteriormente (Ortiz *et al.*, 2020) en cerdas en fase de lactación y se ha observado que la regulación de la GS debido a la ingesta del nopal provoca que las cerdas escapen al efecto de la hipofagia lactacional causada por RI. Sin embargo, no se había contrastado su efecto en la mejora metabólica de las cerdas utilizando como herramienta de diagnóstico el ITG. Aspecto que se corrobora con los consumos promedio de alimento cerda<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> grupo<sup>-1</sup>, mismos que establecieron que las cerdas que escaparon al fenómeno de RI logran consumir más de 5.0 kg de alimento día<sup>-1</sup> (Tabla 14).

#### **7.4 Conclusiones**

La adición de *O. ficus indica* cocido con vapor añadido a la dieta de cerdas en lactación mejora el consumo voluntario de alimento en comparación con *O. ficus indica* en base fresca adicionado a la dieta de estos animales; puesto que la disminución de glucosa no es tan drástica como el observado con la ingesta de nopal en BF.

La determinación del ITG es una herramienta de utilidad para determinar la resistencia a la insulina en cerdas en fase de lactancia y derivado de ello se puedan implementar estrategias nutricionales como es el caso de adicional nopal cocido con vapor, para contrarrestar la hipofagia fisiológica lactacional.

## 8. Bibliografía

- Aadil, R. M., Roobab, U., Maan, A. A., Madni, G. M. 2018. Effect of heat on food properties. In *Encyclopedia of Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21660-0>
- Ayadi, M. A., Abdelmaksoud, W., Ennouri, M., Attia, H. 2009. *Cladodes from Opuntia ficus indica as a source of dietary fiber: Effect on dough characteristics and cake making. Industrial Crops and Products, 30(1), 40–47.* doi: 10.1016/j.indcrop.2009.01.00
- Aguilar, M. I., Hernández, O., Guerrero, I., Ramírez, J. E., Aranda, G., Crosby, M. M. 2011. Productive response of lambs fed with fresh or dehydrated spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* L.). *Journal of the Professional Association for Cactus Development, 13: 23–35.*
- Aguilera, M. de los A., Rivera, J. A., Trujillo, H. M., Tamayo y Orozco, J. A., Barreira, E., Rodríguez, M. E. 2013. Intake of dehydrated nopal (*Opuntia ficus indica*) improves bone mineral density and calciuria in adult Mexican women. *Food & Nutrition Research, 57(1): 19106.* <https://doi.org/10.3402/fnr.v57i0.19106>
- Ahmed, F. A., y Ali, R. F. M. 2013. Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh and processed white cauliflower. *BioMed Research International, 2013.* <https://doi.org/10.1155/2013/367819>
- Alvarado, D. 2019. *Livestock and Products Semi-annual. Report Number: MX2020-0001.* Retrieved from [https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Livestock and Products Semi-annual\\_Mexico City\\_Mexico\\_02-01-2020](https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Livestock and Products Semi-annual_Mexico City_Mexico_02-01-2020)
- Armesto, J., Gómez, L., Carballo, J., Martínez, S. 2019. 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, 70(2): 136–149.* <https://doi.org/10.1080/09637486.2018.1482530>
- Asociación Mexicana de Veterinarios Especialistas en cerdos. 2019. Producción de carne de cerdos. Retrieved from <https://www.amvec.com/web/content/19302>
- Astello, M. G., Cervantes, I., Nair, V., Santos, M. del S., Reyes, A., Guéraud, F., Barba

- de la Rosa, A. P. 2015. Chemical composition and phenolic compounds profile of cladodes from *Opuntia* spp. cultivars with different domestication gradient. *Journal of Food Composition and Analysis*, 43: 119–130. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.04.016>
- Bader, U.I., Ain, H., Saeed, F., Khan, M.A., Niaz, B., Rohi, M., Nasir, M.A., Anjum, F.M. 2019. Modification of barley dietary fiber through thermal treatments. *Food Science and Nutrition*. doi:10.1002/fsn3.1026
- Bacardi, M., Dueñas, D., Jimenez, A. 2007. Lowering effect on postprandial glycemic response of nopales added to Mexican breakfasts. *Diabetes Care*, 30(5): 1264–1265. <https://doi.org/10.2337/dc06-2506>
- Balcázar, B. R., Martínez, E., González, M. 2014. Efecto de la administración oral de inulina sobre el perfil de lípidos y la sensibilidad a la insulina en individuos con obesidad y dislipidemia. *Revista Médica de Chile*, 131(6): 597–604. <https://doi.org/10.4067/s0034-98872003000600002>
- Bao, X., Wan, M., Gu, Y., Song, Y., Zhang, Q., Liu, L., Niu, K. 2017. Red cell distribution width is associated with hemoglobin A1C elevation, but not glucose elevation. *Journal of Diabetes and Its Complications*, 31(10): 1544–1548. <https://doi.org/10.1016/j.jdiacomp.2017.07.013>
- Baz, B., Riveline, J.P., Gautier, J.F. 2016. Endocrinology of pregnancy: Gestational diabetes mellitus: definition, aetiological and clinical aspects. *Eur J Endocrinol*. 174 (2): 43-51. doi:10.1530/EJE-15-0378.
- Bernhardt, S. y Schlich, E. 2006. Impact of different cooking methods on food quality: Retention of lipophilic vitamins in fresh and frozen vegetables. *Journal of Food Engineering*, 77(2): 327–333. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.06.040>
- Berrocoso, J. D., Menoyo, D., Guzmán, P., Saldaña, B., Cámara, L., Mateos, G. G. 2015. Effects of fiber inclusion on growth performance and nutrient digestibility of piglets reared under optimal or poor hygienic conditions. *J. Animal Science*, 93: 3919–3931. <https://doi.org/10.2527/jas2015-9137>
- Betancourt, M. A., Hernández, T., García, P., Cruz, A., Paredes, O. 2006. Physico-chemical changes in cladodes (nopalitos) from cultivated and wild cacti (*Opuntia* spp.). *Plant Foods for Human Nutrition*, 61(3): 115–119.

<https://doi.org/10.1007/s11130-006-0008-6>

- Boulot, S., Quesnel, H., Quiniou, N. 2008. Management of High Prolificacy in French Herds: Can We Alleviate Side Effects on Piglet Survival? *Advances in Pork Production*, 19(January) :213–220.
- Boulot., S., Depres, Y., Badouard., Sallé, E. 2013. Characterization of "second parity syndrome" profiles and associated risk factors in French sow herds. *J. de la Rech. Porc. en France*. 45:79-80.
- Bruinsma, J. 2003. *World Agriculture: Towards 2015/2030-An FAO Perspective* (E. Publications, Ed.). London.
- Campabadal, C. Guía Técnica Para Alimentación De Cerdos. Imprenta Nacional. Costa Rica. pp. 27-35
- Cani, P. D., Knauf, C., Iglesias, M. A., Drucker, D. J., Delzenne, N. M., Burcelin, R. 2006. Improvement of glucose tolerance and hepatic insulin sensitivity by oligofructose requires a functional glucagon-like peptide 1 receptor. *Diabetes*, 55(5): 1484–1490. <https://doi.org/10.2337/db05-1360>
- Cárdenas, Y., Ríos, M., Huerta, M., López, M., Bricio, J., Ortiz, M., Trujillo, X. 2019. The Comparative Effect of Nopal and Mucilage in Metabolic Parameters in Rats with a High-Fructose Diet. *Journal of Medicinal Food*, 22(5), 538–541. <https://doi.org/10.1089/jmf.2018.0124>
- Carrión, D., y Mendel, P. (2001). Interacción nutrición reproducción en ganado porcino. *XVII Curso de Especialización FEDNA*: 1–41.
- Castillo, S. F., Estrada, L., Margalef, M. I., Tófoli, S. L. 2013. Obtención de harina de nopal y formulación de alfajores de alto contenido en fibra Obtaining nopal flour to elaborate alfajores high in fiber. *Dieta*, 31(142): 20–26.
- Catalano, P.M. 2014. Trying to understand gestational diabetes. *Diabet Med*. 31 (3): 273-281. doi:10.1111/dme.12381.
- Cervantes, R. D., y Presno, J. M. 2013. Fisiopatología de la diabetes y los mecanismos de muerte de las células  $\beta$  pancreáticas. *Revista de Endocrinología y Nutrición*, 21(3):98–106.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2008. Catálogo de metadatos geográficos de México.

- Contreras, M., Gutiérrez, E., Valderrama, M. del C., Rojas, I., Espinosa, D. G., Suárez, R., Rodríguez, M. E. 2012. Effects of Drying Process on the Physicochemical Properties of Nopal Cladodes at Different Maturity Stages. *Plant Foods for Human Nutrition*, 67(1): 44–49. <https://doi.org/10.1007/s11130-011-0265-x>
- Cools, A., Maes, D., Decaluwé, R., Buyse, J., van Kempen, T. A. T. G., Liesegang, A., Janssens, G. P. J. 2014. Ad libitum feeding during the peripartal period affects body condition, reproduction results and metabolism of sows. *Animal Reproduction Science*, 145(3–4): 130–140. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2014.01.008>
- Cooper, C. A., Moraes, L. E., Murray, J. D., Owens, S. D. 2014. Hematologic and biochemical reference intervals for specific pathogen free 6-week-old Hampshire-Yorkshire crossbred pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/2049-1891-5-5>
- Cortez, R. M., Ortiz, A., Zepeda, L. G., Necochea, H. 2015. Effects of Cooking Methods on Phenolic Compounds in Xoconostle (*Opuntia joconostle*). *Plant Foods for Human Nutrition*, 70(1): 85–90. <https://doi.org/10.1007/s11130-014-0465-2>
- Cummings, J. H., Edmond, L. M., Magee, E. A. 2004. Dietary carbohydrates and health: Do we still need the fibre concept? *Clinical Nutrition, Supplement*, 1(2), 5–17. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2004.09.003>
- De Santiago, E., Domínguez, M., Cid, C., De Peña, M. P. 2018. Impact of cooking process on nutritional composition and antioxidants of cactus cladodes (*Opuntia ficus-indica*). *Food Chemistry*, 240: 1055–1062. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.039>
- Departamento de Agricultura de Estados Unidos. 2020. Datos trimestrales del USDA del inventario porcino: mercado, cría y destete a partir del 1 de marzo de 2020.
- Diabetes Care. 2019. Classification and Diagnosis of Diabetes: Standards of Medical Care in Diabetes-2019. 42 (Suppl. 1): 13-28.
- Dikeman, C. L., Bauer, L. L., Flickinger, E. A., Fahey, G. C. 2005. Effects of stage of maturity and cooking on the chemical composition of select mushroom varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(4): 1130–1138. <https://doi.org/10.1021/jf048541l>
- Dourmad, J. Y., y Matte, J. J. 2021. Effect of nutritional status on nutrient and gas utilization by the mammary gland of lactating sows. *Animal*, 15(2): 100116.

<https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100116>

- 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.
- El-Mostafa, K., El Kharrassi, Y., Badreddine, A., Andreoletti, P., Vamecq, J., El Kebbaj, M. S., Cherkaoui-Malki, M. 2014. Nopal cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a source of bioactive compounds for nutrition, health and disease. *Molecules*, 19(9): 14879–14901. <https://doi.org/10.3390/molecules190914879>
- Ersoy, B., y Özeren, A. 2009. The effect of cooking methods on mineral and vitamin contents of African catfish. *Food Chemistry*, 115(2): 419–422. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.018>
- Estévez, J. 2016. Manejo alimentario durante la gestación y lactancia en una unidad integral de producción porcina. Estudio de caso. *Revista de Producción Animal*, 28(2–3), 1–11. Retrieved from <http://scielo.sld.cu/pdf/rpa/v28n2-3/rpa01216.pdf>
- FAO. 2016. Boletín de agricultura familiar para América Latina y el Caribe. ISSN: 22312-1610. <http://www.fao.org/3/a-c0026s.pdf>
- Farcas, A.K., Larsem, J.A., Owens, T.J. Nelson, R.W., Kass, P.H., Fascetti, A. J. 2015. Evaluation of total dietary fiber concentration and composition of commercial diets used for management of diabetes mellitus, obesity, and dietary fat-responsive disease in dogs. *JAVMA*. 247 (5): 501-507.
- Farmer, C., Charagu, P., Palin, M. F. 2007. Influence of genotype on metabolic variables, colostrum and milk composition of primiparous sows. *Canadian Journal of Animal Science*, 87(4): 511–515. <https://doi.org/10.4141/CJAS07041>
- Farmer, C., Trottier, N. L., Dourmad, J. Y. 2008. Review: Current knowledge on mammary blood flow, mammary uptake of energetic precursors and their effects on sow milk yield. *Canadian Journal of Animal Science*, 88(2): 195–204. <https://doi.org/10.4141/CJAS07074>
- Figuroa, M. G., Pérez, I. F., Paredes, O., Mondragón, C., Reynoso, R. 2018. Phytochemical composition and in vitro analysis of nopal (*O. Ficus-Indica*) cladodes at different stages of maturity. *International Journal of Food Properties*, 21(1):1728–1742. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1206126>

- Flores, M. A., y Reveles, M. 2010. Producción de nopal forrajero de diferentes variedades y densidades de plantación. *VIII Simposium-Taller Nacional y 1er Internacional "Producción y Aprovechamiento Del Nopal, 2010(5): 198–210.*
- Foxcroft, G. R. 2012. Reproduction in farm animals in an era of rapid genetic change: Will genetic change outpace our knowledge of physiology? *Reproduction in Domestic Animals, 47(SUPPL.4): 313–319.* <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2012.02091.x>
- Frati, A. C., Jiménez, E., Ariza, C. R. 1990. Hypoglycemic effect of *Opuntia ficus indica* in non insulin-dependent diabetes mellitus patients. *Phytotherapy Research, 4(5): 195–197.* <https://doi.org/10.1002/ptr.2650040507>
- Gallego, C., y Ferreira A, F. J. 2015. Plantas medicinales en el tratamiento de la Diabetes Mellitus Tipo 2: una revisión. *Farmacéuticos Comunitarios, 7(4): 27–34.* [https://doi.org/10.5672/fc.2173-9218.\(2015/vol7\).004.05](https://doi.org/10.5672/fc.2173-9218.(2015/vol7).004.05)
- García, G., Olguín, A., Ramos, M., Rodríguez, M., Reynoso, R. 2006. Efecto antidiabético del cladodio del nopal comercial en ratas sanas y diabéticas. *2º Congreso Nacional de Química Médica.*
- Gómez, G., Rebollar, S., Hernández, J.,Guzman, E. 2012. Competitividad de la producción porcina de México y Estados Unidos. Comercio exterior marzo-abril.
- González, P., y Álvarez, E. 2006. La fibra dietética. *Nutrición Hospitalaria, 21: 61–72.*
- Guerra, M., Torres, A. L., Alvarado, M., Bustamante, T., Del valle, C., Luján, D. 2007. Relación de los niveles de HBA1C (%) y de "fructosamina" (mg/dL) en sujetos saludables y diabéticos tipo 1. *Universitas Scientiarum, 12(1):55–65.*
- Guerrero, F., Simental, L. E., González-Ortiz, M., Martínez-Abundis, E., Ramos, M. G., Hernández, S. O., Rodríguez, M. 2010. The product of triglycerides and glucose, a simple measure of insulin sensitivity. Comparison with the euglycemic-hyperinsulinemic clamp. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism, 95(7): 3347–3351.* <https://doi.org/10.1210/jc.2010-0288>
- Halmi, S., Benlaksira, B., Bechtarzi, K., Berouel, K., Serakta, M., Riachi, F., Pacha, Y. H. 2013. Pharmaco-toxicological study of *Opuntia ficus indica* L. aqueous extract in experimental animals. *International Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 3, 375–381.*
- Hashimoto, K. y Koga, M. 2015. Indicators of glycemic control in patients with gestational

- diabetes mellitus and pregnant women with diabetes mellitus. *World Journal of Diabetes*, 6(8): 1045. <https://doi.org/10.4239/wjd.v6.i8.1045>
- Hempe, J. M., Liu, S., Myers, L., Mccarter, R. J., Buse, J. B., Fonseca, V. 2015. The hemoglobin glycation index identifies subpopulations with harms or benefits from intensive treatment in the accord trial. *Diabetes Care*, 38(6): 1067–1074. <https://doi.org/10.2337/dc14-1844>
- Hernández-Urbiola, M. I., Pérez-Torrero, E., Rodríguez-García, M. E. 2011. Chemical analysis of nutritional content of prickly pads (*Opuntia ficus indica*) at varied ages in an organic harvest. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(5): 1287–1295. <https://doi.org/10.3390/ijerph8051287>
- Hernández, M. I., Contreras, M., Pérez, E., Hernández, G., Rojas, J., Cortes, M., Rodríguez, M. 2010. study of Nutritional Composition of Nopal ( *Opuntia ficus indica* cv .S Redonda ) at Different Maturity Stages. *The Open Nutrition Journal*, 4: 11–16.
- Herrera, H. y Barreras, S. 2000. *Manual de procedimientos: Análisis estadístico de experimentos pecuarios (utilizando el programa SAS)*. Colegio de Posgraduados.
- Hsu, C.K., Liao, J.W., Chung, Y.C. Hsich, C.P., Chan, Y.C. 2004. Xylooligosaccharides and fructooligosaccharides affect the intestinal microbiota and precancerous colonic lesion development in rats. *Journal Of Nutrition*.134:1523-1528.
- Hwan, S., Kang, I., Sung, S. 2017. *Antidiabetic effect of fresh nopal (Opuntia ficus-indica) in low-dose streptozotocin-induced diabetic rats fed a high-fat diet*. Hwan, S., Kang, I., Sung, S. 2017:1-8. <https://doi.org/10.1155/2017/4380721>
- INEGI. 2010. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Anuario Estadístico del Estado de Michoacán. pp: 127-142.
- Jaramma, C. 2016. Evaluación de caracteres de crecimiento y mortalidad de dos líneas de pollo de engorde en condicones de altitud. Trabajo experimental previo a la ontención de título de Médico Veterinario Zootecnista. Universidad Politécnica Salesiana. Sede Cuenca. Ecuador. pp 170
- 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.

- Jha, R., y Berrocoso, J. F. D. 2016. Dietary fiber and protein fermentation in the intestine of swine and their interactive effects on gut health and on the environment: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 212: 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.12.002>
- Kalala, G., Kambashi, B., Everaert, N., Beckers, Y., Richel, A., Pachikian, B., Bindelle, J. 2018. Characterization of fructans and dietary fibre profiles in raw and steamed vegetables. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 69(6): 682–689. <https://doi.org/10.1080/09637486.2017.1412404>
- Kampmann, U., Knorr, S., Fuglsang, J., y Ovesen, P. 2019. Determinants of maternal insulin resistance during pregnancy: an updated overview. *Journal Of Diabetes Research*. 1-9. doi:10.1155/2019/5320156
- Kendall, C. W. C., Esfahani, A., Jenkins, D. J. A. 2010. The link between dietary fibre and human health. *Food Hydrocolloids*, 24(1): 42–48. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.08.002>
- Kendall, C. W. C., Josse, A. R., Esfahani, A., Jenkins, D. J. A. 2010. Nuts, metabolic syndrome and diabetes. *British Journal of Nutrition*, 104(4): 465–473. <https://doi.org/10.1017/S0007114510001546>
- 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*, 32(10): 906–910. <https://doi.org/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 Science and Biotechnology*, 4(1): 2–9. <https://doi.org/10.1186/2049-1891-4-26>
- Koketsu, Y., Dial, G. D., Pettigrew, J. E., Xue, J., Yang, H., Lucia, T. 1998. Influence of lactation length and feed intake on reproductive performance and blood concentrations of glucose, insulin and luteinizing hormone in primiparous sows. *Animal Reproduction Science*, 52(2): 153–163. [https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(98\)00093-1](https://doi.org/10.1016/S0378-4320(98)00093-1)
- Lin, J., Barb, C.R., Matteri, R.L., Kraeling, R.R., Chen, X., Meinersmann, R.J., Rampacek, G.B. 2000. Long form leptin mRNA expression in the brain, pituitary, and other

- tissues in the pig. *Domestic Animal Endocrinology*. 19:53-61. [https://doi.org/10.1016/S0739-7240\(00\)00064-3](https://doi.org/10.1016/S0739-7240(00)00064-3)
- Lindheim, L. 2012. *The Role of Placental Hormones in the Regulation of Maternal Metabolism During Pregnancy*. Medical University of Graz.
- Littell, R. C., Henry, P. R., Ammerman, C. B. 1998. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. *J. Animal Science*, 76: 1216–1231.
- López, P., Pichardo, E., Avila, A., Vázquez, N., Tovar, A. R., Pedraza, J., Torres, N. 2014. The Effect of Nopal (*Opuntia Ficus Indica*) on Postprandial Blood Glucose, Incretins, and Antioxidant Activity in Mexican Patients with Type 2 Diabetes after Consumption of Two Different Composition Breakfasts. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 114(11): 1811–1818. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2014.06.352>
- López, J.J., Fuentes, J.M., Rodríguez, G.A. 2017. Producción y uso de opuntia como forraje en el centro-norte de México. Departamento de agricultura. Depósito de documentos de la FAO. pp: 36-45.
- Manders, R.J., Little, J.P., Forbes, S.C. Candow, D. G. 2012. Insulinotropic and muscle protein synthetic effects of branched-chain amino acids: potential therapy for type 2 diabetes and sarcopenia. *Nutrients*. 4: 1664-1678.
- Manzi, P., Marconi, S., Aguzzi, A., Pizzoferrato, L. 2004. Commercial mushrooms: Nutritional quality and effect of cooking. *Food Chemistry*, 84(2): 201–206. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00202-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00202-4)
- Margareta, E., y Nyman, L. 2003. Importance of processing for physico-chemical and physiological properties of dietary fibre. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 62, 187–192.
- Marini, M. A., Fiorentino, T. V., Succurro, E., Andreozzi, F., Sciacqua, A., Hribal, M. L., Sesti, G. 2017. Association between hemoglobin glycation index and hepatic steatosis in non-diabetic individuals. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 134: 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2017.09.017>
- Martínez, G., Flores, A., Mercado, J., López, M. 2010. Características de secado de nopal (*Opuntia ficus-indica*) por lecho fluidizado. *Acta Universitaria*, 20: 70–76. <https://doi.org/10.15174/au.2010.61>
- Meckes-, M., y Román, R. 2005. Opuntia streptacantha: A coadjutor in the treatment of

- Diabetes Mellitus. *American Journal of Chinese Medicine*, XIV, 116–118.
- Medina, E., Sánchez, A., Hernández, A., Martínez, M., Jiménez, C., Serrano, I., Cruz, M. 2017. Diabetes gestacional. Diagnóstico y tratamiento en el primer nivel de atención. *Medicina Interna de México*, 33(1):91–98.
- Menke, A., Rust, K. F., Savage, P. J., Cowie, C. C. 2014. Hemoglobin A1c, fasting plasma glucose, and 2-hour plasma glucose distributions in U.S. population subgroups: NHANES 2005-2010. *Annals of Epidemiology*, 24(2): 83–89. <https://doi.org/10.1016/j.annepidem.2013.10.008>
- Mi, J., Song, J., Zhao, Y., Wu, X. 2020. Association of hemoglobin glycation index and its interaction with obesity/family history of hypertension on hypertension risk: a community-based cross-sectional survey. *BMC Cardiovascular Disorders*, 20(1): 1–8. <https://doi.org/10.1186/s12872-020-01762-0>
- Moncada, L. M. y Gualdrón de Hernandez, L. 2006. Retención de nutrientes en la cocción, freído y horneado de tres alimentos energéticos. *Revista de Investigación*, 6(2): 179–187. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/952/95260205.pdf>
- Morán, S., Avila, A., Tovar, A. R., Pedraza, J., López, P., Torres, N. 2012. Opuntia ficus indica (Nopal) attenuates hepatic steatosis and oxidative stress in obese Zucker (fa/fa) rats. *Journal of Nutrition*, 142(11): 1956–1963. <https://doi.org/10.3945/jn.112.165563>
- Moreno, C., Andrade, M. J., Oña, G., Llumiquire, T., Concellón, A. 2015. Composición Química y Capacidad Antioxidante de Papas Nativas. *Revista Científica Ecuatoriana*, 2(2): 20–26.
- Mosnier, E., Etienne, M., Ramaekers, P., Père, M. C. 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(2–3): 127–136. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.06.023>
- Muñoz, C., Díaz, Y., González, C., Medina, E., Cardona, E. 2014. efecto de la administración de nopal deshidratado sobre el perfil de lípidos en individuos con dislipidemia y sobrepeso/obesidad. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. 1 (1): 149-157
- Navarro, J. 2012. Efecto del consumo de fibra en la dieta del paciente diabético. *Revista*

Médica de Costa Rica y Centroamérica LXIX (600): 21-23

- Neill, C., y Williams, N. 2010. Milk production and nutritional requirements of modern sows. *London Swine Conference*. London.
- Nelson, R. W., y Reusch, C. E. 2014. Animal models of disease: classification and etiology of diabetes in dogs and cats. *The Journal of Endocrinology*, 222(3). <https://doi.org/10.1530/JOE-14-0202>
- Nerhagen, S. y Mooney, C. 2017. Canine diabetes mellitus. *Veterinary Ireland Journal I*, 7(5), 241–244. Retrieved from [http://www.veterinaryirelandjournal.com/images/focus1\\_may\\_2017.pdf](http://www.veterinaryirelandjournal.com/images/focus1_may_2017.pdf)
- Neves, D. A., Schmiele, M., Pallone, J. A. L., Orlando, E. A., Risso, E. M., Cunha, E. C. E., Godoy, H. T. 2019. Chemical and nutritional characterization of raw and hydrothermal processed jambu (*Acmella oleracea* (L.) R.K. Jansen). *Food Research International*, 116(March), 1144–1152. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.09.060>
- Newsholme, P., Brennan, L., Rubi, B., Maechler, P. 2005. New insights into amino acid metabolism,  $\beta$ -cell function and diabetes. *Clinical Science*, 108(3), 185–194. <https://doi.org/10.1042/CS20040290>
- Nobet, J., Doumand, J., Etienne, M. 1990. Energy utilization in pregnant and lactating sows: Modeling of energy requirements. *J Anim Sci*, 68, 562–572. <https://doi.org/10.2527/1990.682562x>
- Nuñez, M., Paredes, O., Reynoso, R. 2013. Functional and Hypoglycemic Properties of Nopal Cladodes (*O. ficus-indica*) at Different Maturity Stages Using in Vitro and in Vivo Tests. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(46), 10981–10986. <https://doi.org/doi:10.1021/jf403834x>
- OCDE/FAO. 2017. *Perspectivas Agrícolas 2017-2026*.
- OCDE. 2019. *Exámenes de mercado en México. Estudio de mercado de la carne de cerdo*.
- Onakpoya, I. J., O'Sullivan, J., Heneghan, C. J. 2015. The effect of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) on body weight and cardiovascular risk factors: A systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *Nutrition*, 31(5): 640–646. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2014.11.015>
- Oral, E. A., Simha, V., Ruiz, E., Andewelt, A., Premkumar, A., Snell, P., Garg, A. 2002.

- Leptin-Replacement Therapy for Lipodystrophy. *New England Journal of Medicine*, 346(8), 570–578. <https://doi.org/10.1056/nejmoa012437>
- Ordaz, G., Juárez, A., García, A., Pérez, R. E., Ortiz, R. 2013. Efecto del número de parto sobre los principales indicadores reproductivos de las cerdas. *Revista Científica de La Facultad de Ciencias Veterinarias de La Universidad Del Zulia*, 23(6): 511–519.
- Ordaz, G., Juárez, A., Pérez, R. E., Román, R. M., Ortiz, 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. *Tropical Animal Health and Production*, 49(5): 1025–1033. <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1295-7>
- Ordaz, G., Juarez, A., Pérez, R. E., Martínez, H. E., Esquivel, J., Ortiz, R. 2018. Effect of lactating sows' diet supplemented with cactus (*Opuntia ficus-indica*) on feed intake and reproductive and productive post-weaning performances. *Tropical Animal Health and Production*, 50(7): 1671–1682. <https://doi.org/10.1007/s11250-018-1611-x>
- Ordaz, G., Juárez, A., Vargas, K., Pérez, R.E., Ortiz, R. 2019a. Effects of dietary inclusion of *Opuntia ficus-índica* on the glycemia and productive performance in lactating sows. *South African Journal of Animal Science*, 49 (5): 824:834, doi: 10.4314/sajas.v49i5.5
- Ordaz, G., Juárez, A., Valdez, J. J., Martínez, H. E., Portillo, L., Pérez, R. E., Ortiz, R. 2019b. 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(2): 547–573.
- Ordaz, G., Juárez, A., Pérez, R. E., Martínez, H. E., Ortiz, R. 2020. Effects of *Opuntia ficus-indica* in the diet of primiparous sows on the metabolic profile during late gestation and lactation and feed intake during lactation. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 104(6): 1884–1895. <https://doi.org/10.1111/jpn.13413>
- Ortiz, R., Orozco, A., Val, D., Portillo, L., Pérez, 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 TT - Effect of addition of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) to the diet of lactating sows on the production and quality of mil. *Nova Scientia*, 9(18): 290–312. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-)

07052017000100290&lang=en%0Ahttp://www.scielo.org.mx/pdf/ns/v9n18/2007-0705-ns-9-18-00290.pdf

- Ortiz, R., López, M., Pérez, R. E., Ramírez, P. de la P., Ordaz, G. 2020. Effect of the inclusion of different levels of dietary cactus (*Opuntia ficus-indica*) on gilts' biochemical parameters and feed intake during lactation. *Animals*, 10(10): 1–16. <https://doi.org/10.3390/ani10101881>
- Ortiz, R., Valdez, A., García, S., Pérez, R.E., Valdez A, A., Garcia, S. 2013. Evaluation of milk production by cows on a diet supplemented with nopal (*Opuntia ficus-indica*) during the dry season. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 21(2): 4.
- Park, M. S., Yang, Y. X., Shinde, P. L., Choi, J. Y., Jo, J. K., Kim, J. S., Chae, B. J. 2010. Effects of dietary glucose inclusion on reproductive performance, milk compositions and blood profiles in lactating sows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 94(5), 677–684. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2009.00962.x>
- Patullo, H. 2011. Influencia de la alimentación en la productividad de la cerda. *Agroindustria Porcina*, 3(1): 40–42.
- Père, M. C., y Etienne, M. 2007. Insulin sensitivity during pregnancy, lactation, and postweaning in primiparous gilts. *Journal of Animal Science*, 85(1): 101–110. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-130>
- Pérez, R. E., Mendoza, J. L., Martínez, H. E., y Ortiz, R. 2015. The addition of three different levels of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) to the diet of Holstein cows and its effect on milk production in the dry season. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 17(September): 81–88.
- Pinos, J. M., Velázquez, J. C., González, S. S., Aguirre, J. R., García, J. C., Álvarez, G., y Jasso, Y. 2010. Effects of cladode age on biomass yield and nutritional value of intensively produced spineless cactus for ruminants. *South African Journal of Animal Sciences*, 40(3), 245–250. <https://doi.org/10.4314/sajas.v40i3.14>
- Plasse, D., Fossi, H., Hoogesteij, R., Verde, O., Rodríguez, C., Rodríguez, R. 2000. Production of F1 Bos taurus x Brahman cows bred to Brahman bulls and Brahman cows bred to F1 Bos taurus x Brahman bulls versus Brahman 1. Weights at birth, weaning, 18 months and final weight. *Livestock Research of Rural Development*, 12(4).

- Prosby, L., ASP, N., Furda, I., DeVRIES, J., Schweizer, T., Harland, B. 1995. Determination of total dietary fiber in foods and food products by using a single-enzyme, enzymatic-gravimetric method: interlaboratory study. *Journal of AOAC International*, 78(6): 1440–1444. <https://doi.org/10.1093/jaoac/78.6.1440>
- Quesnel, H., Meunier-Salaün, M. C., Hamard, A., Guillemet, R., Etienne, M., Farmer, C., Père, M. C. 2009. Dietary fiber for pregnant sows: Influence on sow physiology and performance during lactation. *Journal of Animal Science*, 87(2): 532–543. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1231>
- Ramírez, E., Córdoba, D., Sánchez, M., Díez, C., Goñi, I. 2013. Effect of boiling on nutritional, antioxidant and physicochemical characteristics in cladodes (*Opuntia ficus indica*). *LWT - Food Science and Technology*, 51(1): 296–302. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.10.005>
- Ramírez, M. M. y Sánchez, C. 2012. El factor de necrosis tumoral- $\alpha$ , la resistencia a la insulina, el metabolismo de lipoproteínas y la obesidad en humanos. *Nutricion Hospitalaria*, 27(6), 1751–1757. <https://doi.org/10.3305/nh.2012.27.6.6004>
- Rodas, W., Mawyin, A., Gómez, J., Rodríguez, C., Serrano, D., Rodríguez, D., Montes, R. 2018. Diabetes gestacional: fisiopatología, diagnóstico, tratamiento y nuevas perspectivas. *AVFT. Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 37(3): 218–226.
- Rodríguez, M. E., De Lira, C., Hernández, E., Cornejo, M. A., Palacios, A. J., Rojas, I., Muñoz, C. 2007. Physicochemical characterization of nopal pads (*Opuntia ficus indica*) and dry vacuum nopal powders as a function of the maturation. *Plant Foods for Human Nutrition*, 62(3): 107–112. <https://doi.org/10.1007/s11130-007-0049-5>
- Rodríguez, S., Rodríguez, J., García Lopez, J. M., Casanueva, F. F., Camiña, F. 2012. Estimation of the glycation gap in diabetic patients with stable glycemic control. *Diabetes Care*, 35(12): 2447–2450. <https://doi.org/10.2337/dc11-2450>
- Roncero, I., Mendiola, M., Pérez, M., Delgado, C. 2017. Effect of different cooking methods on nutritional value and antioxidant activity of cultivated mushrooms. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 68(3): 287–297. <https://doi.org/10.1080/09637486.2016.1244662>
- Ros, E. 2006. Doble inhibición del colesterol: papel de la regulación intestinal y hepática.

- Revista Española de Cardiología Suplementos*, 6(7): 52G-62G.  
[https://doi.org/10.1016/s1131-3587\(06\)75329-8](https://doi.org/10.1016/s1131-3587(06)75329-8)
- Rucinsky, R., Cook, A., Haley, S., Nelson, R., Zoran, D. L., Poundstone, M. 2010. AAHA Diabetes management guidelines for dogs and cats. *Journal of the American Animal Hospital Association*, 46(3): 215–224. <https://doi.org/10.5326/0460215>
- Santomá, G. y Pontes, M. 2011. ¿Qué medidas nutricionales ante la productividad de la cerda actual? Primera parte. Curso de especialización FEDNA. Madrid. pp. 169-125
- Santos, M., Barbara, A., Héliès, C., Guéraud, F., Nègre, A. 2017. Opuntia spp.: Characterization and Benefits in Chronic Diseases. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 17. <https://doi.org/10.1155/2017/8634249>
- Schenkel, A. C., Bernardi, M. L., Bortolozzo, F. P., Wentz, I. 2010. Body reserve mobilization during lactation in first parity sows and its effect on second litter size. *Livestock Science*, 132(1–3): 165–172. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.06.002>
- Selvin, E., Crainiceanu, C. M., Brancati, F. L., Coresh, J. 2007. Short-term variability in measures of glycemia and implications for the classification of diabetes. *Archives of Internal Medicine*, 167(14): 1545–1551. <https://doi.org/10.1001/archinte.167.14.1545>
- Shapiro, K., y Gong, W. C. 2002. Natural products used for diabetes. *Journal of the American Pharmaceutical Association*, 42(2): 217–226. <https://doi.org/10.1331/108658002763508515>
- Sonagra, A.D., Biradar, S.M., Dattatreya, K., Murthy, S.D. 2014. Normal Pregnancy-A State of insulin Resistance. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. 11, 8. [https://jcdr.net/article\\_fulltext.asp?issn=0973-709x&year=2014&volume=8&issue=11&page=CC01&issn=09709x](https://jcdr.net/article_fulltext.asp?issn=0973-709x&year=2014&volume=8&issue=11&page=CC01&issn=09709x)
- Statistics Canadá. 2020. Canada: pig inventory decline for the second year in a row ( en línea) <https://www150.statcan.gc.ca/>
- Suárez, R. A., Fandiño, L. C., Rondón, I. S. 2018. Evaluación del perfil metabólico lipídico en cerdas suplementadas con *Lactobacillus casei* durante un ciclo reproductivo. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 29(4): 1278.
- Sung, W., y Guoyao, W. 2009. Regulatory role for amino acids in mammary gland growth and milk synthesis. *Amino Acids*, 37(1), 89–95. <https://doi.org/10.1007/s00726-008->

0151-5

- Tadera, K., Minami, Y., Takamatsu, K., Matsuoka, T. 2006. Inhibition of  $\alpha$ -glucosidase and  $\alpha$ -amylase by flavonoids. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 52(2): 149–153. <https://doi.org/10.3177/jnsv.52.149>
- Tan, C.Q., Weia, H.K.; Sunb, H.Q., Longa, G., Aoa, J.T., Jiange, S.W., Penga, J. 2015. Effects of supplementing sow diets during two gestations with konjac flour and *Saccharomyces boulardii* on constipation in peripartal period, lactation feed intake and piglet performance. *Anim Feed Sci Technol*. 210: 254-262.
- Tessier, D. R., Ferraro, Z. M., Gruslin, A. 2013. Role of leptin in pregnancy: Consequences of maternal obesity. *Placenta*, 34(3): 205–211. <https://doi.org/10.1016/j.placenta.2012.11.035>
- The Association of Official Analytical Chemists. 2000. *Oficial methods of analysis, 17 th Ed. Method*. Gaithersburg.
- Valros, A., Rundgren, M., Špmka, M., Saloniemi, H., Rydhmer, L., Hultén, F., Algers, B. 2003. Metabolic state of the sow, nursing behaviour and milk production. *Livestock Production Science*, 79(2–3): 155–167. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(02\)00154-9](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00154-9)
- Varela, L., y Horvath, T. L. 2012. Leptin and insulin pathways in POMC and AgRP neurons that modulate energy balance and glucose homeostasis. *EMBO Reports*, 13(12), 1079–1086. <https://doi.org/10.1038/embor.2012.174>
- Velegrakis, A., Sfakiotaki, M., Sifakis, S. 2017. Human placental growth hormone in normal and abnormal fetal growth (review). *Biomedical Reports*, 7(2): 115–122. <https://doi.org/10.3892/br.2017.930>
- Walder, K., Filippis, A., Clark, S., Zimmer, P., Collier, G. R. 1997. Leptin inhibits insuline binding in isolated rat a adipocytes. *J Endocrinol*, 155(3): R5-7.
- Wang, B., Chandrasekera, P., Pippin, J. 2014. Leptin- and Leptin Receptor-Deficient Rodent Models: Relevance for Human Type 2 Diabetes. *Current Diabetes Reviews*, 10(2): 131–145. <https://doi.org/10.2174/1573399810666140508121012>
- Weng, R. C. 2020. Dietary supplementation with different types of fiber in gestation and lactation: Effects on sow serum biochemical values and performance. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33(8): 1323–1331.

<https://doi.org/10.5713/ajas.19.0545>

Wolter, B. F., y Ellis, M. 2001. The effects of weaning weight and rate of growth immediately after weaning on subsequent pig growth performance and carcass characteristics. *Canadian Journal of Animal Science*, 81(3): 363–369.

<https://doi.org/10.4141/A00-100>

Yang, E. I., Lee, C. H., Che, D. N., Jang, S. Il, Kim, Y. S. 2019. Biological activities of water-soluble polysaccharides from *Opuntia humifusa* stem in high-fat-diet-fed mice.

*Journal of Food Biochemistry*, 43(4): 1–10. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12806>

3tres3. 2020. Datos y evolución del sector porcino por países. [333/Economía/Estadísticas de producción porcina](https://www.3tres3.com/estadisticas_porcino/) [https://www.3tres3.com/estadisticas\\_porcino/](https://www.3tres3.com/estadisticas_porcino/)