

MODELO DE PREDICCIÓN PROBABILÍSTICO PARA LA SIMULACIÓN DE PROBLEMAS AL PARTO EN CERDAS MULTÍPARAS

[PROBABILISTIC PREDICTION MODEL FOR THE SIMULATION OF CALVING PROBLEMS IN MULTIPAROUS SOWS]

Daniel Alonso Domínguez Olvera¹, José Guadalupe Herrera Haro^{1§}, José Ricardo Bárcena Gama¹, Ma. Esther Ortega Cerrilla¹, Francisco Ernesto Martínez Castañeda², Antonio Rouco Yañez³

¹Programa de Recursos Genéticos y Productividad-Ganadería, Colegio de Postgraduados. Kilómetro 36.5 carretera México-Texcoco, Montecillo, 56230, Texcoco, Edo. Méx, México. ²Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México, 56295. Toluca Edo. Méx, México. ³Facultad de Veterinaria, Universidad de Murcia. 5 de Avenida Teniente Flomesta, 30003. Murcia, España. §Autor para correspondencia: (haro@colpos.mx).

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 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 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*.

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.

Index words: Modeling, probabilistic model, population, *Sus scrofa domesticus*.

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 Lopez, 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 (Bernal, 2018), 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.

MATERIALES Y MÉTODOS

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).

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 (Y_1) 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: $1-P(Y=0|X)$.

Para la inferencia del modelo, se determinó 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).

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

Donde: n = Tamaño de la muestra de la variable i ; S_N^2 = Estimador de varianza poblacional de la variable i ; $t_{\alpha/2}^2$ =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 calculado	Tamaño de muestra obtenido
Paridad	846.02	1,145
Tamaño de camada al nacimiento	396.89	1,145
Tamaño de camada al nacimiento	584.34	1,145

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).

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).

Cuadro 2. Variables distribuidas como Normal (N) y Gamma (Γ), 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)	$X_3 \sim N(14.6, 11.1^2)$	$X_3 \sim N(14.6 \pm 10\%, 11.1^2)$

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= $\underline{X_{1O}}\underline{X_{2O}}\underline{X_{3O}}$	POB2= $\underline{X_{1O}}\underline{X_{2O}}\underline{X_{3A}}$	POB3= $\underline{X_{1O}}\underline{X_{2O}}\underline{X_{3B}}$
POB4= $\underline{X_{1O}}\underline{X_{2A}}\underline{X_{3O}}$	POB5= $\underline{X_{1O}}\underline{X_{2A}}\underline{X_{3A}}$	POB6= $\underline{X_{1O}}\underline{X_{2A}}\underline{X_{3B}}$
POB7= $\underline{X_{1O}}\underline{X_{2B}}\underline{X_{3O}}$	POB8= $\underline{X_{1O}}\underline{X_{2B}}\underline{X_{3A}}$	POB9= $\underline{X_{1O}}\underline{X_{2B}}\underline{X_{3B}}$
POB10= $\underline{X_{1A}}\underline{X_{2O}}\underline{X_{3O}}$	POB11= $\underline{X_{1A}}\underline{X_{2O}}\underline{X_{3A}}$	POB12= $\underline{X_{1A}}\underline{X_{2O}}\underline{X_{3B}}$
POB13= $\underline{X_{1A}}\underline{X_{2A}}\underline{X_{3O}}$	POB14= $\underline{X_{1A}}\underline{X_{2A}}\underline{X_{3A}}$	POB15= $\underline{X_{1A}}\underline{X_{2A}}\underline{X_{3B}}$
POB16= $\underline{X_{1A}}\underline{X_{2B}}\underline{X_{3O}}$	POB17= $\underline{X_{1A}}\underline{X_{2B}}\underline{X_{3A}}$	POB18= $\underline{X_{1A}}\underline{X_{2B}}\underline{X_{3B}}$
POB19= $\underline{X_{1B}}\underline{X_{2O}}\underline{X_{3O}}$	POB20= $\underline{X_{1B}}\underline{X_{2O}}\underline{X_{3A}}$	POB21= $\underline{X_{1B}}\underline{X_{2O}}\underline{X_{3B}}$
POB22= $\underline{X_{1B}}\underline{X_{2A}}\underline{X_{3O}}$	POB23= $\underline{X_{1B}}\underline{X_{2A}}\underline{X_{3A}}$	POB24= $\underline{X_{1B}}\underline{X_{2A}}\underline{X_{3B}}$
POB25= $\underline{X_{1B}}\underline{X_{2B}}\underline{X_{3O}}$	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.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Datos de estudio

Los datos originales fueron obtenidos de una base de datos de las razas Landrace, Yorkshire y sus cruces (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	Varianza	Desv. estándar	CV (%)	EEM
Variables del parto	Paridad	5.00	6.67	2.58	51.64	0.08
	TCN (n)	10.53	8.98	3.00	28.47	0.09
Variables del parto anterior	Momias	0.59	3.32	1.82	310.71	0.05
	PCN (kg)	14.67	16.36	4.04	27.57	0.12
	PP	0.23	0.18	0.18	77.12	0.01
	TCN	7.90	27.51	5.25	66.42	0.16
	PCN	10.95	53.05	7.28	66.51	0.22
	TCD	6.71	18.69	4.32	64.42	0.13
	PCD	41.63	682.89	26.13	62.77	0.77
	PP	0.16	0.13	0.13	84.45	0.00

Coeficiente 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).

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 naranjas 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).

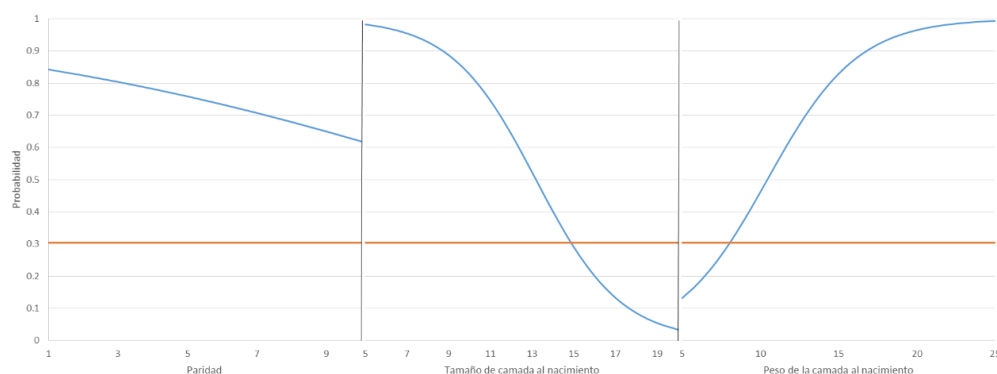


Figura 1. Comportamiento de la probabilidad de no tener problemas al parto, $P(Y=0 | X)$, según la variable (línea azul), probabilidad de problemas al parto que representa un lechón nacido muerto (línea naranja).

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.

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 Velasquez *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).

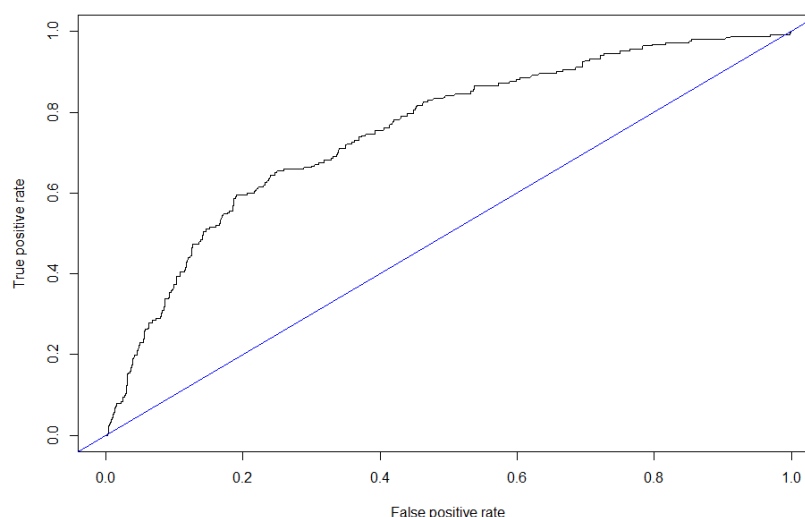


Figura 2. Gráfica característica operativa del receptor (ROC, por sus siglas en inglés) del modelo que determina la probabilidad de una cerda a no tener problemas al parto, ROC=0.748.

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

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.

LITERATURA CITADA

- Bernal-Aguilar, D.A. 2018. Efecto de un aditivo nutracéutico en cerdos en finalización sobre parámetros productivos. Trabajo de grado. Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia. 29 p. (Consultado: 11/09/2020). Disponible en: <https://ciencia.lasalle.edu.co/zootecnia/332>.
- 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.
- Díaz, C.A., M.N. Rodríguez, V.L. Vera, G. Ramírez, G.A. Casas, J.F. & Mogollón. 2011. Characterization of pig farms in the main swine producing regions of Colombia. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias 24(2): 131-144.
- Faostat, F. 2018. Agriculture organization corporate statistical database. 25-12 p.
- Ghio, M. & M.N.L. de la Sota. 2018. Actualización sobre mejoramiento genético porcino en el mundo y en la República Argentina. Semiárida 25(2): 72-73.
- 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.
- 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).
- 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.
- 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.
- Muñoz-Espinoza, M., J. Artieda-Rojas, S. Espinoza-Vaca, S. Curay-Quispe, M. Pérez-Salinas, O. Núñez-Torres & A. Carrasco-Silva. 2016. Granjas sostenibles: integración de sistemas agropecuarios. Tropical and Subtropical Agroecosystems 19(2): 93-99.
- 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.
- Pinto, E.V. & M. Sánchez-Bayle. 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.
- Polo-Figueira, T.C. & H. Miot-Amante. 2020. Aplicações da curva ROC em estudos clínicos e experimentais. Jornal Vascular Brasileiro 19. doi: 10.1590/1677-5449.200186.
- Pomar, J. y V. López. 2018. La porcicultura de precisión es una perspectiva innovadora para el futuro de la producción porcina (I). Albéitar: publicación veterinaria independiente 2017: 18-19.
- Pomar, J. & C. Pomar. 2005. A knowledge-based decision support system to improve sow farm productivity. Expert systems with applications 29(1): 33-40.
- R Core Team. 2012. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (Consultado: 11/09/2020). Disponible en: <https://www.R-project.org/>.

- 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.
- Sabogal H., J.C. 2015. Estudio caso: mortalidad temprana en lechones lactantes en una granja porcícola en Puerto Gaitán–Meta. (Consultado: 11/09/2020). Disponible en: <https://ciencia.lasalle.edu.co/zootecnia/176>.
- Salazar-Villanueva, S. 2018. Factores que afectan la vitalidad de los lechones al momento del nacimiento. *Nutrición Animal Tropical* 12(1): 40-58.
- Sánchez, A.P. & J.D. López. 2019. Efectos de la implementación de medidas de bioseguridad en la porcícola "El Pomo" en Belén de Umbría. Tesis Doctoral, Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia.
- Stalder, K. J. 2017. Pork industry productivity analysis. National Pork Board Report (Consultado: 11/09/2020). Disponible en: <https://www.pork.org/wp-content/uploads/2018/09/2018-pork-industry-productivity-analysis.pdf>.
- 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.
- SAS Institute. 2009. SAS/STAT® 9.4. Cary, NC: SAS Institute Inc., USA. Report (Consultado: 11/09/2020). Disponible en: <http://www.sas.com>.
- Sukhatme, P.V. and B.V. Sukhatme. 1970. Sampling theory of surveys with application. 2nd edition. Iowa State University Press. USA. 452p.
- 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.
- 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.
- Villalobos-Pinto, E. y M. Sanchez-Bayle. 2017. Creación de un modelo probabilístico de diagnóstico de infección bacteriana grave en lactantes febriles de 0 a 3 meses de vida. *Análes de pedriatría* 87(6): 330-336.