

<https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i4.4932>

Nota de investigación

Evaluación productiva y análisis costo-beneficio de cerdas alimentadas con una dieta adicionada con nopal (*Opuntia ficus-indica*) durante la lactancia

Gerardo Ordaz Ochoa ^a

Aureliano Juárez Caratachea ^a

Liberato Portillo Martínez ^b

Rosa Elena Pérez Sánchez ^{c*}

Ruy Ortiz Rodríguez ^d

^a Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. México.

^b Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. México.

^c Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Químico Farmacobiología. México.

^d Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. México.

* Autor de correspondencia: rosa_elenap@yahoo.com

Resumen:

El objetivo fue determinar la productividad, costos de producción y costo-beneficio de dos esquemas de alimentación (EA) para cerdas lactantes: 1) alimentación convencional (EAC) y, 2) alimentación convencional más nopal (EAN). Se evaluaron 116 partos de cerdas híbridas: 58 partos de cerdas sometidas al EAC (n=17 cerdas) y 58 partos de cerdas bajo el EAN (n=17 cerdas). Se evaluó: glucosa sanguínea (GS), consumo de alimento diario (CAD⁻¹), pérdida de peso corporal (PPC), intervalo destete-estro (IDE), porcentaje de servicios repetidos (PSR), días no productivos (DNP) y tamaño de camada subsiguiente (TC). El análisis estadístico se realizó mediante modelos de efectos fijos

(MIXED SAS[®]) y la evaluación económica bajo la metodología del análisis costo-beneficio. Las cerdas sometidas al EAN presentaron mejor ($P<0.05$) comportamiento en las variables evaluadas: menores niveles de GS preprandial (55.5 ± 2.31 mg dL⁻¹), mayor CAd⁻¹ (5.3 ± 0.17 kg d⁻¹); menor: PPC (6.0 %), IDE (144 h), PSR (12.4 %) y DNP (36.0 días) y mayor TC (11.2 lechones). Ello en comparación con el EAC: GS preprandial, 70.0 ± 2.31 mg dL⁻¹; CAd⁻¹, 4.7 ± 0.17 kg d⁻¹; PPC, 11.7 %; PSR, 17.1 %; DNP, 50.0 días y TC, 9.8 lechones. El costo de producción lechón⁻¹ destetado en el EAN fue de \$ 539.02 MXN vs \$ 590.81 MXN para el EAC. La ganancia fue de \$ 216.68 y \$ 168.88 MXN lechón⁻¹ vendido para EAN y EAC, respectivamente. El EAN reduce la GS e incrementa el CAd⁻¹ de las cerdas lactantes, lo que reduce la PPC en dicha fase y genera mayor productividad de las cerdas y mayor eficiencia económica.

Palabras clave: Cladodio, Lechón, Glucosa, Rentabilidad.

Recibido: 08/06/2018

Aceptado: 07/09/2018

Uno de los objetivos de la actividad pecuaria es minimizar los costos de producción para maximizar los ingresos por unidad producida⁽¹⁾; para ello, es esencial determinar los indicadores que impactan en mayor grado los costos de producción para lograr disminuirlos⁽²⁾. Al respecto, el costo de producción del lechón al destete es el indicador con mayor impacto (≥ 31 %) en el costo de kilogramo de cerdo producido⁽³⁾. Por lo que, una estrategia para minimizar dicho costo es incrementar la prolificidad de las cerdas⁽⁴⁾, pero, el incremento de dicha variable por sí sola no garantiza la reducción de los costos de producción, puesto que a mayor prolificidad mayor porcentaje de lechones nacidos muertos⁽⁴⁾, menor peso al nacimiento y al destete de los lechones⁽⁵⁾ y, mayor desgaste fisiológico de las cerdas al amamantar a un mayor número de lechones⁽⁶⁾, aspecto que se incrementa en cerdas magras e hiperprolíficas⁽²⁾.

Durante el periodo de transición periparto-lactancia, se requieren elevadas cantidades de glucosa⁽⁶⁾ en respuesta al crecimiento exponencial de los fetos y al desarrollo de la glándula mamaria^(7,8) y para ello se implementa el mecanismo fisiológico de resistencia a la insulina⁽⁶⁾. Aspectos que propicia en la cerda post-parto: a) inicio de la lactancia con balance energético negativo y b) reducción del consumo de alimento (Hipofagia)^(7,9); factores que propician movilización de las reservas corporales de la cerda para satisfacer sus requerimientos nutricionales y para la producción de leche^(8,9). Así, la hipofagia lactacional es un factor que obstaculiza la eficiencia productiva de la cerda⁽¹⁰⁾ y, en consecuencia, dificulta reducir el costo de producción, del lechón al destete. Por lo que, la regulación de los centros metabólicos del hambre en cerdas lactantes es crucial para incrementar tanto el consumo de alimento como la productividad de éstas⁽¹¹⁾. Al respecto, existen evidencias⁽¹²⁻¹⁶⁾ que la ingesta de fibra, incluida la del nopal (*Opuntia ficus-indica*)

produce dichos efectos. Por ello, el objetivo de esta investigación fue, evaluar el efecto del nopal (*Opuntia ficus-indica*) adicionado a la dieta de cerdas lactantes sobre el consumo de alimento voluntario y su repercusión en la productividad, costos de producción y relación costo-beneficio.

La investigación se llevó a cabo en el sistema de producción porcino de la Posta Zootécnica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (FMVZ-UMSNH), Tarímbaro, Michoacán, México. Se evaluaron 116 partos provenientes de 34 cerdas híbridas (Yorkshire x Landrace x Pietrain) en un periodo de 24 meses. Las cerdas se seleccionaron mediante auto-reemplazo de la piara reproductiva con la que cuenta la FMVZ-UMSNH. Una vez que las cerdas presentaron el primer estro (82 ± 9.4 kg), se monitorearon, por tres ciclos consecutivos, para evaluar su viabilidad reproductiva de acuerdo con la ciclicidad de sus estros (20 ± 2 días entre estros) hasta el momento del primer servicio (117.7 ± 12.4 kg). Las cerdas servidas con diagnóstico de gestación positivo se alojaron en grupo ($n=7$) en corrales de 16 m^2 y en donde recibieron 2.0 kg de alimento comercial cerda⁻¹ día (Cuadro 1) durante los primeros dos tercios de gestación, el último tercio (hasta el día 108 de gestación), se les suministraron 2.5 kg cerda⁻¹ día⁻¹, dividido en dos porciones: 0800 y 1400 h. El suministro de agua fue a libre acceso a través de bebedero automático.

Cuadro 1: Ingredientes y composición nutricional de las dietas implementadas

| Ingrediente, g kg ⁻¹ | Gestación | Lactancia | |
|--|-----------|---------------|--------------------|
| | | Grupo control | Grupo experimental |
| Sorgo | 824.0 | 649.7 | 649.7 |
| Pasta de soja | 60.0 | 100.0 | 100.0 |
| Pasta de canola | 61.5 | 185.3 | 185.3 |
| Ortofosfatos | 11.8 | 5.4 | 5.4 |
| Carbonato de calcio | 14.0 | 12.4 | 12.4 |
| Aceite de soja | 22.0 | 38.5 | 38.5 |
| Lisina | 1.2 | 2.5 | 2.5 |
| Sal | 4.0 | 4.0 | 4.0 |
| Vitaminas y minerales, premezcla ^a | 2.0 | 2.5 | 2.5 |
| Composición nutrimental de <i>O. ficus-indica</i> ^b | | | |
| Proteína cruda, % | | | 5.6 |
| Grasa cruda, % | | | 0.2 |
| Fibra, % | | | 28.8 |
| Humedad, % | | | 88.6 |
| Cenizas, % | | | 24.5 |
| Elementos libres de nitrógeno, % | | | 40.8 |
| Mucilago, g 300 g ⁻¹ base seca | | | 2.6 |
| Composición nutrimental ^c | | | |
| Energía metabolizable, Mcal/kg ^d | 2.3 | 2.3 | 2.3 |

| | | | |
|--------------------------|------|------|------|
| Proteína cruda, % | 12.5 | 17.5 | 17.4 |
| Grasa cruda, % | 3.7 | 4.5 | 4.4 |
| Fibra, % | 3.1 | 4.3 | 4.5 |
| Humedad, % | 12.0 | 12.0 | 12.8 |
| Cenizas, % | 10.0 | 10.0 | 9.9 |
| Calcio, % ^d | 0.75 | 0.75 | 0.75 |
| Fosforo, % ^d | 0.60 | 0.60 | 0.59 |
| Lisina, % ^d | 0.52 | 0.95 | 0.94 |
| Met-Cist, % ^d | 0.43 | 0.59 | 0.59 |

^a Proporción kg⁻¹ de la dieta: Cu 30 mg; Fe 160 mg; Zn 160 mg; Mn 55 mg; Se 0.5; Cr 0.2 mg; Vitamina A 14,200 IU; Vitamina D₃ 2800 IU; Vitamina E 125 mg; Vitamina K₃ 5 mg; Vitamina B₁ 2.4 mg; Vitamina B₂ 8.7 mg; Vitamina B₆ 4.5 mg; Vitamina B₁₂ 0.05 mg; ácido pantoténico 35 mg; ácido fólico 6 mg.

^b El suministro de nopal fue solo en la mañana en base fresca. Fue 1% de acuerdo con el peso corporal preparto de la cerda.

^c Para determinar la composición nutricional de la dieta adicionada con nopal se agrega el 1% de nopal (base seca) a la muestra de alimento previo análisis bromatológico.

Una semana previa a la fecha probable de parto, las cerdas se seleccionaron al azar para conformar cada uno de los esquemas de alimentación (EA) postparto establecidos en el diseño experimental: 1) esquema de alimentación convencional o EAC (n= 58 partos de 17 cerdas;) y, 2) esquema conformado por alimento convencional más nopal o EAN (n= 58 partos de 17 cerdas). Asignado el EA, las cerdas fueron trasladadas a la sala de parto, donde fueron alimentadas con una dieta convencional para cerdas lactantes (Cuadro 1): 2.5 kg cerda⁻¹. Posterior al parto, las cerdas de ambos grupos se alimentaron *ad libitum* durante los 21 días que duró la lactancia. La única variante en la alimentación fue la adición de nopal (*O. ficus-indica*) en base fresca (BF) al EAN: alimento comercial más 1% de nopal (de acuerdo con el peso corporal de la cerda preparto). Para el suministro de los cladodios, estos se fragmentaron en trozos de 3x2 cm aproximadamente, para inmediatamente después adicionar la cantidad requerida para cada cerda a las 0800 h en conjunto con la ración de alimento comercial correspondiente de cada cerda del EAN.

Las variables evaluadas cerda⁻¹ EA⁻¹ fueron: 1) glucosa sanguínea (GS) pre y postprandial, la cual se determinó de acuerdo a la metodología establecida por Pérez *et al*⁽¹⁷⁾; 2) consumo de alimento diario (CAD⁻¹), que se obtuvo a través del alimento suministrado y el rechazado cerda⁻¹ día⁻¹. El alimento (suministrado y rechazado) se pesó con una báscula digital (Dibatec®; capacidad de 40 kg y precisión de ±5 g). El rechazo de alimento cerda⁻¹ día⁻¹ se pesó diariamente por la mañana, previo a la alimentación; 3) pérdida de peso corporal (PPC), que se determinó a través del peso vivo de las cerdas preparto (día 110 de gestación) y al destete (21 días postparto), variables utilizadas para el cálculo de la PPC expresada en porcentaje mediante la siguiente ecuación:

$$PPC_{\%} = 100 - \left(\frac{\text{Peso al destet} * 100}{\text{Peso de la cerda postparto}} \right);$$

4) intervalo destete-estro (IDE), que se evaluó en horas: tiempo que tardó la cerda desde el momento del destete hasta presentar el estro; 5) días no productivos (DNP), variable estimada de la siguiente manera:

$$DNP = 365 - [PCA * (DL + DG)];$$

Donde PCA= partos cerda⁻¹ año⁻¹; DL= días de lactancia; DG= días de gestación;

$$PCA = 365 / IEP.$$

Donde IEP= intervalo entre partos;

$$IEP = DG + DL + IDE + PSRd$$

Donde IDE= intervalo destete-estro; PSRd= porcentaje de servicios repetidos expresado en días; 6) porcentaje de servicios repetidos (PSR), fue estimado mediante la siguiente ecuación:

$$PSR = 100 - \left[\left(\frac{CS - CRE}{CS} \right) * 100 \right]; PSRd = \left(\frac{PSR * CS}{100} \right) * 21.$$

Donde CS= cerdas servidas; CRE= cerdas que retornan a estro; 7) productividad en el parto subsiguiente, esta se evaluó a través del tamaño de camada (TC), lechones nacidos vivos (NV) y lechones destetados (LD).

Los datos se analizaron mediante la metodología de los efectos fijos (MIXED) [SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA]. Los datos de GS y CA^{d-1} de las cerdas se analizaron mediante la metodología de mediciones repetidas, con cerda como el objeto del efecto aleatorio de tiempo (días de lactancia) y, como efectos fijos: EA, número de parto y la anidación número de parto dentro de EA, utilizando el siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + EA_i + C(EA)_{j(i)} + NP_k + NP(EA)_{k(i)} + \varepsilon_{ijkl}.$$

La PPC, IDE, PSR, DNP, TC, NV y LD se estimaron utilizando EA, número de parto y la anidación número de parto dentro de EA, siendo el modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + EA_i + NP_j + NP(EA)_{j(i)} + \varepsilon_{ijk}.$$

Donde:

Y_{ijkl} = variable respuesta: GS, CA^{d-1};

μ = constante que caracteriza la población;

EA_i = efecto fijo del i -ésimo esquema de alimentación con i = EAC y EAN;

$C(G)_{j(i)}$ = efecto aleatorio de la j -ésima cerda, anidada con el i -ésimo esquema de alimentación;

NP_k = efecto fijo del k -ésimo número de parto con k = 1, 2, 3 y 4; N

$P(EA)_{k(i)}$ = efecto fijo de la anidación del k -ésimo número de parto dentro del i -ésimo esquema de alimentación;

\mathcal{E}_{ijklmn} = error aleatorio asociado a cada observación ($\sim NID=0, \sigma^2_e$).

Las diferencias entre las medias fueron mediante el método de medias de mínimos cuadrados (LsMeans) con un $\alpha=0.05$. Los valores en cuadros y texto se presentan como media de mínimos cuadrados \pm error estándar. Para determinar las relaciones entre el EA (EAC vs EAN) e indicadores reproductivos y productivos se determinaron las correlaciones de Pearson de dichos indicadores dentro de cada EA, para lo cual se utilizó el procedimiento de correlación del programa estadístico SAS[®]. Para el desarrollo del análisis económico se utilizó la información contable de las variables previamente descritas de ambos EA (EAC y EAN); mismos que se analizaron mediante la metodología propuesta por Rouco y Muñoz⁽¹⁸⁾, modificada por Bobadilla *et al*⁽¹⁹⁾.

En la actualidad, se han implementado estrategias^(20,21) para mitigar los efectos de la hipofagia fisiológica lactacional. Sin embargo, dichas estrategias han fracasado; ya sea, por ser económicamente inviables, o por el hecho de que no resuelven el origen del problema: regulación de la glucosa sanguínea (GS) postparto⁽⁶⁾. En este sentido, se encontró que, los niveles de GS pre y postprandial de las cerdas que consumieron nopal (EAN) fueron menores ($P<0.05$) (postprandial 63.5 a 67.5 mg dL⁻¹), respecto a las cerdas alimentadas convencionalmente (EAC) (postprandial 75.7 a 80.3 mg dL⁻¹) (Cuadro 2). Mientras que en las cerdas del EAC, fueron las cerdas de 1^{er} y 4^{to} parto las que mostraron mayores niveles ($P<0.05$) de GS.

Cuadro 2: Medias de mínimos cuadrados para el peso preparto y al destete de la cerda, glucosa sanguínea y consumo de alimento de las cerdas de acuerdo con el esquema de alimentación

| Indicador | Media general | | | Número de parto | | | | | P-valor | | |
|-------------------------------------|---------------|--------------------|------|-----------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------|------|---------|--------|--------|
| | EA | Media | EE | 1 | 2 | 3 | 4 | EE | EA | NP | NP(EA) |
| Peso de la cerda preparto, kg | EAC | 213.2 ¹ | 6.10 | 175.9 ^{a1} | 201.9 ^{b1} | 218.7 ^{c1} | 236.2 ^{d1} | 6.21 | 0.5185 | <0.001 | <0.001 |
| | EAN | 207.2 ¹ | | 189.5 ^{a1} | 195.3 ^{b1} | 211.1 ^{c1} | 232.9 ^{d1} | | | | |
| GS preprandial, mg dL ⁻¹ | EAC | 70.0 ¹ | 1.27 | 71.5 ^{a1} | 66.2 ^{b1} | 66.5 ^{b1} | 75.6 ^{a1} | 2.31 | <0.001 | 0.031 | 0.011 |
| | EAN | 55.5 ² | | 53.8 ^{a2} | 54.6 ^{a2} | 56.0 ^{a2} | 58.1 ^{a2} | | | | |
| GS preprandial, mg dL ⁻¹ | EAC | 75.9 ¹ | 1.29 | 76.5 ^{a1} | 80.3 ^{a1} | 79.4 ^{a1} | 75.7 ^{a1} | 2.43 | <0.001 | 0.531 | 0.021 |
| | EAN | 65.3 ² | | 63.5 ^{b2} | 66.0 ^{b2} | 65.0 ^{b2} | 67.5 ^{b2} | | | | |
| Consumo de AC, kg | EAC | 4.7 ¹ | 0.10 | 3.7 ^{a1} | 4.7 ^{b1} | 4.3 ^{c1} | 4.8 ^{b1} | 0.17 | <0.001 | <0.001 | <0.001 |
| | EAN | 5.32 | | 5.1 ^{a2} | 5.2 ^{a2} | 5.3 ^{a2} | 5.5 ^{a2} | | | | |
| Consumo de nopal BF/BS, kg | EAC | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| | EAN | 1.7/0.20 | 0.03 | 1.3/0.15 ^a | 1.7/0.20 ^b | 1.8/0.21 ^b _c | 1.9/0.24 ^c | 0.07 | -- | <0.001 | -- |
| Rechazo de nopal BF/BS, kg | EAC | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| | EAN | 0.3/0.04 | 0.01 | 0.5/0.07 | 0.2/0.03 | 0.3/0.03 | 0.4/0.05 | 0.02 | -- | <0.001 | -- |
| Peso de la cerda al destete, kg | EAC | 187.0 ¹ | 1.13 | 157.8 ^{a1} | 176.1 ^{b1} | 189.5 ^{c1} | 213.6 ^{b1} | 2.22 | <0.001 | <0.001 | <0.001 |
| | EAN | 192.6 ² | | 178.7 ^{a2} | 184.5 ^{b2} | 201.3 ^{b2} | 213.7 ^{c2} | | | | |
| Pérdida de peso corporal, % | EAC | 11.7 ¹ | 0.31 | 11.3 ^{a1} | 12.0 ^{a1} | 13.8 ^{a1} | 9.8 ^{b1} | 0.57 | <0.001 | 0.330 | <0.001 |
| | EAN | 6.0 ² | | 6.5 ^{ab2} | 5.2 ^{a2} | 4.9 ^{a2} | 7.4 ^{b2} | | | | |

EA= esquema de alimentación; EAC= alimentación convencional; EAN= alimentación adicionado con nopal; NP= número de parto; GS =glucosa sanguínea; AC= alimento comercial; BF= base fresca; BS= base seca.

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

^{1, 2} Numerales diferentes indican diferencia estadística ($P<0.05$) dentro de columna, entre EA y para cada indicador, respectivamente.

La disminución de GS en cerdas del EAC concuerda con investigaciones previas^(15, 22, 23) y en donde se establece que dicha disminución obedece al efecto (vía mecánica) de las pectinas y mucílago presentes en la fibra soluble del nopal: componentes que incrementan la viscosidad del alimento, lo cual hace más lento su tránsito e incrementa la absorción de glucosa⁽²²⁾. Sin embargo, se sugieren que la fibra dietética no fermentable del nopal propicia un incremento en la liberación intestinal de la proteína GLP-1, misma que inhibe la liberación de glucagón y, en consecuencia, disminuye la síntesis de glucosa^(13,24). Además, esta proteína (GLP-1) también ocasiona el incremento de la síntesis de insulina^(16, 25).

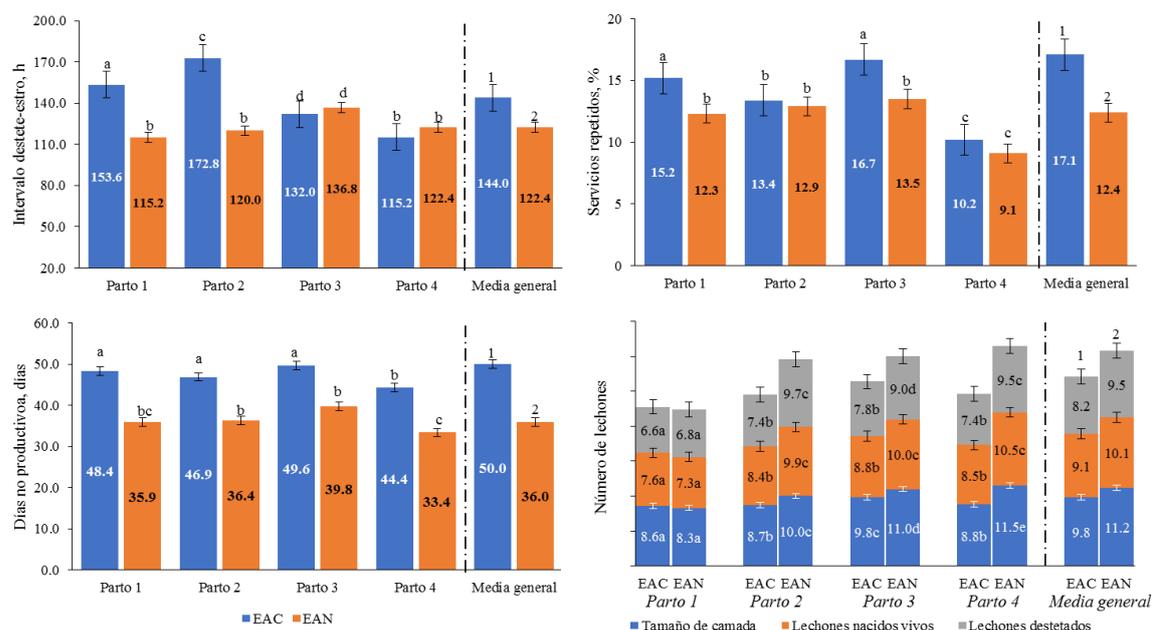
En relación con el consumo de alimento diario, éste fue mayor (11.3 %) en las cerdas del EAN respecto a las cerdas alimentadas convencionalmente ($P<0.05$) (Cuadro 2). Además, en EAN no se observaron diferencias en el consumo de alimento diario cerda⁻¹ ($P>0.05$) de acuerdo al número de parto, únicamente en EAC el consumo de alimento diario cerda⁻¹ se afectó por el número de parto ($P<0.05$). Se ha establecido⁽⁷⁾ que el consumo de alimento de las cerdas en fase de lactación es afectado principalmente por la edad (número de parto) y la fisiología metabólica de estas cerdas; factores difíciles de manipular⁽⁶⁾. No

obstante, en la presente investigación, la edad (número de parto) de la cerda en el EAN no afectó ($P>0.05$) el consumo de alimento. Ello sugiere que, la adición del nopal a la dieta de las cerdas lactantes (EAN) contrarrestó los efectos negativos de la hipofagia lactacional.

Para el caso de la pérdida de peso (PPC) corporal de las cerdas, durante la fase de lactancia, se encontró que esta fue mayor ($P<0.05$) en las cerdas del EAC vs cerdas del EAN (Cuadro 2). Así, mismo, en cerdas del EAC la PPC fue mayor en hembras de 3^{er} parto (13.8 %) en comparación con el resto de los partos analizados en dicho esquema ($P<0.05$). Para el caso de las cerdas del EAN, la PPC fue mayor ($P<0.05$) en cerdas de 4^{to} parto (7.4 %) con respecto al resto de los partos analizados. Posiblemente, la adición del nopal a la dieta de las cerdas lactantes provoca mayor concentración de ácidos grasos volátiles (AGV) al mejorar los procesos de fermentación del colon^(26,27) y este incremento de AGV puede ser canalizado al gasto energético del organismo inhibiendo el catabolismo y la PPC durante la lactancia⁽²⁷⁾.

Se ha establecido⁽²⁸⁾ que la PPC superior al 10 % al finalizar la lactación se relaciona con un inadecuado restablecimiento de la función ovárica y con fallas reproductivas. Al respecto, se encontró un mejor comportamiento ($P<0.05$) en el restablecimiento de la función ovárica y menores ($P<0.05$) fallas reproductivas en las cerdas del EAN: menor intervalo destete-estro (IDE) [122.4 h], menor porcentaje de servicios repetidos (PSR) [12.4 %] y menores días no productivos (DNP) [36.0 días] vs cerdas de EAC (IDE= 144.0 h, PSR= 17.1 % y DNP = 50.0 días) (Figura 1).

Figura 1: Medias de mínimos cuadrados para variables reproductivas y productivas de las cerdas de acuerdo con el esquema de alimentación

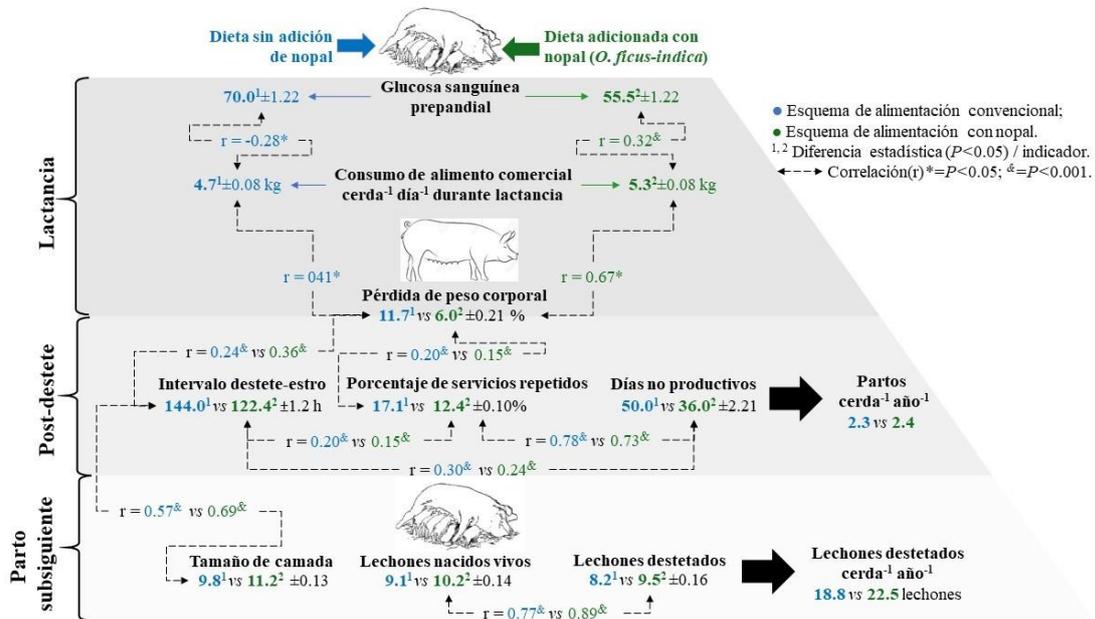


a, b, ..., c Literales diferentes indican diferencia estadística ($P < 0.05$) dentro de columna.

1,2 Numerales diferentes indican diferencia estadística ($P < 0.05$) para media general entre EA.

Una mayor eficiencia en la regulación neuroendocrina de la cerda, durante y después del periodo de lactación^(6,7), no solo mejora los indicadores reproductivos postdestete, también se refleja en una mayor prolificidad y productividad de las cerdas al disminuirse los días no productivos. Aspectos observados en la presente investigación (Figuras 1 y 2). La mayor síntesis de insulina⁽²²⁾, producto de la ingesta de nopal, también afecta positivamente los indicadores reproductivos subsiguientes al periodo de lactación (Figura 1). Puesto que, la insulina es determinante en la regulación de los procesos reproductivos de la cerda; a mayor síntesis de insulina, mayor liberación de IGF-1, mismo que regula la producción de FSH y LH⁽²⁸⁾.

Figura 2: Correlaciones de Pearson y conceptualización del efecto que ejerce la adición de nopal a la dieta de cerdas lactantes sobre indicadores productivos y reproductivos



En cuanto al comportamiento de tamaño de camada de las cerdas (lechones nacidos vivos y lechones destetados), en el parto subsiguiente, se encontró un mayor tamaño de camada ($P < 0.05$) en cerdas del EAN (Figura 1). Pero, las cerdas de 1^{er} parto se comportaron de forma similar en ambos EA analizados ($P > 0.05$), debido a que las hembras de ambos EA recibieron la misma alimentación durante la gestación.

Finalmente, en lo referente a los aspectos del desarrollo del lechón durante la fase de lactancia, se ha reportado⁽²⁹⁾ que, la adición de nopal a la dieta de cerdas lactantes no modifica los componentes nutricionales (proteína, grasa y lactosa) de la leche ni la cantidad de la misma, por lo tanto el desarrollo del lechón durante la lactancia no se ve afectado.

En cuanto a los resultados del análisis económico de la productividad (Figuras 1 y 2) de las cerdas, se encontró que, la adición de nopal a la dieta de las cerdas (EAN) mejoró el indicador de lechones destetados cerda⁻¹ año⁻¹ (22.5 LD cerda⁻¹ año⁻¹) vs cerdas del EAC (18.8 LD cerda⁻¹ año⁻¹). Sin embargo, la alimentación representó la mayor inversión de los costos de producción en ambos esquemas: 73.97 y 74.42% para EAN y EAC, respectivamente (Cuadro 3). Referente al valor de amortización cerda⁻¹, este fue superior (4.2 %) en las cerdas del EAN. Este indicador se basa en el activo (cerda) fijo tangible⁽³⁰⁾, mismo que presentó variación en su vida útil dentro de cada EA. Sin embargo, la amortización del semental fue igual en ambos EA, puesto que su valor inicial y vida útil fue similar en cada EA analizado.

Cuadro 3: Estructura de los costos de producción (MXN y %) de acuerdo con el esquema de alimentación

| Concepto | EAC | | EAN | |
|----------------------------------|------------|-------|------------|-------|
| | MXN | % | MXN | % |
| Amortización cerda ⁻¹ | 1,672.09 | 1.18 | 1,745.02 | 1.12 |
| Amortización del semental | 928.58 | 0.65 | 928.58 | 0.59 |
| Alimentación de las cerdas | 105,762.44 | 74.42 | 115,685.33 | 73.97 |
| Alimentación del semental | 3,859.22 | 2.72 | 3,859.22 | 2.47 |
| Alimentación de los lechones | 6,169.53 | 4.34 | 7,458.35 | 4.77 |
| Medicamentos | 16,409.81 | 11.55 | 18,668.72 | 11.94 |
| Costo de oportunidad | 7,319.74 | 5.15 | 8,055.06 | 5.15 |

EAC= esquema de alimentación convencional; EAN= esquema de alimentación convencional más la adición de nopal.

En lo referente a los costos de producción LD⁻¹, estos fueron de: \$ 590.81 y \$ 539.02 MXN, para EAC y EAN, respectivamente. Estos costos generaron una ganancia de \$ 168.88 y \$ 216.68 MXN lechón⁻¹ vendido para EAC y EAN, respectivamente. Por lo que el costo marginal fue superior (8.7 %) en EAC. Así, el punto muerto o umbral de rentabilidad, con base al número de LD, fue menor en el EAN (Cuadro 4) y la relación costo beneficio, permitió establecer que, por cada peso invertido EA⁻¹ se generó una ganancia de 41 ¢ para el sistema con EAN vs 30 ¢ para el sistema con EAC.

Cuadro 4: Análisis de costos de producción, ingresos y ganancias (MXN) por lechón destetado de acuerdo con el esquema de alimentación

| Concepto | EAC | EAN | Diferencia |
|---------------------------------------|--------|--------|------------|
| Costos fijos | 168.88 | 121.48 | -47.41 |
| Costos variables | 443.82 | 417.55 | -26.28 |
| Costos totales | 590.81 | 539.02 | -51.60 |
| Ingresos totales | 759.51 | 759.51 | -- |
| Ganancia neta | 168.88 | 216.68 | 51.60 |
| Costo marginal | 318.73 | 349.19 | 23.23 |
| Punto muerto (Nº lechones destetados) | 149.16 | 137.72 | -11.44 |
| Relación costo/beneficio | 1.30 | 1.41 | 0.11 |

EAC= esquema de alimentación convencional; EAN= esquema de alimentación convencional más la adición de nopal.

La alimentación de los cerdos es el rubro que afecta en mayor grado a los costos de producción, mismos que oscilan entre 65 y 95 %⁽¹⁾. Rubro que concuerda con los resultados de la presente investigación. La mayor eficiencia productiva (lechones destetados año⁻¹) de las cerdas bajo el EAN provocó: i) menor costo por lechón destetado, ii) reducción de los costos de producción y iii) mayor ganancia neta vs la productividad de las cerdas del EAC. Aspectos que resultaron en la mejoría de la relación costo beneficio: 1.41 % para el EAN vs 1.30 % para el EAC. Relaciones ambas dentro de los rangos reportados (1.04 a 2.11 %) en otras investigaciones^(31,32). Sin embargo, un sistema de producción se considera rentable cuando su relación costo beneficio es ≥ 1.15 %^(18,19). No obstante, la rentabilidad está determinada por diversas variables (aunadas a las ya analizadas y discutidas)^(30,32), tales como: las políticas de los precios de venta presentes en determinado tiempo, mismas que no puede ser controlada por los productores y la variación estructural del sistema de producción, tanto técnica como económica.

Se concluye que el esquema de alimentación para cerdas lactantes complementado con *O. ficus-indica* en base fresca además de ser una estrategia viable para mitigar la hipofagia fisiológica lactacional y la pérdida de peso corporal de la cerda durante la lactancia, mejora la productividad de éstas (mayor número de lechones destetados cerda⁻¹ año⁻¹) y ello, provoca la disminución del costo de producción del lechón destetado. Aspecto que garantiza una mayor rentabilidad del sistema.

Se agradece a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-UMSNH por las facilidades prestadas para la realización de la presente investigación y al CONACYT por el financiamiento otorgado para esta investigación.

Literatura citada:

1. Martínez HJ, Rebollar RS, Rojo RR, García SJ, Guzmán SE, Martínez, TJ, Díaz CM. Private profitability of swine farms in the South of the State of Mexico. Universidad y Ciencia 2008;24:117-124.
2. Sørensen JT, Edwards S, Noordhuizen J, Gunnarsson S. Animal production systems in the industrialised world. Rev Sci Tech Off int. Epiz 2006;25(2):493-503.
3. Boulot S, Despres Y, Badouard B, Sallé E. Characterization of "second parity syndrome" profiles and associated risk factors in French sow herds. J Recherche Porcine en France. 2013;45:79-80.
4. Foxcroft GR. Reproduction in farm animals in an era of rapid genetic change: Will genetic change outpace our knowledge of physiology? Reprod Domestic Anim 2012;47:313-319.

5. Gondret F, Lefaucheur L, Louveau L, Lebret B, Pichodo X, LeCozler Y. Influence of piglet birth weight on postnatal growth performance, tissue lipogenic capacity and muscle histological traits at market weight. *Livest Prod Sci* 2005;93:137–146.
6. Pére MC, Etienne M. Insulin sensitivity during pregnancy, lactation, and postweaning in primiparous gilts. *J Anim Sci* 2007;85(1):101-109.
7. Mosnier E, Etienne M, Ramaekers P, Pére MC. The metabolic status during the peri partum period affects the voluntary feed intake and the metabolism of the lactating multiparous sow. *Livest Sci* 2010;127:127-136.
8. Farmer C, Charagu P, Palin MF. Influence of genotype on metabolic variables, colostrum and milk composition of primiparous sows. *Can J Anim Sci* 2007;87:511-515.
9. Ordaz OG, Juárez CA, García VA, Pérez SER, Ortiz RR. Efecto del número de parto sobre los principales indicadores reproductivos de las cerdas. *Rev Cient FCV-LUZ*. 2013;23:511-519.
10. Koketsu Y. Six component intervals of nonproductive days by breeding-female pigs on commercial farms. *J Anim Sci* 2005;83:1406–1412.
11. Patterson JL, Smit MN, Novak S, Wellen AP, Foxcroft GR. Restricted feed intake in lactating primiparous sows: I. Effects on sow metabolic state and subsequent reproductive performance. *Reprod Fert Develop* 2011;23:889–898.
12. Meunier SMS, Edwards SA, Robert S. Effect of dietary fiber on the behavior and health of the restricted fed sow. *Anim Feed Sci Technol* 2001;90:53-69.
13. Jha R, Berrocoso JFD. Dietary fiber and protein fermentation in the intestine of swine and their interactive effects on gut health and on the environment: A review. *Anim Feed Sci Technol* 2015;212:18-26.
14. Serena A, Hedemann MS, Bach Knudsen KE. Feeding high fiber diets changes luminal environment and morphology in the intestine of sows. *Livest Sci* 2007;109:15-117.
15. Ordaz OG, Juárez CA, Pérez SER, Román BRM, Ortiz RR. Effect of spineless cactus intake (*Opuntia ficus-indica*) on blood glucose levels in lactating sows and its impact on feed intake, body weight loss, and weaning-estrus interval. *Trop Anim Health Prod* 2017;49:1025–1033.
16. Deldicque L, Van Proeyen K, Ramaekers M, Pischel I, Sievers H, Hespel P. Additive insulinogenic action of *Opuntia ficus-indica* cladode and fruit skin extract and leucine after exercise in healthy males. *J Int Soc Sports Nutr* 2013;10:45.
17. Pérez SRE, Ordaz OG, Juarez CA, Roman BMR, Ortiz RR. Validation of a commercial hand-held human electronic glucose meter for use in pigs. *Inter J Pure & Applied Biosci* 2016;4(4):1-7.

18. Rouco YA, Muñoz A. Análisis de costes. En: Producir carne de cerdo en el siglo XXI, generando un nuevo orden zootécnico. Muñoz, L.A. Acalanthis (ed.). Madrid, España 2006;525.
19. Bobadilla SEE, Rouco YA, García GJ, Martínez CFE. Rentabilidad y costos de producción en granjas porcinas productoras de lechón, en el centro del estado de México. Ciencia Agrícola 2011;20:87-95.
20. Lovise ST, Helen AG, Petter NK, Hetland H, Framstad T. Pea starch meal as a substitute for cereal grain in diets for lactating sows: the effect on sow and litter performance. Livest Sci 2013;157:210-217.
21. Huang FR, Liu HB, Sun HQ, Peng J. Effects of lysine and protein intake over two consecutive lactations on lactation and subsequent reproductive performance in multiparous sows. Livest Sci 2013;157:482-489
22. Halmi BS, Benlaksira B, Bechtarzi K, Berouel K, Serakta M, Richi F, *et al.* Pharmacotoxicological study of *Opuntia ficus indica* L. aqueous extract in experimental animal. Inter. J Med Arom Plants 2013;3(3):375-381.
23. Shapiro K, Gong WC. Natural products used for diabetes. J Am Pharm Assoc 2002;42(2):217-26.
24. Nuñez LMA, Paredes LO, Reynoso CR. Functional and hypoglycemic properties of nopal cladodes (*O. ficus-indica*) at different maturity stages using *in vitro* and *in vivo* tests. J Agric Food Chem 2013;61:10981–10986.
25. Alarcón AFJ, Valdez AA, Xolalpa MS, Banderas DT, Jiménez EM, Hernández GE, Román RR. Hypoglycemic activity of two polysaccharides isolated from *Opuntia ficus-indica* and *Opuntia streptacantha*. Proc Western Pharmacol Soc 2003;46:139-142.
26. Molist F, Gómez A, Gasa J, Hermes RG, Manzanilla EG, Anguita M, Pérez JF. Effects of the insoluble and soluble dietary fibre on the physicochemical properties of digesta and the microbial activity in early weaned piglets. Anim Feed Sci Technol 2009;149:346–353.
27. Chen XB, Mao LQ, Che B, Yu J, He J, Yu GQ, Han ZQ, Huang P, Zheng D, Chen W. Impact of fiber types on gut microbiota, gut environment and gut function in fattening pigs. Anim Feed Sci Technol 2014;195:101–111.
28. Soede NM, Langendijkb P, Kempa B. Reproductive cycles in pigs. Anim Reprod Sci 2011;124:251–258.
29. Ortiz RR, Orozco GA, Val AD, Portillo ML, Pérez SER. Efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) a la dieta de cerdas lactantes sobre la producción y calidad de la leche. Nova Scientia 2017;18(9):290-312.

30. Bobadilla SEE, Martínez CFE. Porcicultura Mexicana: Auge y crisis de un sector. Universidad Autónoma del Estado de México. Capítulo 5: Variables macroeconómicas y su relación con la demanda y oferta del cerdo en México. 2013;5:101-119.
31. De-Caro A. Efecto de los factores técnico-económicos sobre el resultado de la empresa porcina. Avances Tecnol Porcina 2004;1:53-60.
32. Bobadilla SEE, Rebollar RS, Rouco YA, Martínez CFE, Determinación de costos de producción en granjas productoras de lechón. Rev Mex Agronegocios 2013;32:268-279.