



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD**

**GANADERÍA**

## **MODELOS DE EVALUACIÓN ECONÓMICA DE PROBLEMAS AL PARTO EN GRANJAS PORCINAS SEMITECNIFICADAS**

**DANIEL ALONSO DOMÍNGUEZ OLVERA**

**T E S I S**  
**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL**  
**PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**DOCTOR EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO**

**2022**



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**  
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

La presente tesis titulada: **“Modelos de evaluación económica de problemas al parto en granjas porcinas semitecnificadas”** realizada por el estudiante: **“Daniel Alonso Domínguez Olvera”** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS  
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
GANADERÍA

CONSEJO PARTICULAR

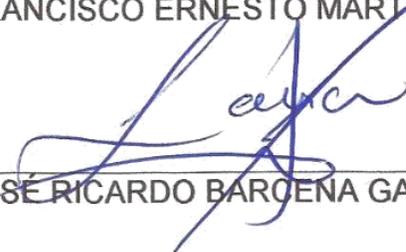
CONSEJERO

  
DR. JOSÉ GUADALUPE HERRERA HARO

ASESOR

  
DR. FRANCISCO ERNESTO MARTÍNEZ CASTAÑEDA

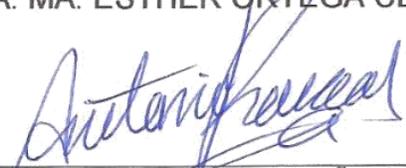
ASESOR

  
DR. JOSÉ RICARDO BARCEÑA GAMA

ASESORA

  
DRA. MA. ESTHER ORTEGA CERRILLA

ASESOR

  
DR. ANTONIO ROUCO YAÑEZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, julio de 2022

# MODELOS DE EVALUACIÓN ECONÓMICA DE PROBLEMAS AL PARTO EN GRANJAS PORCINAS SEMITECNIFICADAS

Daniel Alonso Domínguez Olvera, M.C.  
Colegio de Postgraduados, 2022

## RESUMEN

Evaluar la información que se genera en las granjas porcinas semitecnificadas, es clave para la toma de decisiones, adecuar el manejo de la piara, canalizar asesoría técnica, emprender acciones correctivas sobre alguna actividad o simplemente monitorear los resultados obtenidos del sistema en algún momento determinado; debido a que son sistemas complejos y constantemente se generan grandes cantidades de información. El desarrollo de modelos de evaluación y gestión de la información es un paso importante que debe ser implementado como parte de las labores habituales de la administración pecuaria. Los problemas al parto, tienen un efecto significativo sobre los resultados económicos de las granjas semitecnificadas, ya que estas se encuentran en una situación de vulnerabilidad ante cambios económicos de inflación, devaluación y crisis. Es por ello, que el objetivo de esta investigación fue implementar y generar distintos métodos de evaluación y gestión de la información para estimar las consecuencias de los problemas al parto y predecir su incidencia en granjas porcinas semitecnificadas. Se realizaron modelaciones predictivas, simulación de poblaciones, evaluaciones y ponderaciones económicas de las distintas variables productivas del sistema. Los resultados mostraron que las variables número de parto (NParto) peso y tamaño de la camada al nacimiento (PCN y TCN, respectivamente), fueron significantes en los modelos predictivos para categorizar la incidencia de los problemas al parto; NParto y TCN aumentaron la probabilidad de tener problemas al parto y por consiguiente un aumento de nacidos muertos. La Matriz de Análisis de Políticas permitió establecer el efecto de los problemas al parto en todos los índices económicos, como son: rentabilidad, punto de equilibrio, relación costo privado y utilidad neta. La obtención de las ponderaciones económicas para las variables permitió determinar el efecto de estas en el sistema, el TCN mantuvo una ponderación baja y según la función de beneficio, puede ser negativa. La información generada en esta investigación permitió la evaluación de las consecuencias de los problemas al parto en granjas porcinas semitecnificadas, y la integración de información para la toma de decisiones, así como, minimizar su impacto. Los modelos de predicción de nacidos muertos y problemas al parto permitieron integrar información para la detección de las cerdas vientre con mayor probabilidad de presentar estas condiciones. Las consecuencias de los problemas al parto se aprecian con el aumento de nacidos muertos lo que repercutió en los indicadores económicos de las granjas y según la función de beneficio, su ponderación económica siempre fue negativa, aunque existen otras variables que están teniendo un efecto acumulativo en los indicadores económicos aquí estudiados.

**Palabras clave:** Matriz de Análisis de Políticas, modelo predictivo, Ponderación económica.

# MODELS OF ECONOMIC ASSESSMENT OF PROBLEMS AT FARTH IN SEMITECHNIFIED SWINE FARMS

Daniel Alonso Domínguez Olvera, M.C.  
Colegio de Postgraduados, 2022

## ABSTRACT

Evaluating the information generated in semi-technified pig farms is key to decision-making, adapting herd management, channeling technical advice, undertaking corrective actions on some activity, or simply monitoring the results obtained from the system at any given time; because they are complex systems and large amounts of information are constantly generated. The development of evaluation models and information management is an important step that must be implemented as part of the everyday work of the livestock administration. Farrowing problems significantly affect the financial results of semi-technified farms since they are vulnerable to economic changes of inflation, devaluation, and crisis. This research aimed to implement and generate different evaluation and information management methods to estimate the consequences of farrowing problems and predict their incidence in semi-technified pig farms. Predictive modeling, population simulation, evaluations, and economic weighting of the different productive variables of the system were carried out. The results showed that the variables farrowing number (FN), birth weight (BW), and litter size at birth (LZB) were significant in the predictive models to categorize the incidence of problems at parturition. FN and LZB increased the probability of having delivery problems; therefore, an increase in stillbirths. The Policy Analysis Matrix made it possible to establish the effect of farrowing problems on all economic indices, such as profitability, break-even point, private cost ratio, and net utility. Obtaining the economic weights for the variables made it possible to determine their effect on the system. The LZB maintained a low weight, and depending on the benefit function; it can be damaging. The information generated in this research allowed the evaluation of the consequences of farrowing problems in semi-technified pig farms and the integration of information for decision making and minimizing its impact. The prediction models of stillbirths and farrowing problems allowed the integration of information to detect sows with a greater probability of presenting these conditions. The consequences of farrowing problems can be seen with the increase in stillbirths, which had repercussions on the economic indicators of the farms, and according to the profit function, its economic weighting was always negative. However, other variables have a cumulative effect on the economic indicators studied here.

**Key words:** Policy Analysis Matrix, predictive model, economic weighting.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Colegio de Postgraduados, al Campus Montecillo, al Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad, y en especial al Programa de Ganadería que junto con todos sus profesores marcaron mi formación profesional, a superarme en lo personal y haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios de doctorado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la financiación económica brindada durante la realización de mis estudios.

Al Dr. José G. Herrera Haro, por el apoyo durante mis estudios, por su excelente dirección para la realización del presente trabajo, por la amistad y consejos brindados.

A los integrantes de mi consejo, los doctores: Francisco Ernesto Martínez Castañeda, José Ricardo Barcena Gama, Ma. Esther Ortega Cerrilla y Antonio Rouco Yáñez, por su aporte intelectual para el desarrollo y mejora de esta investigación, además de las enseñanzas brindadas dentro y fuera del ámbito profesional.

A todos mis compañeros y amigos que siempre me han acompañado, apoyado y brindado su valiosa amistad, así como a los que conocí durante mis estudios de doctorado.

## DEDICATORIA

A mis padres y hermanos con gran cariño y admiración, por su apoyo incondicional y esfuerzos que realizan, lo que me ha inspirado y permitido culminar otra parte de mi formación profesional.

A mi linda familia

A mis amigos, por todas las experiencias compartidas y las palabras de aliento que siempre me ofrecieron.

## CONTENIDO

<b>RESUMEN .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>v</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>vi</b>
<b>LISTAS DE CUADROS .....</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>SIGLAS, ABREVIATURAS O GLOSARIO.....</b>	<b>xii</b>
<b>INTRODUCCIÓN GENERAL.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I. MODELO DE PREDICCIÓN PROBABILÍSTICO PARA LA SIMULACIÓN DE PROBLEMAS AL PARTO EN CERDAS MULTÍPARAS .....</b>	<b>3</b>
1.1 RESUMEN.....	3
1.2 ABSTRACT.....	4
1.3 INTRODUCCIÓN.....	5
1.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	7
1.4.1 Datos de estudio .....	7
1.4.2 Modelación.....	7
1.4.3 Simulación.....	8
1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	11
1.5.1 Datos de estudio .....	11
1.5.2 Modelación.....	12
1.5.3 Simulación.....	14
1.6 CONCLUSIONES .....	17
<b>CAPÍTULO II. MODELO DE PREDICCIÓN PROBABILÍSTICO DE LECHONES NACIDOS MUERTOS AL PARTO DE CERDAS MULTÍPARAS .....</b>	<b>18</b>

2.1 RESUMEN.....	18
2.2 ABSTRACT.....	19
2.3 INTRODUCCIÓN.....	20
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
2.4.1 Datos de estudio .....	22
2.4.2 Modelación.....	22
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	24
2.5.1 Datos de estudio .....	24
2.5.2 Modelo .....	25
2.6 CONCLUSIONES .....	32
<b>CAPÍTULO III. EFECTO DE PROBLEMAS AL PARTO EN LA RENTABILIDAD PRIVADA DE UNA GRANJA DE CERDAS VIENTRE USANDO UNA MATRIZ DE ANÁLISIS DE POLÍTICAS .....</b>	<b>33</b>
3.1 RESUMEN.....	33
3.2 ABSTRACT.....	34
3.3 INTRODUCCIÓN.....	35
3.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
3.4.1 Datos de estudio y MAP.....	37
3.4.2 Problemas al parto .....	38
3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	39
3.5.1 Datos de estudio .....	39
3.5.2 Problemas al parto .....	41
3.6 CONCLUSIONES .....	43
<b>CAPÍTULO IV. PESOS ECONÓMICOS DE VARIABLES PRODUCTIVAS DE IMPORTANCIA EN GRANJAS DE CERDAS VIENTRE .....</b>	<b>44</b>
4.1 RESUMEN.....	44

4.2 ABSTRACT.....	44
4.3 INTRODUCCIÓN.....	45
4.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	46
4.4.1 Análisis de información .....	46
4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	47
4.5.1 Variables .....	47
4.5.2 Pesos económicos .....	48
4.6 CONCLUSIONES .....	50
<b>CONCLUSIONES GENERALES .....</b>	<b>51</b>
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>52</b>

## LISTAS DE CUADROS

Cuadro 1. Tamaño de muestra requerido para estimar la media poblacional, con una precisión del $0.01 \bar{Y}$ .....	8
Cuadro 2. Variables distribuidas como Normal (N) y Gamma ( $\Gamma$ ), con su media y varianza de las variables paridad, tamaño (TCN) y peso (PCN) de la camada al nacimiento de la población original y de la población simulada. ....	9
Cuadro 3. Modelos basados en combinaciones entre variables para la simulación de probabilidades.....	10
Cuadro 4. Estadísticos descriptivos de las variables observadas.....	11
Cuadro 5. Probabilidad estimada de no presentar problemas al parto promedio, de cada población, el total de nacidos muertos y su cambio porcentual respecto a la población original (POB1).....	16
Cuadro 6. Estadísticos descriptivos y comparación de medias de las variables estudiadas.....	25
Cuadro 7. Coeficientes de regresión obtenidos de los grupos de prueba de la validación cruzada para los k grupos obtenidos de las variables significativas ( $p < 0.05$ ).....	26
Cuadro 8. Resultados de la validación cruzada, con $k = 5$ .....	28
Cuadro 9. Estructura del Costo Medio Total de producción a precios privados de la granja.....	39
Cuadro 10. Resumen de los cambios en el presupuesto a precios privados de la granja, según los diferentes niveles de problemas al parto (PP).....	41
Cuadro 11. Estadísticos descriptivos de las variables productivas importantes económicamente, de cerdas vientre.....	48
Cuadro 12. Pesos económicos de las variables de estudio según cada función.....	49

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Comportamiento de la probabilidad de no tener problemas al parto,  $P(Y=0 | X)$ , según la variable (línea azul), probabilidad de problemas al parto que representa un lechón nacido muerto (línea naranja). ..... 12
- Figura 2. Gráfica característica operativa del receptor (ROC, por sus siglas en inglés) del modelo que determina la probabilidad de una cerda a no tener problemas al parto, ROC=0.748. .... 14
- Figura 3. Curva característica operativa del receptor (ROC, por sus siglas en inglés) de la tercera iteración que mostró las mejores características predictivas para la presencia de nacidos muertos al parto, Área bajo la curva=0.750. .... 29
- Figura 4. Distribución observada (gráfico izquierdo) y predicha (gráfico derecho) de los partos en función de las variables peso de la camada al nacimiento (PCN), tamaño de la camada al nacimiento (TCN), número de parto y su incidencia de nacidos muertos (puntos rojos). .... 30
- Figura 5. Distribución de la probabilidad (gráficos predichos) de presencia de nacidos muertos al parto (PNM) en función de las variables peso de la camada al nacimiento (PCN), tamaño de la camada al nacimiento (TCN) y número de parto (NParto) de la población de estudio. .... 31
- Figura 6. Efecto de la incidencia de los problemas al parto en los distintos indicadores económicos. .... 42

## SIGLAS, ABREVIATURAS O GLOSARIO

<b>ABC</b>	Área bajo la curva.
<b>B</b>	Valor económico
<b>C</b>	Costos asociados al incremento en una unidad al carácter i.
<b>CV</b>	Coeficiente de variación.
<b>d</b>	Precisión de la estimación.
<b>EEM</b>	Error estándar de la media.
<b>FAO</b>	Organización para la Agricultura y la Alimentación.
<b>FAOSTAT</b>	Base de datos estadísticos corporativos de la Organización para la Agricultura y la Alimentación.
<b>GA</b>	Granja.
<b>I</b>	Ingreso.
<b>MAP</b>	Matriz de análisis de políticas.
<b>n<sub>i</sub></b>	Tamaño de muestra de la variable i.
<b>NM</b>	Nacidos muertos.
<b>NM</b>	Nacidos muertos.
<b>NMomias</b>	Número de momias.
<b>NMPA</b>	Nacidos muertos del parto anterior.
<b>NParto</b>	Número de parto.
<b>PCD</b>	Peso de la camada al destete.
<b>PCDPA</b>	Peso de la camada al destete del parto anterior.
<b>PCN</b>	Peso de la camada al nacimiento.
<b>PCNPA</b>	Peso de la camada al nacimiento del parto anterior.
<b>PCO</b>	Punto de corte óptimo.
<b>PE</b>	Punto de equilibrio.
<b>PEC.</b>	Peso económico / ponderación económica.
<b>PNM</b>	Presencia de lechones nacidos muertos al parto.
<b>PNPP</b>	Probabilidad de no tener problemas al parto.
<b>POB</b>	Población.
<b>PP</b>	Problemas al parto.

<b>PPA</b>	Partos por año.
<b>PPP</b>	Probabilidad de tener problemas al parto.
<b>Prob.</b>	Probabilidad de problemas al parto.
<b>RCP</b>	Relación costo privado.
<b>RE</b>	Resistencia a enfermedades.
<b>RLN</b>	Raza o línea.
<b>ROC</b>	Característica operativa del receptor.
<b>RP</b>	Rentabilidad privada.
<b>S<sup>2</sup><sub>n</sub></b>	Estimador de la varianza poblacional de la variable i.
<b>T<sup>2</sup><sub>α/2</sub></b>	Valor de tablas de t.
<b>TCD</b>	Tamaño de camada al destete.
<b>TCDPA</b>	Tamaño de la camada al destete del parto anterior.
<b>TCN</b>	Tamaño de la camada al nacimiento.
<b>TCNPA</b>	Tamaño de la camada al nacimiento del parto anterior.
<b>UN</b>	Utilidad neta.
<b>β<sub>NParto</sub></b>	Coeficiente de regresión de la variable número de parto.
<b>β<sub>PCN</sub></b>	Coeficiente de regresión de la variable peso de la camada al nacimiento.
<b>β<sub>TCN</sub></b>	Coeficiente de regresión de tamaño de la variable camada al nacimiento.

## INTRODUCCIÓN GENERAL

La población mundial de cerdos estimada en 2021 es de 1,364 millones de cabezas, y ha mantenido un crecimiento anual casi imperceptible (0.70 %) en los últimos 20 años, en contraste, el aumento anual en la producción de carne ha sido más alto (2.20 %) en el mismo periodo (FAO, 2022), esto se explica por una mejor eficiencia productiva. Un mínimo cambio en la eficiencia productiva en cualquiera de sus niveles, puede tener un efecto significativo en el valor total de la producción mundial. Pero, al igual que todos los sistemas de producción pecuaria, la porcicultura está sujeta a distintos problemas propios de un sistema de esa naturaleza, como los problemas sanitarios, genéticos, nutricionales, y de manejo (Muñoz-Espinoza *et al.*, 2016; Rivera *et al.*, 2011) y en lo particular los relacionadas con la administración y gestión de la información, entre otros (Díaz *et al.*, 2011; Caicedo *et al.*, 2012), que afectan directamente la eficiencia productiva, derivando en pérdidas económicas importantes.

El sistema porcino semitecnificado, es un esquema productivo que opera bajo diferentes niveles de tecnificación, lo que se puede traducir en menores niveles de productividad y rentabilidad; Alonso *et al.* (2006) mencionan que en este sistema se manejan menos animales que en el tecnificado (cuya cualidad es el uso de tecnología de punta y una producción a un mayor volumen) y mantiene conversiones alimenticias menos eficientes; generalmente, muestran deficiencias en varios niveles productivos, aunque la variabilidad de sus indicadores técnicos mantienen un amplio rango, que pueden repercutir en mayores costos totales y unitarios, lo que compromete su existencia, ya que es un sistema vulnerable ante cambios económicos de inflación, devaluación y crisis, entre otros (Jiménez-Jiménez *et al.*, 2019).

En las granjas de cerdas vientre, donde el objetivo productivo es obtener lechones al destete, esta eficiencia productiva se ve directamente afectada por la mortalidad de los lechones (Stalder, 2017; Martínez-Castañeda y Perea-Peña, 2012; Pomar y Pomar, 2005) y los problemas al parto, y en ese sentido, la asistencia técnica de la cerda al momento del parto es crucial para reducir el número de lechones nacidos muertos, ya que tienen un efecto acumulativo sobre los resultados económicos finales, mermando la eficiencia económica y comprometiendo su competitividad. Indicadores como la

rentabilidad privada, la relación costo privado, el punto de equilibrio y la utilidad neta, permiten evaluar de manera amplia las granjas, ya que son el resultado de la estimación de muchas variables (Matus y Puente, 1992).

La porcicultura de precisión, la cual se basa en las necesidades individuales de cada cerda, ha sido clave para la mejora e implementación de estos sistemas, ya que impulsa el desarrollo y mejora de tecnologías de la información. Para lograr su objetivo, la porcicultura de precisión se apoya en el desarrollo de modelos que integran y optimizan el uso de la información, propiciando avances que permiten adecuar el manejo de las piaras con base en las distintas necesidades individuales de los animales (Pomar y López, 2018). Existen modelos para predecir la incidencia de lechones muertos al parto, buscando canalizar la asistencia técnica a las necesidades de la cerda, mediante el conocimiento de los factores de riesgo que intervienen en el proceso del parto (Vanderhaeghe *et al.*, 2010).

Al igual que la población de cerdos, las bases de datos que contienen la información de los sistemas productivos porcinos, son bastos y requieren de grandes desarrollos informáticos para la gestión y análisis de esa información, tanto en los sistemas productivos, como en los administrativos, por ello, el objetivo de esta investigación fue implementar y generar distintos métodos de evaluación y gestión de la información para estimar las consecuencias de los problemas al parto y predecir su incidencia en granjas porcinas semitecnificadas.

# CAPÍTULO I. MODELO DE PREDICCIÓN PROBABILÍSTICO PARA LA SIMULACIÓN DE PROBLEMAS AL PARTO EN CERDAS MULTÍPARAS

## 1.1 RESUMEN

El objetivo de este estudio fue generar un modelo probabilístico de simulación, basado en información del parto de cerdas con distintas paridades, y determinar su efecto en la incidencia de lechones muertos al nacer (NM). Se analizaron 11 variables de 1,146 partos, en una granja vientre productora de lechones. La modelación se realizó con una regresión logística, problemas al parto (PP) como variable respuesta, el modelo únicamente incluyó las variables que fueron significativas. Para la simulación de la probabilidad de no tener PP (PNPP), se usaron los estadísticos descriptivos de la población observada, incluyendo un cambio de 10% sobre su media considerando sus distribuciones, en total 30,915 observaciones fueron agrupadas en 27 poblaciones. Únicamente las variables número de parto, tamaño y peso de camada al nacer (TCN y PCN), con medias de 5 partos, 10.53 animales y 14.67 kg, tuvieron un efecto ( $p < 0.05$ ) sobre PNPP. Cuando la PNPP fue de 0%, representó en 1.43 lechones NM. La población cuya media de TCN fue menor y PCN mayor, tuvieron la mayor PNPP, con una reducción de al menos 30% los NM. Las poblaciones con TCN mayor y PCN menor, mostraron las menores PNPP, resultando en un aumento de 85% los NM.

**Palabras clave:** modelación, modelo probabilístico, población, *Sus scrofa domesticus*.

## 1.2 ABSTRACT

The objective of this study was to generate a probabilistic simulation model, based on information from the farrowing of sows with different parities, and to determine its effect on the incidence of dead piglets at birth (NM). Eleven variables from 1,146 farrowings were analyzed in a piglet-producing womb farm. The modeling was performed with a logistic regression, delivery problems (PP) as the response variable, the model only included the variables that were significant. For the simulation of the probability of not having PP (PNPP), the descriptive statistics of the observed population were used, including a change of 10% on its mean considering their distributions, in total 30,915 observations were grouped in 27 populations. Only the variables calving number, size and weight of litter at birth (TCN and PCN), with means 5, 10.53 and 14.67, had an effect ( $p < 0.05$ ) on PNPP. When the PNPP was 0%, it represented 1.43 NM. The population whose mean TCN was lower and PCN higher, had the highest PNPP, with a reduction of at least 30% in NM. Populations with higher TCN and lower PCN showed the lowest PNPP, resulting in an 85% increase in NM.

**Key words:** modeling, probabilistic model, population, *Sus scrofa domesticus*.

### 1.3 INTRODUCCIÓN

La implementación de las nuevas tecnologías de la información y comunicación en la porcicultura, han sido clave para su desarrollo a nivel mundial (Pomar y López, 2018). En 2018, esta mantuvo un inventario de 1.5 mil millones de cabezas (FAOSTAT, 2018). Con esos números, el mínimo cambio en cualquier factor que interviene en el sistema, tiene un efecto importante en el valor total de la producción. La eficiencia productiva de la porcicultura, como cualquier sistema pecuario, está sujeta al cambio en los diversos factores, como son, por mencionar algunos, la reproducción (Caicedo *et al.*, 2012), el mejoramiento genético (Ghio y de la Sota, 2018), la nutrición, la bioseguridad (Sánchez y López, 2019), entre otros (Caicedo *et al.*, 2012); estos afectan directamente los resultados productivos y, por lo tanto, económicos del sistema (Muñoz-Espinoza *et al.*, 2016).

En las granjas de cerdas vientre, donde el objetivo productivo son los lechones al destete, esa eficiencia productiva se ve directamente afectada por la mortalidad de los lechones (Stalder, 2017; Martínez-Castañeda y Perea-Peña, 2012; Pomar y Pomar, 2005), en ese sentido, los problemas al parto, consecuencia de cualquier alteración del proceso natural que evita al lechón nacer de forma adecuada y muera (Toledo y Crespo, 2016), tienen un efecto directo sobre los resultados económicos de las unidades de explotación. La anoxia, es la principal causa de mortalidad de lechones al nacimiento, ocurre cuando hay una ruptura del cordón umbilical o desprendimiento precoz de la placenta (Toledo y Crespo, 2016). Debido a la naturaleza de los problemas al parto, la porcicultura de precisión, toma importancia ya que trata de realizar el manejo de las cerdas ajustándose a las necesidades individuales de los animales (Pomar y Lopez, 2018), en ese sentido, Sabogal (2015), menciona que la asistencia técnica de la cerda al momento del parto, reduce el número de lechones nacidos muertos, sin embargo, falta un eslabón que ayude a canalizar esa asistencia técnica a las necesidades de la cerda al momento del parto, y en específico cuando sucede un problema al parto, ya que no se han determinado qué características afectan la probabilidad de una cerda de presentar esa eventualidad.

Es por ello, que el objetivo de este estudio fue generar un modelo probabilístico de los problemas al parto (PP) en cerdas vientre y determinar el efecto de distintas

características, propias y circunstanciales de la cerda, en la incidencia de nacidos muertos (NM) usando el modelo probabilístico.

## 1.4 MATERIALES Y MÉTODOS

### 1.4.1 Datos de estudio

Se analizaron los datos de 1,146 partos, de una granja productora de lechones para el abasto, ubicada en el Estado de México, recolectados durante los años 2010 a 2013, se consideraron en total 11 variables, dos propias del animal (raza o línea y número de parto), cuatro relacionadas con el parto (tamaño de camada al nacimiento, problema al parto, número de momias y peso de la camada al nacimiento) y cinco variables relacionadas con el desempeño del parto anterior (tamaño y peso de camada al nacimiento y al destete anterior, así como si tuvo problemas al parto anterior).

### 1.4.2 Modelación

La modelación se realizó con el 100% de los datos, se analizaron con el sistema SAS/STAT® 9.4, usando regresión logística (Ecuación 1), en el cual la variable respuesta de tipo dicotómica (Y1) fue problemas al parto (cero cuando no hubo nacidos muertos y uno de otra manera). Para la construcción del modelo de simulación, de las 11 variables analizadas, solo se incluyeron las que mostraron un efecto significativo ( $p < 0.05$ ) en la variable respuesta. Para determinar el potencial de predicción del modelo, se consideró el valor del área bajo la curva “Característica Operativa del Receptor” (ROC, por sus siglas en inglés), el cual toma valores de cero a uno, donde los valores cercanos a uno tienen un mejor potencial predictivo. De igual manera, se comparó el valor de lechones nacidos muertos observados con los nacidos muertos esperados. En este proceso de modelación, la probabilidad de no presentar problemas al parto (PNPP), ocurre cuando la variable respuesta toma el valor de cero.

$$P(Y = 0|X) = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p)} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:  $P(Y=0|X)$ : la probabilidad de que no haya problemas al parto (PNPP), o sea, tome valor cero, dado X. Por lo tanto, la probabilidad de que haya problemas al parto, dado X es:  $1 - P(Y=0|X)$ .

La inferencia del modelo, se determinó mediante el tamaño de muestra mínimo que aseguró los datos fueron suficientes, para ello, se obtuvieron los estimadores de varianza de cada variable y se calculó el tamaño de muestra, suponiendo que los 1,146 datos fueron obtenidos mediante muestreo aleatorio de la población (Sukhatme y Sukhatme, 1970), (Ecuación 2).

$$n = \frac{t_{\alpha/2}^2 S_N^2}{d^2} \text{ Ecuación (2)}$$

Donde: n= Tamaño de la muestra de la variable i;  $S_N^2$ = Estimador de varianza poblacional de la variable i;  $t_{\alpha/2}$ =Valor de tablas (95%); d= Precisión de la estimación (0.5% de la media).

**Cuadro 1. Tamaño de muestra requerido para estimar la media poblacional, con una precisión del 0.01  $\bar{Y}$ .**

Variable	Tamaño de muestra	Tamaño de muestra
	calculado	obtenido
Paridad	846.02	1,145
Tamaño de camada al nacimiento	396.89	1,145
Peso de camada al nacimiento	584.34	1,145

### 1.4.3 Simulación

La simulación se realizó con el programa R Core Team © 2012, con el procedimiento de generación de poblaciones aleatorias, función que considera la media, la varianza y la distribución de cada variable, las cuales, para tener una simulación adecuada, se mantuvieron originales a la población observada, a excepción de la media en la que se aplicó un cambio en 10% y una disminución igual; en las tres variables; se probó la suposición de distribución normal para las variables tamaño y peso de la camada al nacimiento, y distribución Gamma Incompleta para la variable paridad, además se calcularon la desviación estándar y varianza (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Variables distribuidas como Normal (N) y Gamma ( $\Gamma$ ), con su media y varianza de las variables paridad, tamaño (TCN) y peso (PCN) de la camada al nacimiento de la población original y de la población simulada.**

Variable	Población	
	Original	Simulada
Partos ( $X_1$ )	$X_1 \sim \Gamma(2.81, 3.09^2)$	$X_1 \sim \Gamma(2.81 \pm 10\%, 3.09^2)$
TCN, Lechones ( $X_2$ )	$X_2 \sim N(10.3, 5.3^2)$	$X_2 \sim N(10.3 \pm 10\%, 5.3^2)$
PCN, kg ( $X_3$ )	$X_3 \sim N(14.6, 11.1^2)$	$X_3 \sim N(14.6 \pm 10\%, 11.1^2)$

Una vez determinados las condiciones de la simulación, se produjeron seis vectores de datos, dos por cada variable (una por cada condición, otra con la media aumentada en 10% y otra con la media disminuida 10%), siendo un total 6,870 datos. Para aplicar el modelo probabilístico se realizaron combinaciones lineales aleatorias entre los vectores de datos observados y los simulados, en total se consideraron 27 poblaciones (POB), de las cuales 26 fueron resultado de las combinaciones y una de la observada (Cuadro 3). Posteriormente, se determinó, mediante una prueba de comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ), la combinación de variables que presentaban la mayor probabilidad (PPNP), resultando en 30,915 probabilidades estimadas. Cada probabilidad de la población de problemas fue calculada por la combinación lineal de los vectores de datos de la variable  $X_1$ ,  $X_2$  y  $X_3$ . En el Cuadro 3 se presentan las combinaciones con las cuales se realizó la simulación de probabilidad de la población.

**Cuadro 3. Modelos basados en combinaciones entre variables para la simulación de probabilidades.**

POB1=	$\underline{X}_{10}\underline{X}_{20}\underline{X}_{30}$	POB2=	$\underline{X}_{10}\underline{X}_{20}\underline{X}_{3A}$	POB3=	$\underline{X}_{10}\underline{X}_{20}\underline{X}_{3B}$
POB4=	$\underline{X}_{10}\underline{X}_{2A}\underline{X}_{30}$	POB5=	$\underline{X}_{10}\underline{X}_{2A}\underline{X}_{3A}$	POB6=	$\underline{X}_{10}\underline{X}_{2A}\underline{X}_{3B}$
POB7=	$\underline{X}_{10}\underline{X}_{2B}\underline{X}_{30}$	POB8=	$\underline{X}_{10}\underline{X}_{2B}\underline{X}_{3A}$	POB9=	$\underline{X}_{10}\underline{X}_{2B}\underline{X}_{3B}$
POB10=	$\underline{X}_{1A}\underline{X}_{20}\underline{X}_{30}$	POB11=	$\underline{X}_{1A}\underline{X}_{20}\underline{X}_{3A}$	POB12=	$\underline{X}_{1A}\underline{X}_{20}\underline{X}_{3B}$
POB13=	$\underline{X}_{1A}\underline{X}_{2A}\underline{X}_{30}$	POB14=	$\underline{X}_{1A}\underline{X}_{2A}\underline{X}_{3A}$	POB15=	$\underline{X}_{1A}\underline{X}_{2A}\underline{X}_{3B}$
POB16=	$\underline{X}_{1A}\underline{X}_{2B}\underline{X}_{30}$	POB17=	$\underline{X}_{1A}\underline{X}_{2B}\underline{X}_{3A}$	POB18=	$\underline{X}_{1A}\underline{X}_{2B}\underline{X}_{3B}$
POB19=	$\underline{X}_{1B}\underline{X}_{20}\underline{X}_{30}$	POB20=	$\underline{X}_{1B}\underline{X}_{20}\underline{X}_{3A}$	POB21=	$\underline{X}_{1B}\underline{X}_{20}\underline{X}_{3B}$
POB22=	$\underline{X}_{1B}\underline{X}_{2A}\underline{X}_{30}$	POB23=	$\underline{X}_{1B}\underline{X}_{2A}\underline{X}_{3A}$	POB24=	$\underline{X}_{1B}\underline{X}_{2A}\underline{X}_{3B}$
POB25=	$\underline{X}_{1B}\underline{X}_{2B}\underline{X}_{30}$	POB26=	$\underline{X}_{1B}\underline{X}_{2B}\underline{X}_{3A}$	POB27=	$\underline{X}_{1B}\underline{X}_{2B}\underline{X}_{3B}$

POB, población; A, población simulada con media 10% menor; O, población observada; B, población simulada con media 10% mayor.

El efecto de los problemas al parto se estimó de la población original, como el promedio de lechones nacidos muertos debido a problemas al parto. Este promedio se multiplicó por la probabilidad estimada con el modelo probabilístico.

## 1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1.5.1 Datos de estudio

Los datos originales fueron obtenidos de una base de datos de las razas Landrace, Yorkshire y sus cruzas (Cuadro 4). El PCN (14.67 kg) es similar al informado por Rendón-del Águila *et al.* (2017) de 13.41 kg con cerdas F1 (Landrace X Large White), pero es considerado bajo comparado con el reportado por Salazar-Villanueva (2018) de 20.79 kg, en un estudio basado en Meta-análisis que incluyó varias razas y líneas genéticas. El promedio de peso por animal al nacimiento en la población original fue de 1.39 kg, valor superior al descrito por Knol *et al.* (2002) en animales Large White X Pietrain, indicando que pesos menores a 1.125 kg representan problemas para que los lechones mantengan una adecuada temperatura corporal. Mediante la comparación de medias pareadas, los datos no mostraron diferencias ( $p>0.05$ ) entre variables del parto en curso y variables del parto anterior.

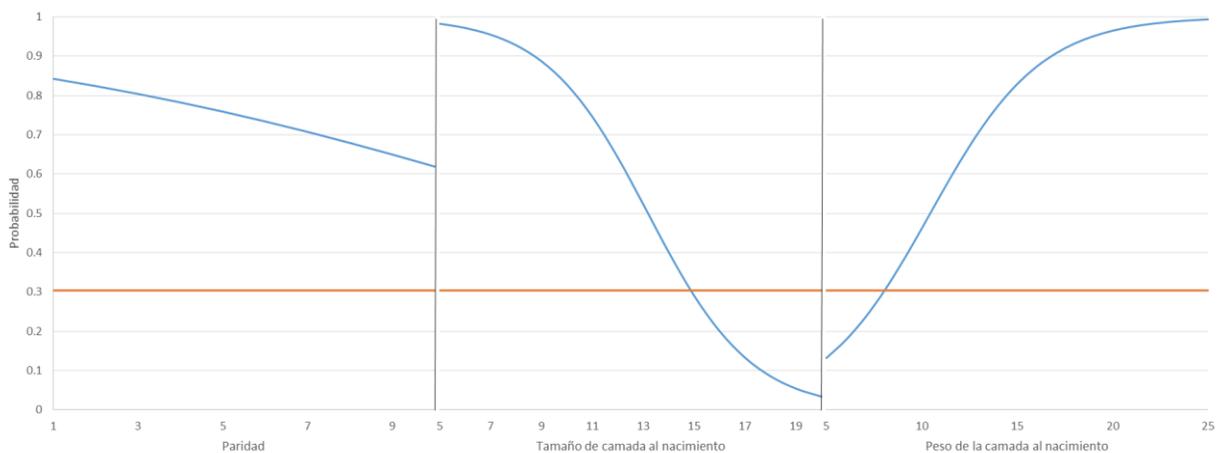
**Cuadro 4. Estadísticos descriptivos de las variables observadas.**

n=1145	Variable	Media	EEM
Variables del parto	Paridad	5.00	0.08
	TCN, n	10.53	0.09
	Momias, n	0.59	0.05
	PCN, Kg	14.67	0.12
	PP, %	23.15	1.22
Variables del parto anterior	TCN, n	7.90	0.16
	PCN, Kg	10.95	0.22
	TCD, n	6.71	0.13
	PCD, Kg	41.63	0.77
	PP, %	16.32	0.92

Coefficiente de Variación (CV). Error Estándar de la Media (EEM). Tamaño de la Camada al nacimiento (TCN). Peso de la camada al nacimiento (PCN). Problemas al parto (PP).

### 1.5.2 Modelación

En la modelación probabilística únicamente las variables de paridad, TCN y PCN fueron significativas ( $p < 0.05$ ), por lo tanto, fueron las únicas que se utilizaron en el modelo de simulación. En la Figura 1 se muestra el comportamiento de la probabilidad de no tener problemas al parto, modificando las variables y asumiendo las otras se mantienen fijas. Las líneas naranja muestran la probabilidad “frontera”, en la que habrá la muerte de un lechón derivada de un problema al parto. La probabilidad de no tener problemas al parto disminuye conforme aumenta la paridad, sin llegar a la frontera; además, se muestra el comportamiento de la PNPP acorde al aumento en el TCN, se observa que en camadas más pequeñas la probabilidad de problemas al parto (PPP) se reduce a casi cero,  $P(Y=1 | X)$ , y TCN con más de 15 lechones, asegura habrá al menos un lechón muerto debido a problemas al parto. El PCN tiene un efecto positivo en la PNPP; a partir de 8 kg de peso total de la camada, se observa que la probabilidad de no tener problemas al parto supera la frontera (Figura 1).

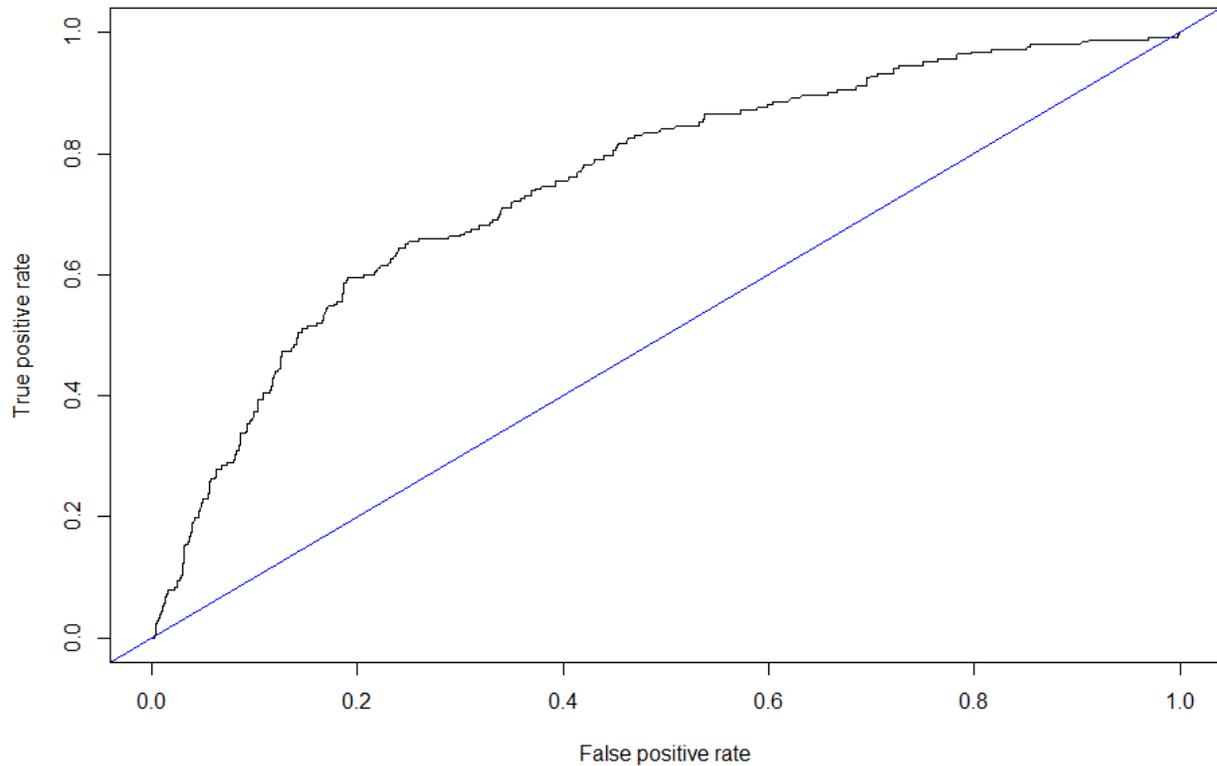


**Figura 1. Comportamiento de la probabilidad de no tener problemas al parto,  $P(Y=0 | X)$ , según la variable (línea azul), probabilidad de problemas al parto que representa un lechón nacido muerto (línea naranja).**

Como se menciona anteriormente, el modelo de regresión logística para predecir no suceda un problema al parto, está definido únicamente por tres variables, y la expresión se muestra en la Ecuación 3:

$$P(Y = 0|X) = \frac{\exp(1.81-0.13X_1-0.49X_2+0.35X_3)}{1 + \exp(1.81-0.13X_1-0.49X_2+0.35X_3)} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Con base en el modelo probabilístico generado, la PNPP en la población original, donde ninguna variable se ha modificado, fue de 0.77, valor similar al observado de 0.75. A su vez, el número estimado de lechones nacidos muertos usando el modelo probabilístico fue de 370.29, acertando el resultado en el 70.90% de los casos y el observado fue de 374. El área bajo la curva característica operativa del receptor, es una alternativa robusta e intuitiva para la descripción y comparación de modelos clasificatorios (Polo y Miot, 2020), fue de 0.748 (Figura 2), Un valor considerado bueno al compararlo con el área bajo la curva de distintos modelos probabilísticos. Villalobos y Sanchez-Bayle (2017), obtuvieron valores de 0.65 a 0.88 al construir modelos probabilísticos para el diagnóstico de infecciones bacterianas en lactantes febriles utilizando distintas variables, logrando obtener buenas predicciones a partir de estos. Swets (1979), interpreta el área bajo la curva (ABC) de la gráfica ROC, como baja exactitud al tratar de predecir cuándo toma valores de 0.5 a 0.7; moderada de 0.7 a 0.9; y un valor mayor de 0.9 indica exactitud alta. Por otro lado, Metz (1978) definió la clasificación para el ABC del ROC, como: 0.5 a 0.6 (pésimo), 0.6 a 0.7 (malo), 0.7 a 0.8 (pobre), 0.8 a 0.9 (bueno) y mayor de 0.9 (excelente). Menciona que una ABC de 0.70, refleja una probabilidad de clasificación correcta en el 70% de los casos.



**Figura 2. Gráfica característica operativa del receptor (ROC, por sus siglas en inglés) del modelo que determina la probabilidad de una cerda a no tener problemas al parto, ROC=0.748.**

### 1.5.3 Simulación

Los valores de las probabilidades obtenidas varían desde 0.57, con paridad, TCN y PCN de 2.81 partos, 11.31 lechones y 13.24 kg, respectivamente, hasta 0.85, con 3.08 partos, 9.21 lechones y 15.93 kg, en las mismas variables. La media observada de mortalidad de lechones al nacimiento, fue de 2.90%, valor menor al reportado por Llanes-Chalé *et al.* (2007), con dos tipos de inseminación artificial (convencional 6.04% e intrauterina 5.84%) en condiciones de trópico. La mortalidad al nacimiento observada es cercana con la reportada por Velásquez *et al.* (2016), de 3.41% antes de la presencia del PRRS y 10.01% después. El efecto de las distintas poblaciones simuladas sobre los nacidos muertos varía desde 2.10% (27.58% menos respecto la media observada) hasta un aumento de 5.56%, lo que represento 705.19 lechones nacidos muertos (Cuadro 5).

Las poblaciones POB6, POB15 y POB24 tienen una PNPP media mayor a 0.84, diferente ( $p < 0.05$ ) a todas las demás poblaciones, pero sin diferencias entre sí. Estas poblaciones tienen en común el perfil de las variables TCN y PCN, siendo 9.21 lechones y 15.93 kg, respectivamente. La variable paridad no influyó, en esta diferencia, ya que se tienen los tres niveles que pudo tomar ( $p < 0.05$ ) en el resultado de la media de PNPP, y reducen la incidencia de nacidos muertos en al menos 30%. En contraste las PNPP de las poblaciones POB8, POB17 y POB26, son la más bajas, con mayor número de nacidos muertos, más del 85%, respecto a los nacidos muertos observados. Al igual que las poblaciones con mejores probabilidades, estas últimas no presentan un efecto por la variable paridad, pero sí tienen el valor más alto de TCN y esta combinado con el PCN en su valor más bajo, 11.31 y 13.24, respectivamente (Cuadro 5).

**Cuadro 5. Probabilidad estimada de no presentar problemas al parto promedio, de cada población, el total de nacidos muertos y su cambio porcentual respecto a la población original (POB1).**

ID de la población	Valores promedio			PNPP	Nacidos Muertos (%)	Cambio porcentual
	Paridad	TCN	PCN			
POB1	2.81	10.27	14.59	0.77 <sup>bcd</sup>	2.90	0
POB2	2.81	10.27	13.24	0.65 <sup>g</sup>	4.41	52
POB3	2.81	10.27	15.93	0.79 <sup>bc</sup>	2.73	-6
POB4	2.81	9.21	14.59	0.80 <sup>bc</sup>	2.54	-12
POB5	2.81	9.21	13.24	0.73 <sup>ef</sup>	3.41	18
POB6	2.81	9.21	15.93	0.85 <sup>a</sup>	1.95	-33
POB7	2.81	11.31	14.59	0.66 <sup>g</sup>	4.35	50
POB8	2.81	11.31	13.24	0.57 <sup>gh</sup>	5.44	88
POB9	2.81	11.31	15.93	0.72 <sup>f</sup>	3.57	23
POB10	2.51	10.27	14.59	0.78 <sup>bc</sup>	2.82	-3
POB11	2.51	10.27	13.24	0.66 <sup>g</sup>	4.30	49
POB12	2.51	10.27	15.93	0.79 <sup>bc</sup>	2.64	-9
POB13	2.51	9.21	14.59	0.80 <sup>b</sup>	2.49	-14
POB14	2.51	9.21	13.24	0.74 <sup>def</sup>	3.33	15
POB15	2.51	9.21	15.93	0.85 <sup>a</sup>	1.89	-35
POB16	2.51	11.31	14.59	0.66 <sup>g</sup>	4.29	48
POB17	2.51	11.31	13.24	0.58 <sup>gh</sup>	5.36	85
POB18	2.51	11.31	15.93	0.72 <sup>f</sup>	3.51	21
POB19	3.08	10.27	14.59	0.77 <sup>cde</sup>	2.97	3
POB20	3.08	10.27	13.24	0.65 <sup>g</sup>	4.45	54
POB21	3.08	10.27	15.93	0.78 <sup>bc</sup>	2.76	-5
POB22	3.08	9.21	14.59	0.80 <sup>bc</sup>	2.59	-10
POB23	3.08	9.21	13.24	0.73 <sup>f</sup>	3.45	19
POB24	3.08	9.21	15.93	0.84 <sup>a</sup>	1.99	-31
POB25	3.08	11.31	14.59	0.65 <sup>g</sup>	4.43	53
POB26	3.08	11.31	13.24	0.57 <sup>h</sup>	5.52	90
POB27	3.08	11.31	15.93	0.71 <sup>f</sup>	3.66	26

Medias con distinta literal en columna, son diferentes ( $p < 0.05$ ) Tukey. Población (POB). Tamaño de camada al nacimiento (TCN). Peso de la camada al nacimiento (PCN). Probabilidad de problemas al parto (PPP).

## **1.6 CONCLUSIONES**

El modelo puede aplicarse a poblaciones actuales debido a que no existió diferencia en los parámetros de tiempo. La modelación del fenómeno en estudio, basada en técnicas de simulación, fue una buena herramienta para el análisis de la información y permitió determinar los aspectos a mejorar en las unidades de producción porcícola, lo cual puede conducir a una mejor eficiencia productiva. Las variables peso de la camada y tamaño de la camada al nacimiento fueron las principales variables que influyeron en la probabilidad de problemas al parto. Camadas pesadas, pero pequeñas presentan una baja probabilidad de problemas al parto, lo que resulta en menos nacidos muertos. En contraste, camadas grandes, pero menos pesadas aumentaron los nacidos muertos.

## CAPÍTULO II. MODELO DE PREDICCIÓN PROBABILÍSTICO DE LECHONES NACIDOS MUERTOS AL PARTO DE CERDAS MULTÍPARAS

### 2.1 RESUMEN

La asistencia al parto de las cerdas vientre, ayuda a reducir los lechones nacidos muertos, pero requiere tener información de las hembras que probablemente tendrán problemas en esta etapa reproductiva. El objetivo de este estudio fue generar un modelo de predicción bayesiano para determinar los factores que influyen en la presencia de lechones nacidos muertos al parto (PNM). Se utilizaron los datos de 2,415 partos de 822 cerdas vientre provenientes de tres granjas, que incluyeron 11 variables relacionadas con el parto actual y el desempeño del parto anterior y la variable binaria PNM (1: presencia y 0: de otra manera). Los resultados mostraron que únicamente el peso al nacimiento (PCN), tamaño de la camada al nacimiento (TCN) y número de parto (NParto) influyeron significativamente en PNM. Además, existieron diferencias en el PNM entre las poblaciones. Se obtuvo un punto de corte óptimo de 0.39, lo que representó la probabilidad de frontera de decisión, donde se clasifica el fenómeno en presencia= 1 y 0= de otra manera. El modelo presentó una certeza en la clasificación de PNM en el 73.5 % de los casos, por lo que se concluye que el modelo tuvo una buena eficiencia productiva.

**Palabras clave:** regresión logística, validación cruzada, *Sus scrofa domesticus*.

## 2.2 ABSTRACT

Assisting sows during farrowing helps to reduce stillborn piglets, but requires information on females that are likely to have problems in this reproductive stage. The objective of this study was to generate a Bayesian prediction model to determine the factors that influence the presence of piglets born dead at farrowing (SNP). Data from 2,415 farrowings of 822 sows from three farms were used, which included 11 variables related to current farrowing and previous farrowing performance and the binary variable PNM (1: presence and 0: otherwise). The results showed that only birth weight (PCN), litter size at birth (TCN) and parturition number (NParto) significantly influenced PNM. In addition, there were differences in PNM between populations. An optimal cut-off point of 0.39 was obtained, which represented the decision frontier probability, where the phenomenon is classified in presence = 1 and 0 = otherwise. The model presented a certainty in the classification of PNM in 73.5% of the cases, so it is concluded that the model had a good productive efficiency.

**Keywords:** logistic regression, cross-validation, *Sus scrofa domesticus*.

## 2.3 INTRODUCCIÓN

La población mundial de cerdos en la presente década se estima en 1,364 millones de cabezas, con un crecimiento anual casi imperceptible (0.70 %) en los últimos 20 años, pero con un aumento en la producción de carne de 2.20 %, en el mismo periodo (FAO, 2022), explicado por una mejor eficiencia productiva. La eficiencia de este sistema pecuario depende principalmente de algunos factores relacionados con la reproducción (Caicedo *et al.*, 2012), avances genéticos (Ghio y de la Sota, 2018), nutrición y bioseguridad (López y Sánchez, 2019). En este sentido, la porcicultura de precisión, basada en las necesidades individuales de la cerda, ha sido clave para la mejora de estos sistemas, ya que se apoya en el desarrollo y mejora de tecnologías de la información. Para lograr su objetivo, la porcicultura de precisión se ha apoyado en el desarrollo de modelos que integran y optimizan el uso de esa información, propiciando avances que permiten adecuar el manejo de las pjaras a las distintas necesidades individuales de los animales (Pomar y López, 2018).

En las granjas de cerdas vientre, donde el objetivo productivo es obtener lechones al destete, la eficiencia productiva se ve directamente afectada por la mortalidad de los lechones (Stalder, 2017; Martínez-Castañeda y Perea-Peña, 2012; Pomar y Pomar, 2005) los problemas al parto, consecuencia de cualquier alteración del proceso natural que evita al lechón nazca de forma adecuada y muera (Castillo y Vicente, 2016). La anoxia, es la principal causa de mortalidad de lechones al nacimiento, ocurre cuando hay una ruptura del cordón umbilical o desprendimiento precoz de la placenta (Castillo y Vicente, 2016). Debido a la naturaleza de los problemas al parto, la porcicultura de precisión permite realizar un mejor manejo de las cerdas, ajustado a sus necesidades individuales (Pomar y López, 2018), y en ese sentido, la asistencia técnica de la cerda al momento del parto es crucial para reducir el número de lechones nacidos muertos.

La técnica estadística de regresión logística, permite predecir el factor de riesgo de una cerda a presentar lechones nacidos muertos al parto (Vanderhaeghe *et al.*, 2010), expresando la variable respuesta como binaria en función de las variables explicativas (Londoño-Parra *et al.*, 2018). Existen modelos para predecir la incidencia de lechones

muertos al parto, buscando canalizar la asistencia técnica a las necesidades de la cerda, mediante el conocimiento de los factores de riesgo que intervienen en el proceso del parto (Vanderhaeghe *et al.*, 2010). La estadística bayesiana se basa en la inclusión de información subjetiva en el proceso de inferencia, esto se hace incluyendo una distribución *a priori* en el cual se trata de describir todo el conocimiento disponible que se puede tener sobre la variable de interés, y su elección puede influir en los resultados finales dependiendo de la cantidad de datos disponibles (Gelman *et al.*, 2004). La aplicación de la estadística bayesiana al modelo de regresión logística es de gran importancia, ya que el modelo logístico tradicional, en algunos casos, presenta un sobreajuste, y por lo tanto, no logra la convergencia (Londoño-Parra *et al.*, 2018), debido a que su ajuste se basa en una aproximación de frecuencias, lo que impide hacer una estimación precisa de sus parámetros de regresión (Gelman *et al.*, 2008).

El objetivo de este estudio fue generar, mediante validación cruzada, el mejor modelo probabilístico con un enfoque bayesiano de la presencia de lechones nacidos muertos al parto y determinar los parámetros que permitan la mejor estimación y eficiencia predictiva.

## 2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.4.1 Datos de estudio

Se analizó la información de 2,415 partos de 822 cerdas vientre, durante el periodo de 2010 a 2013, de tres granjas productoras de lechones para el abasto, ubicadas en dos regiones del Estado de México. La información se agrupó en 12 variables: granja (GA), raza o línea (RLN), número de parto (NParto), tamaño de camada al nacimiento (TCN), nacidos muertos (NM), número de momias (NMomias), peso de la camada al nacimiento (PCN), y algunas otras relacionadas con el desempeño del parto anterior, peso y tamaño de la camada, al nacimiento y al destete (PCNPA, TCNPA, PCDPA y TCDPA, respectivamente), así como nacidos muertos (NMPA). Se generó la variable dicotómica presencia de nacidos muertos al parto (PNM) definida por  $PNM=1$  cuando existió presencia de nacidos muertos y  $PNM=0$ , de otra manera. Con base en la variable PNM se dividió el total de datos en dos grupos, los partos con presencia de nacidos muertos y los que no presentaron dicha condición. Para determinar diferencias en las variables entre el parto actual, el anterior y las agrupaciones de PNM se realizó la comparación de medias pareadas e independientes de Tukey ( $p<0.05$ ).

### 2.4.2 Modelación

Con base a las variables enumeradas, y sin considerar la agrupación anterior, se realizó el ajuste de regresión logística (Ecuación 1) con aproximación bayesiana, donde la variable respuesta fue PNM. La estrategia bayesiana basada en la probabilidad condicional se utilizó para mejorar la predicción del modelo y evitar el posible sobreajuste, utilizando la distribución no informativa a priori de Cauchy, recomendada por Gelman *et al.* (2008), ya que en la estimación de los parámetros estos tienen asociado una varianza menor bajo dicha aproximación. Para la construcción del modelo, solo se incluyeron las variables que tuvieron un efecto significativo ( $p<0.05$ ) en la variable respuesta PNM. Para determinar el potencial de predicción de los modelos se consideró: 1) el valor del área bajo la curva Característica Operativa del Receptor (ROC, por sus siglas en inglés) la cual toma valores de cero a uno, donde los valores cercanos a uno poseen un mejor potencial predictivo; 2) el error estándar de la media; y 3) la correlación

entre la PNM observados contra los estimados a partir del modelo. En este proceso de modelación, la probabilidad de presentar nacidos muertos al parto, ocurre cuando la variable respuesta toma el valor de uno.

$$P(Y = 1|X) = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_P X_P)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_P X_P)} \quad \text{Ecuación (1)}$$

donde:  $P(Y=1|X)$ : es la probabilidad condicional de que haya presencia de nacidos muertos al parto (PNM), y tome valor uno, dado  $X$ ;  $\beta_0$  es el intercepto;  $\beta_P$  es el coeficiente de regresión para la  $p$  variable;  $X_p$  es el valor de la  $p$  variable.

La modelación se realizó mediante la validación cruzada por  $k$ -grupos ( $k$ -fold cross-validation), descrita por Berrar (2017). Para evitar una evaluación sesgada la base de datos se estratificó en  $K=5$  grupos, para garantizar que estos mantuvieran las proporciones de la variable respuesta al momento de aleatorizar (Kohavi, 1995); al dividir la base de datos en estos grupos aleatorios y sin reemplazo, se encontró una proporción similar de la variable respuesta (PNM) entre estos ( $y_k = 0.297 \pm 0.028$ ). Los grupos tuvieron el 20 % de las observaciones, se realizaron  $k$  iteraciones, en cada una, se utilizaron cuatro grupos para el entrenamiento (80 % de las observaciones) y se probó la eficiencia predictiva del modelo en el grupo no considerado en el entrenamiento, no se realizó el método de repetición de los  $k$ -grupos hasta encontrar el arreglo con menor varianza, ya que Molinario *et al.* (2005) ha demostrado que estas repeticiones no aportan mejoras a la predicción, solo reducen ligeramente la varianza. La probabilidad óptima para establecer la frontera de decisión en la que  $PNM=1$ , a partir de la estimación, se determinó con el punto de corte óptimo (PCO), calculado a partir de la gráfica ROC.

Todos los análisis estadísticos, gráficos y manejo de la información se realizaron con el Programa R Core Team (2020).

## 2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 2.5.1 Datos de estudio

Las razas en las granjas estudiadas fueron Landrace, Yorkshire y sus cruzas. El NParto=2.94 partos, con una distribución Gamma; el PCN=14.52 kg en promedio y 8.22 % mayor al informado de observaciones de Rendón-del Águila *et al.* (2017) en cerdas F1 (Landrace X Large White), pero es bajo comparado con el reportado por Salazar (2018) de 20.79 kg, en un estudio basado en Meta-análisis que incluyó varias razas y líneas genéticas. Las variables del parto anterior cobran importancia ya que pueden afectar el desempeño del siguiente parto. Mediante la comparación de medias pareadas, no se encontraron diferencias ( $p<0.05$ ) entre variables del parto en estudio “actual” y variables del parto anterior. El promedio de NM equivale al 4.11 % de TCN, el peso por animal al nacimiento promedio fue de 1.29 kg, valor superior al reportado por Knol *et al.* (2002) en animales Large White X Pietrain, e indican que los pesos menores a 1.125 kg, representan problemas para que los lechones mantengan una adecuada temperatura corporal, lo que explica el alto valor del TCD y la baja mortalidad en lactancia (10 %) (Cuadro 6).

Las agrupaciones definidas por la PNM (Cuadro 6) mostrarán, en la mayoría de las variables diferencias ( $p<0.05$ ) entre ambas medias. El NParto y TCN fueron mayores en la agrupación con presencia de lechones nacidos muertos al parto, PNM=1, mientras PCN fue mayor en la agrupación que no presento lechones nacidos muertos al parto, PNM=0. No hubo diferencias ( $p<0.05$ ) en el promedio de momias entre ambos grupos. El promedio de NM en el grupo con PNM=1, fue de 1.53 lechones; Vanderhaeghe *et al.* (2010) encontró la misma relación al evaluar y dividir 532 partos, la población sin NM tuvo un promedio de TCN=12.5, mientras que la población con NM tuvo un TCN=14.7 lechones, esta última con 2.02 lechones muertos en promedio. En los promedios del parto anterior, se observa un comportamiento similar, a pesar de que la única variable categórica fue considerada del parto evaluado “actual”, las variables PCDDPA y TCDPA no mostraron diferencias ( $p<0.05$ ) entre agrupación (Cuadro 6).

**Cuadro 6. Estadísticos descriptivos y comparación de medias de las variables estudiadas.**

Variable	Media	EEM	PNM=0	PNM=1	
Variables del parto		n=2415		n=1699	n=716
NParto* (n)	2.94	0.04	2.80 <sup>b</sup>	3.26 <sup>a</sup>	
TCN (n)	11.19 <sup>z</sup>	0.06	10.78 <sup>b</sup>	12.18 <sup>a</sup>	
PCN (kg)	14.52 <sup>z</sup>	0.07	14.69 <sup>a</sup>	14.13 <sup>b</sup>	
NM (n)	0.46 <sup>z</sup>	0.02	0.00	1.53	
Momias (n)	0.48	0.03	0.46 <sup>a</sup>	0.51 <sup>a</sup>	
Variables del parto anterior		n=1725		n=1203	n=522
TCNPA (n)	11.18 <sup>z</sup>	0.07	10.92 <sup>b</sup>	11.76 <sup>a</sup>	
PCNPA (kg)	14.47 <sup>z</sup>	0.09	14.34 <sup>b</sup>	14.76 <sup>a</sup>	
TCDPA (n)	9.00	0.05	9.00 <sup>a</sup>	9.00 <sup>a</sup>	
PCDPA (kg)	53.83	0.27	54.13 <sup>a</sup>	53.14 <sup>a</sup>	
NMPA (n)	0.45 <sup>z</sup>	0.03	0.40 <sup>b</sup>	0.56 <sup>a</sup>	

\*Distribución gamma. a,b: Valores medios por columna con letra distinta son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ). z: Valores medios por hilera con letra distinta son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ). EEM: Error Estándar de la Media. NParto: número de paridad. TCN: tamaño de la Camada al nacimiento. PCN: peso de la camada al nacimiento. NM: nacidos muertos. PNM=0: población con ausencia de nacidos muertos al parto. PNM=1: población con presencia de nacidos muertos al parto.

### 2.5.2 Modelo

La información anterior, evidencia la necesidad de un modelo que ayude a determinar la probabilidad de las cerdas a tener PNM. En la modelación probabilística con aproximación bayesiana únicamente las variables de NParto, TCN y PCN fueron significativas ( $p < 0.05$ ) en la variable respuesta (PNM), y fueron las únicas que se utilizaron en el modelo. Baxter *et al.* (2008) al evaluar los pesos de los nacidos, encontró que animales 0.30 Kg más ligeros, nacían muertos, con un peso promedio 1.17 Kg.

Los valores promedio estimados de los coeficientes de regresión para las variables NParto, TCN y PCN, resultado del proceso de validación cruzada, fueron 0.102, 0.259 y

-0.162, respectivamente (Cuadro 7). El estimador del  $\beta_{NParto}$  y  $\beta_{TCN}$  tuvieron valores positivos, lo que significa que estas variables afectan de manera positiva la probabilidad de  $PNM=1$ , y de forma negativa el número de lechones nacidos vivos al parto. Siendo el coeficiente  $\beta_{PCN}$  el único que indica el efecto negativo en la variable respuesta PNM. Baxter *et al.* (2008) reportó una misma tendencia, TCN grandes presentaron mayor número de nacidos muertos, comenzando en la mayoría de los casos después del lechón número 10, esto se explica por la hipoxia al nacimiento, un problema generado por la acumulación del efecto de las contracciones uterinas, donde su mayor consecuencia se observa en los últimos lechones de la camada (Alonso-Spilsbury *et al.*, 2007), además, Canario *et al.* (2007) menciona que este problema se ha agravado por la selección genética a crecimiento magro y prolificidad de las cerdas, reduciendo la madurez de los lechones al nacimiento. La variación de todos los estimadores del modelo fueron mínimas (menores al 13 %) lo que significa que, como se esperaba, los k=5 grupos presentaron poca variación de los datos entre sí. La Ecuación 4 resultó ser la ecuación definitiva del modelo, el cual conserva el promedio de los estimadores obtenidos de la validación cruzada (Pérez-Planells *et al.*, 2015).

**Cuadro 7. Coeficientes de regresión obtenidos de los grupos de prueba de la validación cruzada para los k grupos obtenidos de las variables significativas ( $p < 0.05$ ).**

Parámetro	Mínimo*	Promedio	Máximo*
Intercepto	-2.204	-2.103	-2.001
NParto	0.085	0.102	0.118
TCN	0.237	0.259	0.28
PCN	-0.162	-0.14	-0.117

\*Con un  $\alpha=0.05$ .

Como se mencionó anteriormente, el modelo de regresión logística determinado en este estudio, para predecir la presencia de nacidos muertos al parto, está definido únicamente por tres variables, y la expresión se muestra en la siguiente ecuación:

$$P(Y = 1|X) = \frac{\exp(-2.103+0.102X_1+0.259X_2-0.140X_3)}{1 + \exp(-2.021+0.093X_1+0.253X_2-0.137X_3)} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde; P (Y=1|X): es la probabilidad de que haya presencia de nacidos muertos al parto (PNM), y tome valor uno, X1=número de parto, X2=tamaño de la camada al nacimiento y X3=peso de la camada al nacimiento.

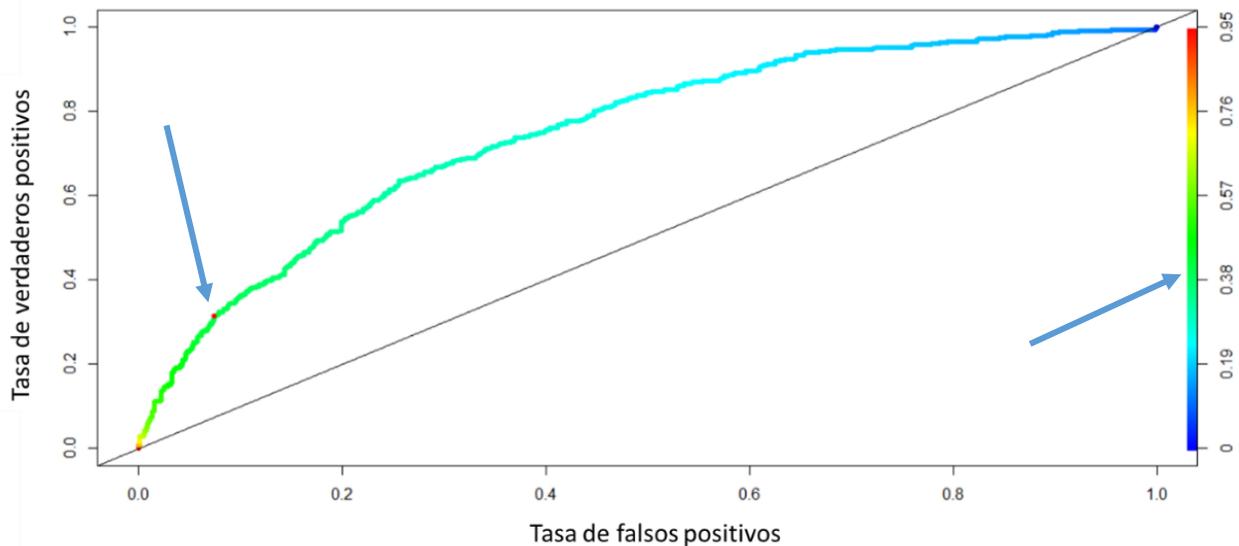
Los resultados del modelo obtenido mediante validación cruzada y la correlación de Pearson entre la probabilidad estimada y la variable respuesta, son estables (Cuadro 8). Se puede observar que entre los grupos de prueba y entrenamiento hay correlaciones promedio casi idénticas (0.391 y 0.393, respectivamente); el cuadrado medio del error entre el entrenamiento y prueba tuvieron una diferencia mínima (de 0.01); básicamente, al comparar los resultados entre el entrenamiento y prueba de cada agrupación, lo único que varió fue el intervalo de confianza, mayor para las poblaciones de prueba, pero manteniendo diferencias mínimas. Pérez-Planells *et al.* (2015), establecieron que este Cuadrado Medio del Error proporciona el error asociado al método, lo que confirma la buena eficiencia predictiva del modelo. El área bajo la curva característica operativa del receptor (ABC-ROC), es una alternativa robusta e intuitiva para la descripción y comparación de modelos clasificatorios (Polo y Miot, 2020), el promedio de la validación cruzada fue de 0.747 (Figura 3), valor considerado bueno al compararlo con el área bajo la curva de distintos modelos probabilísticos. Pinto y Sanchez-Bayle (2017) obtuvieron valores de 0.65 a 0.88 al construir modelos probabilísticos para el diagnóstico de infecciones bacterianas en lactantes febriles utilizando distintas variables, logrando obtener buenas predicciones a partir de estos. Swets (1979) interpreta el ABC-ROC, con baja exactitud al tratar de predecir cuándo toma valores de 0.5 a 0.7; moderada de 0.7 a 0.9; y un valor mayor de 0.9, indica exactitud alta. Por otro lado, Metz (1978) definió la clasificación para el ABC-ROC, como: 0.5 a 0.6 (pésimo), 0.6 a 0,7 (malo), 0.7 a 0.8 (pobre), 0.8 a 0.9 (bueno) y mayor de 0.9 (excelente); este mismo autor, menciona que una ABC-ROC de 0.70, refleja una probabilidad de clasificación correcta en el 70% de los casos. El punto de corte óptimo (PCO) muestra el límite de la probabilidad que es óptimo para establecer la frontera que define el resultado de dicha probabilidad derivado del modelo, la presencia o ausencia de nacidos muertos en el parto (0 o 1), como es un valor obtenido de la gráfica ROC, solo se obtiene de la población de entrenamiento, pero

se puede aplicar en la de prueba como clasificatoria a partir de las probabilidades estimadas, su valor promedio fue de 0.395, es la probabilidad a la que se espera haya presencia de nacidos muertos al parto, un valor muy diferente al utilizado por Londoño *et al.* (2018) de 0.5 como valor frontera. El porcentaje de efectividad del modelo (Efvo.) muestra la proporción de los casos en los que acertó el resultado a partir del modelo y del PCO, en promedio, acertó la clasificación de PNM, ya sea para presencia y ausencia, en el 73.84 % de los casos (Cuadro 8).

**Cuadro 8. Resultados de la validación cruzada, con k = 5.**

Parámetro	Promedio
Entrenamiento	
Correlación de Pearson*	0.391±0.006
EEM <sup>1</sup>	0.005±0.004
ABC-ROC	0.747±0.005
PCO	0.395±0.014
Prueba	
Correlación de Pearson*	0.393±0.022
EEM <sup>1</sup>	0.019±0.008
Efvo., %	73.842±1.663

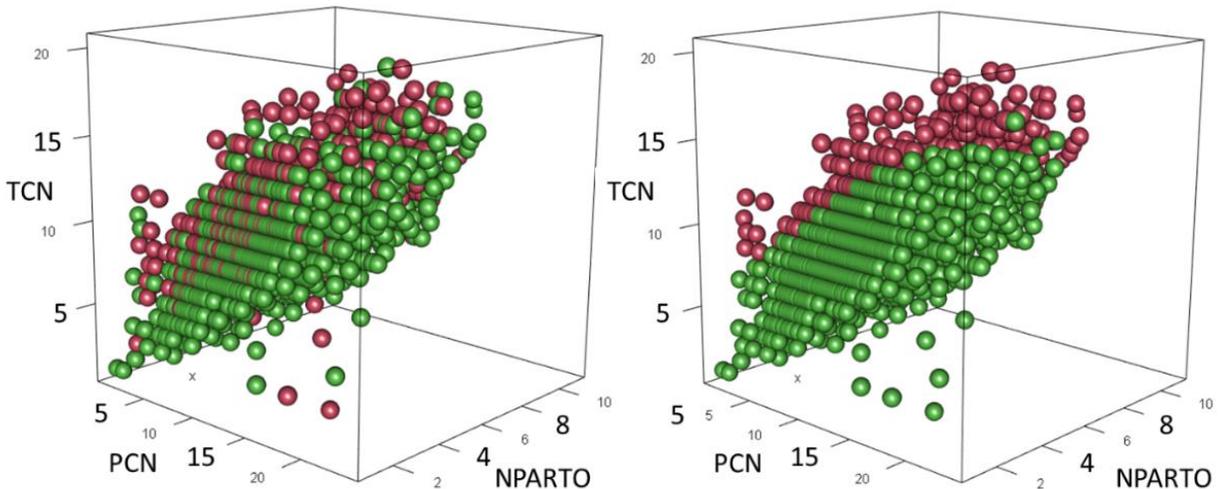
\*Correlación de Pearson entre los nacidos muertos observados y la probabilidad estimada ( $p < 0.0001$ ). EEM: Error Estándar de la Media. Efvo: porcentaje de efectividad del modelo sobre las observaciones (presencia o ausencia de nacidos muertos al parto). ABC-ROC: Área bajo la curva Característica Operativa del Receptor. PCO: Punto de Corte Óptimo.



**Figura 3. Curva característica operativa del receptor (ROC, por sus siglas en inglés) de la tercera iteración que mostró las mejores características predictivas para la presencia de nacidos muertos al parto, Área bajo la curva=0.750. La escala del lado derecho, define con color sobre el gráfico, la probabilidad del modelo, el punto rojo muestra el sitio de corte de la probabilidad que es óptimo para establecer la frontera que define, a partir de la probabilidad, la presencia o ausencia de nacidos muertos en el parto (0.409).**

La distribución de los 2,415 partos en las tres variables significantes en el modelo (NParto, TCN y PCN), a la izquierda es la incidencia de PNM observada y a la derecha la incidencia de PNM predicha a partir del modelo con PCO de 0.395 (Figura 4). Se observa que en ambos casos tienen la misma tendencia, al aumentar en TCN se incrementa la PNM, de igual manera, vemos esta tendencia al aumentar NParto, sin embargo, el PCN no presenta una tendencia definida en la gráfica, aunque en el modelo ya se definió su efecto negativo sobre la variable respuesta, PNM. Las diferencias entre los eventos observados con los estimados a partir del modelo, pueden deberse a otras variables no consideradas en este modelo, Baxter *et al.* (2008) encontró diferencias significativas en la longitud corona-grupa al comparar la presencia de nacidos muertos, Oliviero *et al.* (2010) concluye que la relación entre la duración del parto y el número de nacidos muertos es clara, explicando que el factor determinante de esa duración es el grosor de grasa dorsal; a pesar de que la raza ni sus cruas fueron significativas ( $p < 0.05$ )

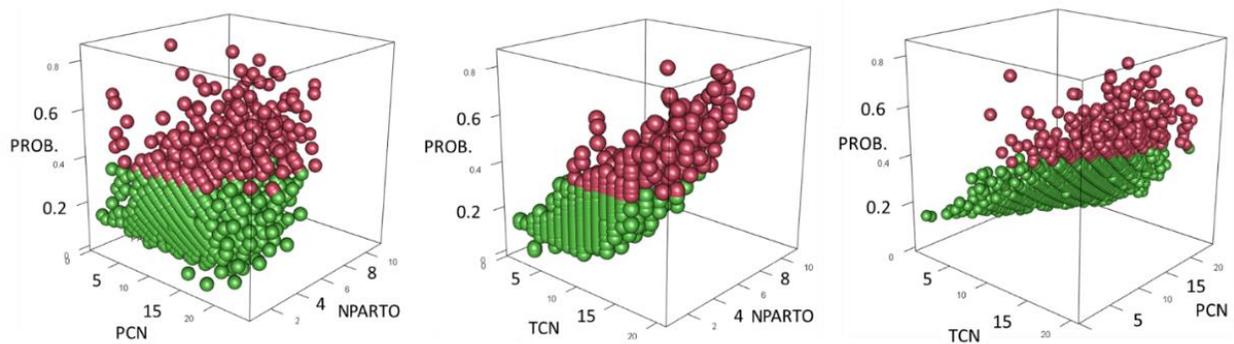
en el modelo, Leenhouders *et al.* (1999) encontraron que en general las líneas puras tienen mayor cantidad de nacidos muertos por camada que sus cruzas, pero que esta puede depender por el tamaño de camada y el parto.



**Figura 4. Distribución observada (gráfico izquierdo) y predicha (gráfico derecho) de los partos en función de las variables peso de la camada al nacimiento (PCN), tamaño de la camada al nacimiento (TCN), número de parto y su incidencia de nacidos muertos (puntos rojos).**

Vanderhaeghe *et al.* (2013) encontraron, a partir de varios artículos, 17 factores no infecciosos que muestran de alguna forma un efecto en la incidencia de nacidos muertos, que van desde lo genético, materno, el mismo lechón y manejo, dejando en claro la falta de variables ambientales en este modelo para mejorar su precisión. Al graficar la probabilidad de PNM, a partir del modelo (Ecuación 4), con la combinación de las variables (Figura 5), se observan las tendencias de las distintas variables sobre la variable respuesta, las observaciones en rojo, son los eventos que se esperan sean uno como resultado de la categorización del PCO establecido. La combinación de PCN y NPARTO muestra una acumulación de las observaciones con PNM estable, no definida al graficar; por otro lado, la combinación de TCN y NPARTO, muestra una clara tendencia de PNM mayor conforme aumentan ambas variables. Al graficar la distribución de las observaciones resultantes de la combinación TCN y PCN, se muestra una clara

tendencia ascendente de la PNM definida por el aumento de TCN y valores bajos de PCN (Figura 5).



**Figura 5. Distribución de la probabilidad (gráficos predichos) de presencia de nacidos muertos al parto (PNM) en función de las variables peso de la camada al nacimiento (PCN), tamaño de la camada al nacimiento (TCN) y número de parto (NParto) de la población de estudio; en rojo, la ocurrencia predicha de PNM determinada a partir del punto de corte óptimo (0.395).**

## **2.6 CONCLUSIONES**

Con base en los análisis realizados se concluye que el modelo probabilístico con aproximación bayesiana ajustado, presentó una buena eficiencia predictiva (73.5 %). Siendo las camadas pesadas y pequeñas las que presentan una menor probabilidad de lechones nacidos muertos al parto. Las variables de desempeño del parto anterior no afectan la probabilidad de presencia de nacidos muertos al parto. El punto de corte óptimo es un buen criterio para optimizar el modelo ya que permitió estimar su probabilidad frontera para categorizar el fenómeno en estudio.

# CAPÍTULO III. EFECTO DE PROBLEMAS AL PARTO EN LA RENTABILIDAD PRIVADA DE UNA GRANJA DE CERDAS VIENTRE USANDO UNA MATRIZ DE ANÁLISIS DE POLÍTICAS

## 3.1 RESUMEN

En las granjas de cerdas vientre, los problemas al parto son la principal causa de lechones nacidos muertos, lo que afecta directamente la eficiencia productiva de la granja, y por consiguiente sus indicadores económicos. El objetivo del estudio fue determinar el efecto de los problemas al parto de cerdas vientre en los indicadores económicos de una granja porcina y sus interrelaciones mediante la construcción de una Matriz de Análisis de Políticas (MAP). Se utilizó la información técnica de una granja productora de lechones para el abasto, con un tamaño de 245 cerdas vientre y 1145 partos obtenidos durante el periodo 2010 a 2013. Para el análisis de la variable problemas al parto (PP) se construyeron cinco matrices, se calculó el presupuesto y se obtuvieron los indicadores económicos (IE) de rentabilidad privada (RP), relación costo privado (RCP), el punto de equilibrio (PE) y la utilidad neta (UN) de la empresa. Los costos e ingresos se actualizaron a precios de julio 2020. La relación entre PP y los IE se determinó mediante regresión lineal. Los valores obtenidos de RP, RCP, consumo intermedio en el ingreso, valor agregado en el ingreso total, PE, proporción de la alimentación en la estructura de costos y la UN de la granja, fueron de 0.30, 0.44, 0.49, 0.51, 75.6%, 58.7% y 20.73%, respectivamente. El efecto de la presencia de PP fue de 1.4 lechones nacidos muertos, con una frecuencia en la población de 0.23; el cambio de 10% en esta frecuencia, tuvo un efecto positivo en la mortalidad al nacimiento de 1.34%, un decremento de la RP de 1.68%, una disminución de 1.26% en los ingresos totales. Los problemas al parto representan pérdidas económicas con un efecto acumulativo, y aunque no afectan de manera importante los ingresos, reducen de manera considerable los indicadores de eficiencia económica como la RP y UN.

**Palabras clave:** Matriz de Análisis de Políticas, Precios privados, competitividad económica.

### 3.2 ABSTRACT

In sow farms, calving problems are the main cause of stillborn piglets, which directly affects the productive efficiency of the farm, and therefore its economic indicators. The objective of the study was to determine the effect of calving problems in sows on the economic indicators of a pig farm and their interrelationships through the construction of a Policy Analysis Matrix (MAP). The technical information of a farm producing piglets for supply was used, with a size of 245 sows and 1145 farrowings obtained during the period 2010 to 2013. For the analysis of the variable farrowing problems (PP) five matrices were constructed, the budget was calculated and the economic indicators (IE) of private profitability (RP), private cost ratio (RCP), the break-even point (PE) and the net profit (UN) of the company were obtained. Costs and revenues were updated to July 2020 prices. The relationship between PP and IE was determined by linear regression. The values obtained from RP, RCP, intermediate consumption in income, value added in total income, PE, proportion of feed in the cost structure and the UN of the farm, were 0.30, 0.44, 0.49, 0.51, 75.6 %, 58.7% and 20.73%, respectively. The effect of the presence of PP was 1.4 stillborn piglets, with a frequency in the population of 0.23; the 10% change in this frequency had a positive effect on mortality at birth of 1.34%, a decrease in PR of 1.68%, a decrease of 1.26% in total admissions. Calving problems represent economic losses with a cumulative effect, and although they do not significantly affect income, they considerably reduce economic efficiency indicators such as PR and UN.

**Keywords:** Policy Analysis Matrix, Private Prices, economic competitiveness.

### 3.3 INTRODUCCIÓN

La producción porcina a nivel mundial, es uno de los más importantes segmentos de la ganadería, la cual ascendió a 1.5 mil millones de cabezas durante 2018, (FAOSTAT, 2020). Con base a estas cifras, un mínimo cambio en la eficiencia productiva de este sector, en cualquiera de sus niveles, puede tener un efecto significativo en el valor total de la producción mundial. Tanto en lo general como en lo particular, la porcicultura está sujeta a los distintos problemas propios a su sistema de producción (Muñoz-Espinoza *et al.*, 2016) que afectan directamente su eficiencia productiva, derivando en pérdidas económicas importantes.

Alonso *et al.* (2006) define el sistema porcino semitecnificado, como un esquema productivo que opera bajo sistemas variables de tecnificación, lo que se traduce en menores niveles de productividad y rentabilidad; menciona que en este sistema, se manejan menos animales que en el tecnificado (cuya cualidad es la tecnología de punta y producción en volumen) y mantiene conversiones alimenticias menos eficientes; mantienen deficiencias en varios niveles productivos, aunque la variabilidad de sus indicadores técnicos mantienen un amplio rango. Lo anterior puede repercutir en mayores costos totales y unitarios, lo que compromete su existencia, ya que es un sistema vulnerable ante cambios económicos como son: inflación, devaluación, crisis, etc. (Jiménez-Jiménez *et al.*, 2019).

En las granjas vientre, la eficiencia productiva se ve directamente afectada por la mortalidad de los lechones. La presencia de problemas al parto (PP), consecuencia de cualquier alteración del proceso natural que evita al lechón nacer de forma adecuada y muera (Toledo y Crespo, 2016), es de gran importancia ya que tienen un efecto acumulativo en los resultados económicos finales, mermando la eficiencia económica y comprometiendo su competitividad (Hernández-Martínez *et al.*, 2008). El método de estudio económico Matriz de Análisis de Políticas descrito por Monke y Pearson en 1989, ha sido ampliamente aplicado en la ganadería (Hernández-Cruz *et al.*, 2019; Martínez *et al.*, 2015; Hernández-Martínez *et al.*, 2008; Magaña-Magaña *et al.*, 2002; Sosa-Montes *et al.*, 2000, entre otros) se fundamenta en la identidad contable denominada Ganancia la cual es igual a la diferencia del Ingreso menos el Costo ( $G=I-C$ ), en donde

sus componentes son el resultado de la aplicación de criterios y principios de teoría económica relativos a las esferas de la producción, la transformación, el comercio nacional e internacional y de la política económica (Monke & Pearson 1989) y tiene como objetivo, medir el impacto de políticas gubernamentales sobre algunos indicadores económicos y evaluar la eficiencia en el uso de los recursos (Hernández-Martínez *et al.*, 2008). Ayuda a estimar distorsiones del mercado y determinar en qué medida los recursos están mal asignados (Hernández-Martínez *et al.*, 2008). Indicadores como la rentabilidad privada (RP), la relación costo privado (RCP), el punto de equilibrio (PE), valor agregado en el ingreso total (VAIT) y la utilidad neta (UN) se obtienen de la MAP, facilitan evaluar y comparar de manera amplia las granjas, ya que por su forma de estimación permiten una mejor interpretación de la empresa (Matus y Puente, 1992).

El objetivo del estudio fue determinar el efecto económico de los problemas al parto y establecer la magnitud de la relación causa-efecto entre los problemas al parto y los distintos indicadores económicos en granjas de cerdas vientre, en un sistema productivo semitecnificado con el uso de la metodología Matriz de Análisis de Políticas.

### 3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.4.1 Datos de estudio y MAP

Se analizó la información de problemas al parto de 240 hembras multíparas de una granja, al 80% de su capacidad, de cerdas vientre productora de lechones para el abasto, ubicada en el Estado de México, ocurridos en el periodo de 2010 a 2013. Se evaluaron los indicadores económicos privados de la empresa usando la MAP, descrito por Monke y Pearson en 1989, únicamente se aplicó en la parte correspondiente al presupuesto privado, el cual fue valuado a precios de mercado, se utilizaron registros de información contable que correspondieron al análisis de ingresos y costos privados (presupuesto privado), actualizando los costos en la parte correspondiente al presupuesto privado valuados a precios de mercado para julio de 2020.

La RP, está definida como la ganancia, que es la diferencia entre el ingreso (I) y la suma de los costos de los insumos comerciales (CIC) y factores internos (CFI),

$$[RP = I - (CIC + CFI)]$$

La RCP permite la comparación de eficiencia privada entre dos sistemas de producción diferentes, que se obtiene por el cociente del costo de los factores internos y del valor agregado, a precios privados, el valor agregado es igual al ingreso total restándole el costo de los insumos,

$$[RCP = CFI/(I - CIC)]$$

El VAIT es la remuneración a los factores internos de la producción así como de la ganancia que obtiene el productor, refleja el efecto de la producción hacia el propio sector productivo,

$$[VAIT = (I - CIC)/I]$$

El PE, en términos de unidades, se refiere a la cantidad de la producción que se requiere para cubrir los costos fijos y variables totales (CFT y CFT, respectivamente) sin obtener un beneficio económico,

$$[PE = CVT/(I - CFT)]$$

Por último la UN es simplemente la proporción de los ingresos que fueron la ganancia neta, después de descontar costos totales (CT) generados por la actividad,

$$[UN = (I - CT)/I]$$

### 3.4.2 Problemas al parto

Como ya se mencionó, en la construcción de la MAP fue necesario elaborar matrices de los precios de los insumos, de los factores internos de producción, de los precios de los productos y subproductos, y de coeficientes técnicos. Para estimar el efecto de los problemas al parto, se realizó un análisis de sensibilidad apoyado en el mismo método MAP, modificando la matriz técnica a razón de un cambio único en la frecuencia de los problemas al parto respecto a su media en -20 %, -10 %, +20 % y +40 %, se generaron cinco distintas matrices, y se evaluó el efecto de este cambio en los indicadores económicos. Una vez determinada la frecuencia de los PP, se estableció el valor de nacidos muertos, para cuantificar el impacto de la variable. Con una regresión lineal, usando el programa SAS/STAT® software 9.4, se estableció la relación funcional de los PP en los indicadores económicos de RP, RCP, VAIT, PE y UN, el modelo consideró como única variable independiente los PP (Ecuación 4) y el tamaño del efecto se estableció con el coeficiente de regresión, ya que es el cambio de y, por una unidad de cambio en x.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{pp} + \varepsilon_i \quad \text{ecuación 4}$$

Donde:  $y_i$  es la observación de la variable dependiente (RP, RCP, VAIT, PE o UN, según sea el caso) para  $i=1$  hasta  $n$ ;  $\beta_0$  es la ordenada al origen;  $\beta_1$  es la pendiente o coeficiente de regresión para la variable PP;  $x_{pp}$  es la realización de la variable PP;  $\varepsilon_i$  es el error aleatorio asociado a la  $i$ -ésima observación.

## 3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.5.1 Datos de estudio

Los datos originales se basaron en cerdas de las razas Landrace, Yorkshire y sus cruza. El peso promedio de la camada al nacimiento (PC) fue de 10.53, con un tamaño de camada (TCN) promedio de 7.5 lechones, el peso promedio de estos (PN) fue de 1.39 kg, valor superior al descrito por Knol *et al.* (2002) de 1.12 kg en animales Large White X Pietrain. Estos investigadores señalan que pesos de lechones menores a 1.10 kg ocasionan problemas para que mantengan una adecuada temperatura corporal. La incidencia de momias al nacimiento fue de 5 %, los problemas al parto tuvieron una frecuencia de 23 %, y significó una mortalidad promedio 1.42 lechones al nacer.

La estructura de los costos de la matriz con los datos técnicos originales, se muestra en el Cuadro 9, los insumos comerciales alcanzaron el 63 %, un valor muy inferior al reportado por Hernández-Martínez *et al.* (2008), con 73 %, 72 % y 79 %, para sistemas de traspatio, semitecnificado y tecnificado, respectivamente. Sin embargo, este resultado concuerda con los presentados por Magaña-Magaña *et al.* (2002), que describen proporciones de insumos comerciales de 64 %, 69 % y 69 %, para los mismos sistemas. Martínez *et al.* (2015) determinó la proporción de los costos para insumos comerciables de 86 %, valor superior al encontrado en este estudio, esto puede deberse a la forma de considerar los gastos de mano de obra y personal profesional, con un 19 % del total de los costos, aumentando la participación de los factores internos al 29 % y reduciendo los costos restantes a 8 %.

**Cuadro 9. Estructura del Costo Medio Total de producción a precios privados de la granja.**

Concepto	Proporción
Insumos Comerciables	63 %
Factores Internos	29 %
Insumos Indirectamente Comerciables	1 %
Gastos Diversos	7 %
Costo Total	100 %

El punto de equilibrio, en términos de kilogramos de carne vendidos se alcanza con 75 % de la producción total comercializada (Cuadro 10). Martínez *et al.* (2015), encontró que el punto de equilibrio para una granja con el mismo número de vientres fue de 87 %. La rentabilidad privada, en la matriz observada (sin cambios simulados), fue de 31 % (Cuadro 10), un valor alto comparado con las rentabilidades obtenidas por Martínez *et al.* (2015) de 12 %, Cruz *et al.* (2018) de 18 %, y de 11 %, 13 % y 12 % para sistemas de traspatio, semitecnificado y tecnificado, descrito por Hernández-Martínez *et al.*, 2008. Estas diferencias se deben a que las ganancias privadas al nivel normal se consideran cuando este valor tiende a cero, mientras que un valor superior es un indicador de rentabilidad superior a la normal. Al respecto, Losada-Espinoza *et al.* (2014) determinó rentabilidades en sistemas de producción de lechones superiores al 104 % en tres casos distintos, ubicando a la rentabilidad como una buena medida, individual, de la eficiencia productiva y económica, pero poco comparable entre granjas, pues “los resultados de rentabilidad son residuales y podrían provenir de sistemas que utilizan niveles diferentes de insumos para producir bienes que también pueden tener diferencias sustanciales en precios” (Hernández-Martínez *et al.*, 2008).

A diferencia de la RP, la RCP, permite la comparación entre los sistemas de producción, ya que indica el límite del sistema para sostener el pago de los factores internos, permaneciendo competitivos, mientras sea positivo y menor a uno, hay ganancias y se es competitivo. En este estudio, esta relación costo privado, presento un valor de 44 %, valores semejantes a los presentados por Hernández-Martínez *et al.* (2008) con 58 % para un sistema de traspatio y 53 % para un sistema tecnificado (Cuadro 10).

El VAIT encontrado fue de 51 %, este índice es reflejo de una buena participación de la actividad de la granja en la región, valor más que aceptable, superior al reportado por Hernández-Martínez *et al.* (2008) de 23 %, ya que menciona este índice económico refiere a la participación de la actividad en la generación de empleo directo, una alta proporción de está esta contribuida por los insumos comercializables y en menor medida por los factores internos, donde se encuentra, entre otros, la mano de obra.

**Cuadro 10. Resumen de los cambios en el presupuesto a precios privados de la granja, según los diferentes niveles de problemas al parto (PP).**

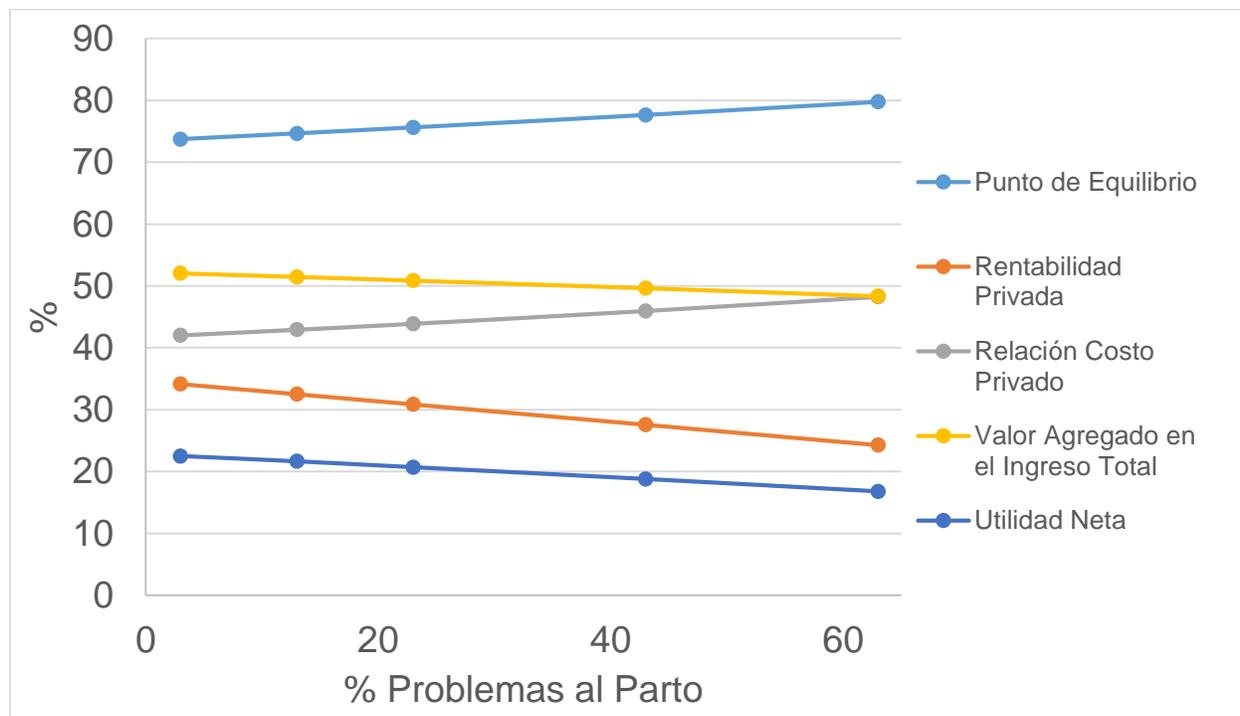
	Matriz					$\beta_{pp}$
	1	2	3 <sup>2</sup>	4	5	
Problemas al Parto <sup>1</sup> , %	3.0	13.0	23.0	43.0	63.0	
Punto de equilibrio, en términos de unidades, %	73.7	74.6	75.6	77.6	79.8	0.10
Rentabilidad Privada, %	34.1	32.5	30.9	27.6	24.3	-0.16
Relación Costo Privado, %	42.0	42.9	43.9	46.0	48.2	0.10
Valor Agregado en el Ingreso Total, %	52.0	51.5	50.9	49.6	48.3	-0.06
Utilidad Neta, %	22.5	21.6	20.7	18.8	16.8	-0.10

<sup>1</sup>Cambios asignados en cada matriz para evaluar su efecto. <sup>2</sup>Población original.  $\beta_{pp}$  Coeficiente de regresión de la variable problemas al parto sobre el indicador económico.

### 3.5.2 Problemas al parto

El efecto del cambio en las frecuencias de los problemas al parto se muestra en el Cuadro 10, la Matriz 3, corresponde al análisis con la frecuencia de PP observada, obtenida de los datos originales, la matriz 1 y 2, corresponde a una disminución de 10% y 20% sobre esa misma variable, las matrices 4 y 5, tienen un aumento en 20% y 40% sobre la frecuencia de PP. Se encontró que en todas las variables consideradas como indicadores económicos importantes, tuvo un efecto significativo los PP. La rentabilidad privada y la utilidad neta, se vieron afectadas, negativamente con el aumento de los PP, mientras que la relación costo privado y punto de equilibrio tuvieron un incremento, al aumentar la incidencias de los PP. Con la utilización de la regresión lineal simple, se determinó la magnitud de las relaciones causa efecto de los PP y las diferentes variables. Los coeficientes de regresión de los PP sobre los indicadores económicos se muestran en el Cuadro 10, estos refieren al cambio de la variable respuesta por un incremento de 1.0 % de los PP; el aumento en 10 % de los PP representará: un aumento en el punto de equilibrio y la relación costo privado de 1.0 %, lo que significa se requerirá más gasto para no obtener un beneficio económico y su competitividad se ve afectada, ya que la RCP básicamente es un punto de equilibrio, pero después de obtener ganancias; la rentabilidad privada, el valor agregado en el ingreso total y la utilidad neta disminuyen

1.6 %, 0.6 % y 1.0 % por el mismo incremento de los PP, lo que al final se traduce en una menor eficiencia económica, una disminución en el sector regional por concepto de mano de obra y menores beneficios económicos (Figura 6).



**Figura 6. Efecto de la incidencia de los problemas al parto en los distintos indicadores económicos.**

### **3.6 CONCLUSIONES**

La granja de estudio, con los costos actuales bajo sus indicadores productivos, es rentable y económicamente competitiva. Los problemas al parto afectan directamente los indicadores económicos en la granja de cerdas vientre en el Estado de México de estudio, y aunque su efecto fue significativo, su magnitud fue limitada. La utilización de la Matriz de Análisis de Políticas permitió establecer la relación de los problemas al parto sobre los diferentes indicadores económicos.

## **CAPÍTULO IV. PESOS ECONÓMICOS DE VARIABLES PRODUCTIVAS DE IMPORTANCIA EN GRANJAS DE CERDAS VIENTRE**

### **4.1 RESUMEN**

El objetivo de este estudio fue obtener los pesos económicos (PEC), importantes para los índices de selección, de distintas características de importancia en granjas de cerdas vientre. Con el sistema de aproximación positiva se obtuvieron los PEC para las funciones de máximo beneficio y máxima eficiencia. El tamaño de la camada al nacimiento tiene un PEC bajo y, según la función de beneficio, puede ser negativo. La obtención de los PEC, es importante no solo para realizar una priorización económica durante la selección de individuos, también permite determinar de qué manera afectan el sistema.

**Palabras clave:** valor económico, función de beneficio, índices de selección.

### **4.2 ABSTRACT**

The objective of this study was to obtain the actual economic weights (PEC) for the selection indices of different value characteristics in sow farms. With the positive approximation system, there were obtained the PECs for the functions of maximum profit and efficiency. Litter size at birth has a low PEC, and depending on the benefit function; it can be negative. Obtaining the PECs is essential to carry out an economic prioritization during the selection of individuals and determine how they affect the system.

**Keywords:** economic value, profit function, selection indices.

### 4.3 INTRODUCCIÓN

Galal (2000) resalta que los programas de mejora genética, como cualquier otra área de gestión, consiste en la planificación, implementación y evaluación de estrategias de mejoramiento, que a su vez es un proceso de refinación continua e identificación de oportunidades de mejora que da lugar nuevamente a la planificación e implementación, es decir, es un proceso iterativo (Cruz *et al.*, 2015). Estos programas tienen como objetivo, incrementar simultáneamente varios caracteres de interés, priorizando cada uno de ellos por su valor económico relativo (Toro y López-Fanjul, 2009). La selección de los animales, por tanto, se realizará para maximizar la rentabilidad de una empresa en las siguientes generaciones y, según la metodología empleada, para valorar y estimar la importancia económica relativa de los caracteres. El objetivo de este estudio, fue la obtención de los pesos económicos de distintas variables productivas y reproductivas de interés, en una granja de cerdas vientre.

## 4.4 MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.4.1 Análisis de información

De una granja con 245 vientres e información de 1145 partos, se obtuvieron los estadísticos descriptivos y se realizaron las evaluaciones económicas aplicables a los sistemas de producción. El método utilizado para obtener los pesos económicos fue dentro de los métodos objetivos, el sistema de aproximación positiva o evaluación de datos (Blasco, 1995), este consiste en mezclar, mediante una regresión lineal múltiple, los datos económicos y técnicos, donde los pesos económicos son los coeficientes de la regresión (Groen, 1989). En base a la definición de genotipo agregado, el valor económico de un carácter  $i$ , se define como el efecto de un cambio marginal unitario en el nivel genético de dicho carácter  $i$  en la función objetivo (es decir, la función de beneficio) manteniéndose constantes el resto de caracteres incluidos en el genotipo agregado (Ramón *et al.*, 2005). El valor económico (B) se define como la diferencia entre ingresos menos costes:  $B=I-C$ , siendo  $I$  y  $C$  los ingresos y costes asociados al incremento en una unidad de la media para el carácter  $i$ , respectivamente. En ese sentido, se obtuvieron las ponderaciones económicas de dos maneras, donde varía la forma de expresar la función de beneficio, considerando la diferencia entre ingresos menos costos, donde implica maximizar el beneficio que es el interés de las empresas y productores, y la segunda, como el cociente de ingresos sobre costos, donde se maximizan la eficiencia económica.

## 4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.5.1 Variables

Las variables que se consideraron para obtener los pesos o ponderaciones económicas, están relacionadas directamente con el nivel de producción, eficiencia reproductiva y rusticidad de la cerda. Estas variables, se presentan en el Cuadro 11, junto con sus estadísticos descriptivos. El tamaño y peso de la camada al nacimiento, TCN y PCN, respectivamente, son variables directamente relacionadas con el nivel de producción de una granja, son importantes en el mejoramiento genético, sin embargo, no son dominantes sobre los indicadores económicos, ya que están influenciadas por otras variables, como mortalidad, eficiencia alimenticia, y algunas otras que afectan su eficiencia productiva a lo largo de su vida. Tamaño y peso de la camada al destete, son el reflejo de las habilidades maternas de las cerdas, cuando se les compara al nacimiento (Malavé *et al.*, 2008). Los partos por año (PPA), son clave en los resultados económicos de las unidades de producción, ya que tienen un efecto directo sobre la producción y por lo tanto de los ingresos. La resistencia a enfermedades y la probabilidad de tener problemas al parto, son un reflejo de la capacidad de la cerda a adaptarse, una nos permite economizar en el tratamiento de enfermedades y la otra, permite reducir el número de nacidos muertos.

**Cuadro 11. Estadísticos descriptivos de las variables productivas importantes económicamente, de cerdas vientre.**

Variable	Media	Varianza	Desviación estándar	Coefficiente de variación
TCN	10.27	5.31	2.30	22.43
PCN	14.59	11.10	3.33	22.83
TCD	9.09	3.54	1.88	20.69
PCD	56.10	104.77	10.24	18.24
PPA	2.50	0.09	0.31	12.40
RE	0.89	0.01	0.13	14.60
PROB	0.23	0.02	0.15	61.48

Tamaño de camada al nacimiento (TCN), peso de la camada al nacimiento (PCN), tamaño de la camada al destete (TCD), peso de la camada al destete (PCD), partos por año (PPA), resistencia a enfermedades (RE) y probabilidad de problemas al parto (PROB).

#### **4.5.2 Pesos económicos**

En el Cuadro 12, se muestran los pesos económicos de las distintas variables, según la forma de suponer el beneficio. Contrario a lo esperado, con la función de beneficio óptimo, la variable TCN, presentó un peso económico bajo y negativo, de igual manera, la probabilidad de problemas al parto, presentó un peso negativo; sin embargo, este último era de esperarse, ya que la presencia de esta variable, representa un aumento en la mortalidad al nacimiento. Por otra parte, bajo la misma función de beneficio, tenemos que la variable PCN tuvo un peso considerable sobre el beneficio máximo, le sigue, con un valor mucho menor, el PCD, variable directamente relacionada con PCN, y con un menor valor pero positivo, el TCD. El PPA, también con un fuerte efecto sobre el beneficio máximo. A diferencia de la función de beneficio máximo, el peso económico del TCN, fue positivo, aunque muy bajo y le resistencia a enfermedades negativa; el PCN, tuvo el mayor peso, seguido del PCD y PPA; la probabilidad se mantuvo negativa y el TCD, tuvo un bajo valor, respecto a las otras variables.

**Cuadro 12. Pesos económicos de las variables de estudio según cada función.**

Variable	Función de Beneficio máximo	Función de Beneficio óptimo
TCN	-0.016	0.002
PCN	8.071	0.694
TCD	0.465	0.035
PCD	1.962	0.168
PPA	1.742	0.128
RE	0.033	-0.006
PROB	-0.544	-0.047

Tamaño de camada al nacimiento (TCN), peso de la camada al nacimiento (PCN), tamaño de la camada al destete (TCD), peso de la camada al destete (PCD), partos por año (PPA), resistencia a enfermedades (RE) y probabilidad de problemas al parto (PROB).

## 4.6 CONCLUSIONES

Los pesos económicos de las variables de estudio no fueron homogéneos. En algunos casos fueron hasta ocho veces más altos.

El tamaño de la camada al nacimiento tuvo un peso económico bajo, y según la función de beneficio puede ser negativo.

La obtención de los pesos económicos, es importante no solo para realizar una priorización económica durante la selección de individuos, también permite determinar, según la función de beneficios, su efecto en el sistema.

## **CONCLUSIONES GENERALES**

La información generada en esta investigación permitió la evaluación de las consecuencias de los problemas al parto en granjas porcinas semitecnificadas, y permitió la integración de información para la toma de decisiones y de esa forma minimizar su impacto.

Los modelos de predicción de lechones nacidos muertos y problemas al parto permitieron desarrollar e integrar información para la detección de las cerdas vientre con mayor probabilidad de presentar estas condiciones.

Las consecuencias de los problemas al parto se aprecian con el aumento de lechones nacidos muertos, lo que repercutió en los indicadores económicos de las granjas y según la función de beneficio, la ponderación económica, que siempre fue negativa, aunque existen otras variables que tienen un efecto acumulativo sobre los indicadores económicos aquí estudiados.

## LITERATURA CITADA

Alonso P. F., Buntinx D. S. E., Campos M. G. R., de Juan G. L. F., Hernández C. J., Loza A. C. V. y Monroy L. J. F. 2006. Principios generales de zootecnia. En: Trujillo O. (Ed.) Introducción a la zootecnia (pp.18-86). Ciudad de México, México: UNAM-FMVZ. Disponible en: <https://fmvz.unam.mx/fmvz/principal/archivos/Zootecnia.pdf> (Consulta: marzo 2022)

Alonso-Spilsbury, M., Ramirez-Necoechea, R., Gonzalez-Lozano, M., Mota-Rojas, D., & Trujillo-Ortega, M. E. 2007. Piglet survival in early lactation: a review. *Journal of animal and veterinary advances*. 6(1): 76-86 <http://docsdrive.com/pdfs/medwelljournals/javaa/2007/76-86.pdf> (Consulta: marzo 2022).

Baxter, E. M., Jarvis, S., D'eath, R. B., Ross, D. W., Robson, S. K., Farish, M., Nevison, I. M., Lawrence A. B. & Edwards, S. A. 2008. Investigating the behavioural and physiological indicators of neonatal survival in pigs. *Theriogenology*, 69 (6), 773-783. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2007.12.007>

Berrar, D. 2017. Confidence curves: an alternative to null hypothesis significance testing for the comparison of classifiers. *Mach Learn* 106, 911–949. <https://doi.org/10.1007/s10994-016-5612-6>

Blasco, A., 1995. Los pesos económicos en la mejora genética. ITEA, Vol. 91<sup>a</sup> N° 2, pp. 59-79. Disponible en: <http://dca.webs.upv.es/dcia/ablasco/Articles/ITEA/ITEA%20Pesos%20Economicos.pdf> (Consulta: enero 2021)

Caicedo, Q. W., R. S. Valle & R. F. Velázquez. 2012. Diagnóstico participativo para la producción porcina en el medio periurbano y rural del cantón Pastaza Ecuador. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria* 13(8): 1-9. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/636/63624429006.pdf> (Consulta: marzo 2021)

Canario, L., Pere, M. C., Tribout, T., Thomas, F., David, C., Gogué, J., ... & Le Dividich, J. 2007. Estimation of genetic trends from 1977 to 1998 of body composition and physiological state of Large White pigs at birth. *Animal*, 1(10), 1409-1413. <https://doi.org/10.1017/S1751731107000766>

Castillo, M. T., & Vicente, S. C. 2016. Puntos clave en el manejo en maternidad. *Anaporc: revista de la Asociación de Porcinocultura Científica*, 13(134), 22-28. Disponible en: <https://infoiberico.com/wp-content/uploads/2017/06/Puntos-clave-en-el-manejo-de-madres2.pdf> (Consulta: marzo 2021)

Cruz, R. H., Mata, R. G., Salazar, J. A. G., Villegas, L. M. S., & Flores, J. S. M. 2019. Rentabilidad de diez granjas porcícolas en 2018 de Tarimoro, Guanajuato, México. *Agro productividad*, 12(6). <https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1118>

Díaz, C. A., Rodríguez, M. N., Vera, V. J., Ramírez, G., Casas, G. A. & Mogollón, J. D. 2011. Characterization of pig farms in the main swine producing regions of Colombia.

Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias 24(2): 131-144. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-06902011000200005&script=sci\\_abstract&tlng=en](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-06902011000200005&script=sci_abstract&tlng=en) (Consulta: marzo 2021)

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2022. FAOSTAT-Cultivos y productos de ganadería [online]. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL> (Consulta: marzo 2022).

Faostat, F. 2018. Agriculture organization corporate statistical database. 25-12 p.

Food and Agriculture Organization (FAO) 2019. FAOSTAT statistical database of the United Nation Food and Agriculture Organization (FAO) statistical division.

Galal, S., Boyazoglu, J., & Hammond, K. (2000). Workshop on Developing Breeding Strategies for Lower Input Animal Production Environments, Bella, Italy, 22-25 September 1999. In Workshop on Developing Breeding Strategies for Lower Input Animal Production Environments, Bella, Italy, 22-25 September 1999. (No. 3). International Committee for Animal Recording (ICAR).

Gelman, A., Jakulin, A., Pittau, M. G., & Su, Y. S. 2008. A weakly informative default prior distribution for logistic and other regression models. *The annals of applied statistics*, 2(4), 1360-1383. <https://doi.org/10.1214/08-AOAS191>

Ghio, M., & Lucero de la Sota, M. 2018. Actualización sobre mejoramiento genético porcino en el mundo y en la República Argentina. *Semiárida*, 25(2), 72-73. Disponible en: <https://ojs24.unlpam.edu.ar/index.php/semiarida/article/view/2543> (Consulta: marzo 2022).

Groen, A., 1989. Cattle breeding goals and production circumstances. Thesis, PhD. Department of Farm Management and Department of Animal Breeding, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands. Chapter 1: 12-23. Disponilbe en: [https://search.proquest.com/openview/c53b46c3f75c92bde8420ec0a3e3dfab/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y&casa\\_token=kYo7j\\_QQbhAAAAAA:4hD7mnAcnQhrDVIIIDnSyoqrNRYZfpsN79DMoKFrVf6g0nz1ALjVkJVCLV2qBdYUd\\_2aM-15WDleO744w](https://search.proquest.com/openview/c53b46c3f75c92bde8420ec0a3e3dfab/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y&casa_token=kYo7j_QQbhAAAAAA:4hD7mnAcnQhrDVIIIDnSyoqrNRYZfpsN79DMoKFrVf6g0nz1ALjVkJVCLV2qBdYUd_2aM-15WDleO744w) (Consulta: marzo 2022)

Hernández-Martínez, J., Rebollar-Rebollar, S., Rojo-Rubio, R., García-Salazar, J. A., Guzmán-Soria, E., Martínez-Tinajero, J. J., & Díaz-Carreño, M. A., 2008. Rentabilidad privada de las granjas porcinas en el sur del Estado de México. *Universidad y ciencia*, 24(2) pp. 117-124. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0186-29792008000200004&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0186-29792008000200004&script=sci_abstract&tlng=pt) (Consulta: marzo 2022)

Jiménez-Jiménez, R. A., Rendón-Rendón, M. C., Chávez-Pérez, L. M., & Soler Fonseca, D. M. (2019). La polarización de los sistemas de producción pecuaria en México : The polarization of livestock production systems in Mexico. *CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROPECUARIA*, 4(1), 31-39. Disponible en: <https://ojs.unipamplona.edu.co/ojsviceinves/index.php/rcyta/article/view/981> (Consulta: marzo 2022)

Knol, E. F., J.I. Leenhouwers and T. Van der Lende. 2002. Genetic aspects of piglet survival. *Livestock Production Science* 78: 47–55. doi: 10.1016/S0301-6226(02)00184-7.

Knol, E. F., Leenhouwers, J. I., & Van der Lende, T. 2002. Genetic aspects of piglet survival. *Livestock Production Science*, 78(1), 47-55. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(02\)00184-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00184-7)

Kohavi, R. 1995. A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection. In *Proceedings of the Fourteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, American Association for Artificial Intelligence, 2(12), 1137-1143. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Ron-Kohavi/publication/2352264\\_A\\_Study\\_of\\_Cross-Validation\\_and\\_Bootstrap\\_for\\_Accuracy\\_Estimation\\_and\\_Model\\_Selection/links/02e7e51bcc14c5e91c000000/A-Study-of-Cross-Validation-and-Bootstrap-for-Accuracy-Estimation-and-Model-Selection.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Ron-Kohavi/publication/2352264_A_Study_of_Cross-Validation_and_Bootstrap_for_Accuracy_Estimation_and_Model_Selection/links/02e7e51bcc14c5e91c000000/A-Study-of-Cross-Validation-and-Bootstrap-for-Accuracy-Estimation-and-Model-Selection.pdf) (Consulta: marzo 2022)

Leenhouwers, J. I., Van Der Lende, T., & Knol, E. F. 1999. Analysis of stillbirth in different lines of pig. *Livestock Production Science*, 57(3), 243-253. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(98\)00171-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(98)00171-7)

Llanes-Chalé, J. E., A. A. López, J. C. Correa-Segura, M. J. Álvarez-Fleites & G. Góngora-Castro. 2007. Porcentaje de gestación y prolificidad de cerdas en el trópico utilizando las técnicas de inseminación artificial convencional e intrauterina. *Livestock Research for Rural Development*, 19(10). Disponible en: <http://www.lrrd.cipav.org.co/lrrd19/10/llan19145.htm> (Consulta: marzo 2022)

Londoño-Parra, J. S., Cabrera-Torres, K. R., & González-Hurtado, M. I. 2018. Modelo de predicción probabilística de deterioro en jamón de cerdo cocido. *VITAE*, 25(2), 64-74. <https://doi.org/10.17533/udea.vitae.v25n2a02>

Losada-Espinosa, N., Mercadillo-Sierra, A., & Martínez-Gamba, R., 2014. Costo de producción e impacto de diversos insumos sobre la rentabilidad en granjas porcinas a pequeña escala en la zona metropolitana de la Ciudad de México. *LRRD*, 26(11) pp. 1-10. Disponible en: <http://lrrd.cipav.org.co/lrrd26/11/losa26205.html> (Consulta: marzo 2022)

Magaña-Magaña, M. A., Matus-Gardea, J. A., García-Mata, R., de Jesús Santiago-Cruz, M., Martínez-Damián, M. A., & Martínez-Garza, Á., 2002. Rentabilidad y efectos de política económica en la producción de carne de cerdo en Yucatán. *Agrociencia*, 36(6) pp. 737-747. Disponible en: <https://agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/download/226/226> (Consulta: marzo 2022)

Malavé, T., Alfaro, M., & Hurtado, E. 2007. Efecto del número de partos, tamaño y peso de la camada al destete sobre el intervalo destete-estro en cerdas. *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología*, 25, 10-15. Disponible en: <http://www.ciap.org.ar/Sitio/Archivos/efectodelnumerodepartosencerdas.pdf> (Consulta: marzo 2022)

Martínez Medina, I., Val Arreola, D., Tzintzun Rascón, R., Conejo Nava, J. D. J., & Tena Martínez, M. J., 2015. Competitividad privada, costos de producción y análisis del punto de equilibrio de unidades representativas de producción porcina. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 6(2) pp. 193-205. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11242015000200005&script=sci\\_abstract&lng=pt](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11242015000200005&script=sci_abstract&lng=pt) (Consulta: marzo 2022)

Martínez-Castañeda, F. E. y M. Perea-Peña. 2012. Estrategias locales y de gestión para la porcicultura doméstica en localidades periurbanas del Valle de México, 9(4): 411-425. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-54722012000400003](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722012000400003) (Consulta: marzo 2022)

Martínez-Castañeda, F. E., & Perea-Peña, M. 2012. Estrategias locales y de gestión para la porcicultura doméstica en localidades periurbanas del Valle de México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 9(4), 411-425. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-54722012000400003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722012000400003&lng=es&tlng=es) (Consulta: marzo 2022).

Metz, C. E. 1978. Basic principles of ROC analysis. *Seminars in Nuclear Medicine* 8(4): 283-298. doi: 10.1016/S0001-2998(78)80014-2.

Molinero, A. M., Simon, R., & Pfeiffer, R. M. 2005. Prediction error estimation: a comparison of resampling methods. *Bioinformatics*, 21(15), 3301-3307. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bti499>

Monke EA, Pearson SR, 1989. *The Policy Analysis Matrix for Agricultural Development*. Cornell University Press. Ithaca. Pp. 201. Disponible en: [https://www.cepal.org/sites/default/files/courses/files/03\\_3\\_pambook.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/courses/files/03_3_pambook.pdf) (Consulta: marzo 2022)

Muñoz-Espinoza, M., Artieda-Rojas, J., Espinoza-Vaca, S., Curay-Quispe, S., Pérez-Salinas, M., Núñez-Torres, O. & Carrasco-Silva, A., 2016. Granjas sostenibles: integración de sistemas agropecuarios. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 19(2), 93-99. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/939/93946928013.pdf> (Consulta: marzo 2022)

Oliviero, C., Heinonen, M., Valros, A., & Peltoniemi, O. 2010. Environmental and sow-related factors affecting the duration of farrowing. *Animal reproduction science*, 119(1-2), 85-91. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2009.12.009>

Ospina O., H. Grajales y C. Manrique. 2011. Gestión del conocimiento: mayor producción y competitividad. *Perspectivas para los sistemas de producción ovino-caprinos*. *Revista de Medicina Veterinaria* (22): 95-113. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0122-93542011000200010](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-93542011000200010) (Consulta: marzo 2022)

Pérez Planells, L., Delegido Gómez, J., Rivera-Caicedo, J. P., & Verrelst, J. 2015. Análisis de métodos de validación cruzada para la obtención robusta de parámetros

biofísicos. *Revista Española de Teledetección*, 2015, vol. 44, p. 55-65. <http://dx.doi.org/10.4995/raet.2015.4153>

Pinto, E. V., & Sánchez-Bayle, M. 2017. Creación de un modelo probabilístico de diagnóstico de infección bacteriana grave en lactantes febriles de 0 a 3 meses de vida. *Anales de Pediatría* 87(6), 330-336. <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2017.02.003>

Polo, T. C. F., & Miot, H. A. 2020. Aplicações da curva ROC em estudos clínicos e experimentais. *Jornal Vascular Brasileiro*, 19. <https://doi.org/10.1590/1677-5449.200186>

Polo-Figueira, T. C. & Miot-Amante, H. 2020. Aplicações da curva ROC em estudos clínicos e experimentais. *Jornal Vascular Brasileiro* 19. doi: 10.1590/1677-5449.200186.

Pomar, J. & Pomar, C. 2005. A knowledge-based decision support system to improve sow farm productivity. *Expert systems with applications* 29(1): 33-40. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2005.01.002>

Pomar, J. y López, V. 2018. La porcicultura de precisión es una perspectiva innovadora para el futuro de la producción porcina (I). *Albítar: publicación veterinaria independiente* 2017: 18-19. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/161804819.pdf> (Consulta: marzo 2022)

R Core Team. 2012. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en: <https://www.R-project.org/> (Consulta: marzo 2022)

Ramón, M., Legarra, A., Pérez-Guzmán, M. D., & Ugarte, E., 2005. Obtención de pesos económicos para selección por rentabilidad. *ITEA*, Vol. Extra N° 26. Tomo I, pp. 129-131. Disponible en: [https://acteon.webs.upv.es/CONGRESOS/AIDA%202005/pesos\\_revision\\_3\\_ramon.pdf](https://acteon.webs.upv.es/CONGRESOS/AIDA%202005/pesos_revision_3_ramon.pdf) (Consulta: marzo 2022)

Rendón del Águila, J. U., Martínez-Gamba, R. G., Herradora Lozano, M. A., & Alonso-Spilsbury, M. 2017. Efecto del peso al nacer, tamaño de camada y posición en la ubre sobre el crecimiento de cerdos durante la lactancia y engorda. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 8(1), 75-81. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i1.4317>

Rendón-del Águila, J. U., R. G. Martínez-Gamba, M. A. Herradora Lozano & M. Alonso-Spilsbury. 2017. Efecto del peso al nacer, tamaño de camada y posición en la ubre sobre el crecimiento de cerdos durante la lactancia y engorda. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(1): 75-81. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i1.4317>

Rivera, O. F. O., Grajales, H., & Manrique, C., 2011. Gestión del conocimiento: mayor producción y competitividad. *Perspectivas para los sistemas de producción ovino-caprinos*. *Revista de Medicina Veterinaria*, (22) pp. 95-113. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0122-93542011000200010](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-93542011000200010) (Consulta: marzo 2022)

Sabogal H., J. C. 2015. Estudio caso: mortalidad temprana en lechones lactantes en una granja porcícola en Puerto Gaitán–Meta. Disponible en: <https://ciencia.lasalle.edu.co/zootecnia/176> (Consulta: marzo 2022)

Salazar, S. 2018. Factores que afectan la vitalidad de los lechones al momento del nacimiento. *Nutrición animal tropical*, 12(1), 40-58. DOI: <https://doi.org/10.15517/nat.v12i1.33670>

Salazar-Villanueva, S. 2018. Factores que afectan la vitalidad de los lechones al momento del nacimiento. *Nutrición Animal Tropical* 12(1): 40-58. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6547909> (Consulta: marzo 2022)

SAS Institute. 2009. SAS/STAT® 9.4. Cary, NC: SAS Institute Inc., USA. Report. Disponible en: <http://www.sas.com> (Consulta: marzo 2022)

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2018. Anuario estadístico de la producción agrícola.

SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Estadística Agropecuaria. Anuarios estadísticos de la producción pecuaria, porcinos. Disponible en: [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=369](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=369) (Consulta: marzo 2022)

Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM). Consolidado de Precios de Productos. SE, Secretaría de Economía; 2017. Consultado 25 agosto, 2020.

Sosa-Montes, M., García-Mata, R., Omaña-Silvestre, J. M., López-Díaz, S., & López-López, E., 2000. Rentabilidad de doce granjas porcícolas en la región noroeste de Guanajuato en 1995. *Agrociencia*, 34(1) pp. 107-113. Disponible en: <https://www.agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/download/13/13> (Consulta: marzo 2022)

Stalder, K. J. 2017. Pork industry productivity analysis. National Pork Board Report Disponible en: <https://www.pork.org/wp-content/uploads/2018/09/2018-pork-industry-productivity-analysis.pdf> (Consulta: marzo 2022)

Stalder, K. J. 2017. Pork industry productivity analysis. National Pork Board Report. Disponible en: <https://jygatech.com/wp-content/uploads/2021/05/PigmortalityStalderIowa.pdf> (Consulta: marzo 2022).

Sukhatme, P. V. and B. V. Sukhatme. 1970. Sampling theory of surveys with application. 2nd edition. Iowa State University Press. USA. 452p.

Swets, J. A. 1979. ROC analysis applied to the evaluation of medical imaging techniques. *Investigative radiology*, 14(2), 109-121. DOI: 10.1097/00004424-197903000-00002

Toledo, C. M. & V. S. Crespo. 2016. Puntos clave en el manejo en maternidad. *Revista de la Asociación de Porcinocultura Científica* 13(134): 22-28. Disponible en: <https://infoiberico.com/wp-content/uploads/2017/06/Puntos-clave-en-el-manejo-de-madres2.pdf> (Consulta: marzo 2022)

Toro, M. A., & Menéndez, J. L. F. 2009. Diseño de programas de mejora genética en acuicultura. In *Genética y genómica en acuicultura* (pp. 185-211). Fundación Observatorio Español de Acuicultura. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8402185> (Consulta: marzo 2022)

Vanderhaeghe, C., Dewulf, J., de Kruif, A., & Maes, D. 2013. Non-infectious factors associated with stillbirth in pigs: a review. *Animal reproduction science*, 139(1-4), 76-88. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2013.03.007>

Vanderhaeghe, C., Dewulf, J., De Vliegher, S., Papadopoulos, G. A., de Kruif, A., & Maes, D. 2010. Longitudinal field study to assess sow level risk factors associated with stillborn piglets. *Animal Reproduction Science*, 120(1-4), 78-83. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.02.010>

Velásquez-Vergara, C., J. Vega-Vilca & M. Lucho-Cerga. 2016. Síndrome Reproductivo Respiratorio Porcino: presentación en el tiempo y efecto sobre los parámetros productivos y reproductivos. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 27(4): 813-821. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v27i4.12569>