



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEMASCALTEPEC

LICENCIATURA DE INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

**OPTIMIZACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICO DE PARTOS EN UNA
GRANJA PORCINA TECNIFICADA**

TESIS

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA**

PRESENTAN:

ANTONIO JARAMILLO PUEBLA

LEAN PUEBLA JIMÉNEZ

ASESOR:

DR. en C. SAMUEL REBOLLAR REBOLLAR

COASESOR:

DR. en C.A.R.N. GERMÁN GÓMEZ TENORIO

Agosto de 2024.

ÍNDICE

Contenido

ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	7
III. JUSTIFICACIÓN	11
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	13
4.1. Situación mundial de la porcicultura	13
4.2 Situación nacional.....	17
V. HIPÓTESIS	27
VI. OBJETIVOS	27
6.1 General	27
6.2 Específicos.....	27
VII. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	28
7.1 Origen	28
7.2 Actualidad.....	35
7.4 Principales enfermedades en cerdos.....	43

7.4.1 Cólera porcino	43
7.4.2 Erisipela porcina.....	46
7.4.3 Neumonías en cerdos	49
7.4.4 Colibacilosis porcina.....	51
7.4.5 Salmonelosis porcina	54
7.4.6 Leptospira	57
7.4.7 Disenteria	59
7.4.8 Enfermedad ántrax.....	62
VIII. MATERIALES Y MÉTODOS	64
8.1 Periodo de evaluación.....	64
8.2 Localización de la zona de estudio	64
8.3 Análisis de la información.....	65
VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	76
Análisis estadístico	77
Análisis económico	78
Nivel óptimo técnico (NOT) en lechones producidos	79
Nivel óptimo económico (NOE) en lechones producidos	81
Ganancia en dinero al Nivel Óptimo Técnico (NOT)	83
Ganancia en dinero al Nivel Óptimo Económico (NOE).....	84
IX. CONCLUSIONES	86

X. RECOMENDACIONES	87
XI. REFERENCIAS CITADAS	88
ANEXOS	92
Anexo 1. Salida de resultados en SAS del modelo estimado de la función de producción	92

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Pá
No.	Título	g
1	Distribución mundial del consumo de carne, 2022. Cifras en miles de toneladas	24
2	Producción mensual de carne de cerdo 2021	26
3	Importaciones y exportaciones mensuales de carne de cerdo en México, 2022	29
4	Producción de carne en las principales especies pecuarias en México, 2017-2022	30
5	Producción de carne de cerdo por entidad federativa. 2022	32
6	Consumo de carne de cerdo en México. 2017-2022. Cifras en toneladas	34
7	Resultados del modelo estadístico de lechones destetados, en una granja tecnificada, 2023	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig No.	Título	Pág
1	Producción de carne de cerdo en México, 2005-2016	11
2	Carne de cerdo en México. Principales países productores, 2014-2016	12
3	Cerdas en gestación	13
4	Cerdas de remplazo	15
5	Inseminación de cerdas	17
6	Comportamiento del consumo de carne de cerdo en los principales países	24
7	México. Producción mensual de carne de cerdo. Miles de toneladas	26
8	México. Producción nacional de carnes, 2017-2022	30
9	México. Producción de carne de cerdo, 2022, por entidad federativa. Cifras en toneladas	32
10	Cuino	38
11	Cerdos cuinos	39
12	Pata de mula	40
13	Cerdos pata de mula	41
14	Cerdo casquete de mula	42
15	Cerdo pelón mexicano	43
16	Cerdas en gestación	46
17	Cerdas Yorkshire	47
18	Raza Pietrain	49
19	Raza Duruc	50
20	Cólera porcina	53
21	Cerdos con Eripisela	56
22	Cerdo con neumonía	58
23	Colibacilosis porcina	61
24	Salmonelosis porcina	64
25	Leptospira en cerdos	66
26	Disentería porcina	69
27	Cerdo con la enfermedad ántrax	71
28	Lechones en camas elevadas	74
29	Cerdos en engorda	75
30	Lechones destetados	78
31	Parto de una cerda	81
32	Lechones destetados en granja de traspatio	83

RESUMEN

El objetivo fue estimar una función de producción con características de rendimientos marginales decrecientes en la producción de lechones en función al número de partos en una granja tecnificada de Temascaltepec, Estado de México, en 2023, mediante un modelo estadístico aditivo lineal en los parámetros y no lineal en las variables (modelo cúbico), con información de campo proveniente de una granja bajo un sistema de producción tecnificado ubicada en el municipio de Temascaltepec, Estado de México, durante 2023. La variable dependiente del modelo fue el número de lechones y la independiente el número de partos. Los resultados mostraron que al nivel óptimo técnico (NOT) la cantidad de partos fue 2.54, la producción máxima de lechones de 10.4749 y la ganancia en dinero de \$1,794.0. En contraste, al nivel óptimo económico (NOE), la cantidad de partos fue 2.45 equivalente a una producción de 10.4736 lechones y una ganancia en dinero de \$1,878.3. Se concluye que el punto de máxima producción de lechones no necesariamente significó obtener la máxima ganancia en dinero.

Palabras clave: lechones, partos, óptimo técnico, óptimo económico, ganancia en dinero.

ABSTRACT

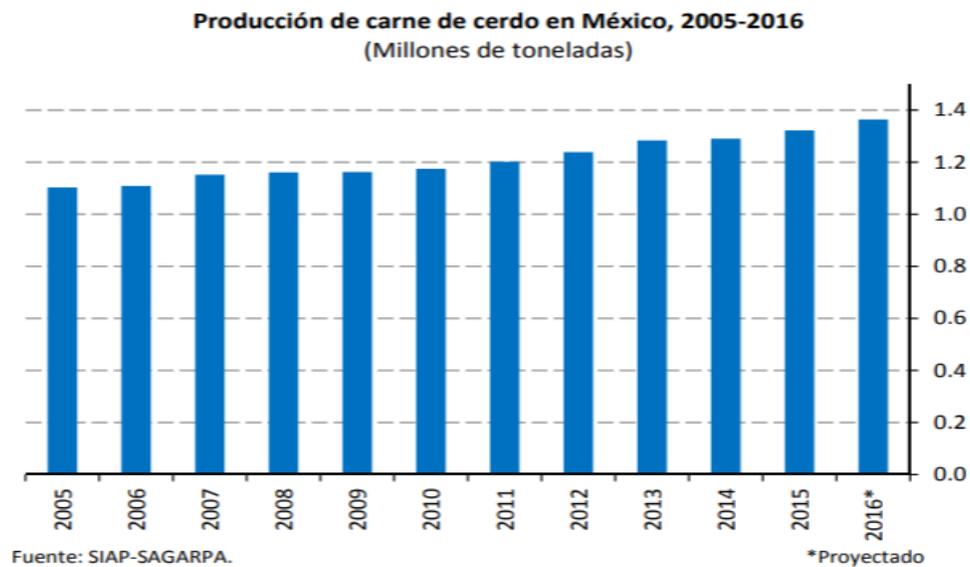
The objective was to estimate a production function with characteristics of decreasing marginal returns in piglet production based on the number of births on a technical farm in Temascaltepec, State of Mexico, in 2023, using a linear additive statistical model in the parameters and not linear in the variables (cubic model), with field information from a farm under a technical production system located in the municipality of Temascaltepec, State of Mexico, during 2023. The dependent variable of the model was the number of piglets and the independent the number of births. The results showed that at the optimal technical level (NOT) the number of farrowings was 2.54, the maximum production of piglets was 10.4749 and the monetary profit was \$1,794.0. In contrast, at the optimal economic level (NOE), the number of farrowings was 2.45, equivalent to a production of 10.4736 piglets and a monetary profit of \$1,878.3. It is concluded that the point of maximum piglet production did not necessarily mean obtaining the maximum profit in money.

Keywords: piglets, farrowing, technical optimum, economic optimum, money gain.

I. INTRODUCCIÓN

La producción de carne de cerdo en México ha crecido a una tasa promedio anual de 2% en el periodo de 2006 a 2015 (Figura 1). Se pronostica que la producción nacional de carne de cerdo en 2019 supere 1.4 millones de toneladas (t), es decir, un crecimiento anual de 3.2%. Destaca la mayor productividad inducida por mejoramiento genético en el pie de cría. Por otro lado, se prevé que el consumo nacional aparente de carne de cerdo mantenga su ritmo de crecimiento durante 2016. En términos más específicos, el consumo *per cápita* de carne de cerdo en México ha crecido más rápido que el de otras carnes. En 2016 se alcanzó un nivel récord en el consumo per cápita de este cárnico (FIRA, 2016).

Figura 1. Producción de carne de cerdo en México, 2005-2016

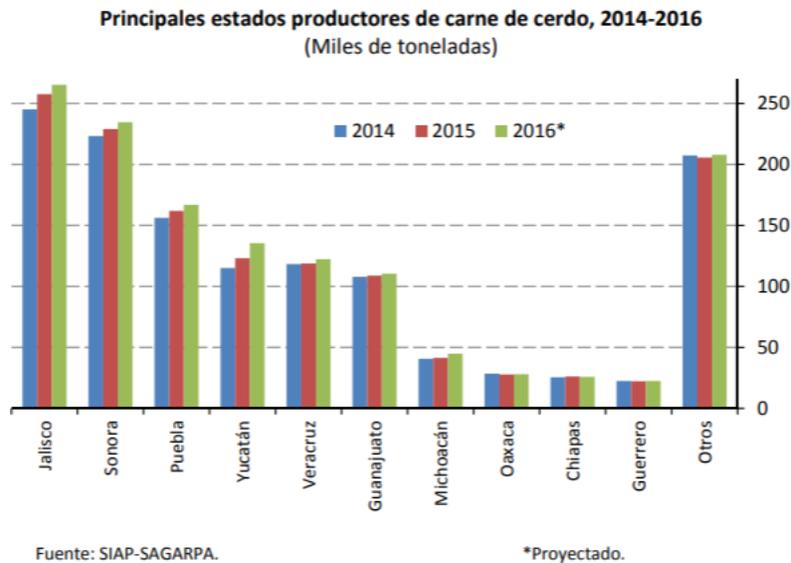


Fuente: elaboración propia con datos del SIAP, 2023.

En lo que respecta a la producción de carne por entidad federativa, se observa que el 67.3% (Figura 2) de la producción nacional se concentra en cinco entidades.

Durante 2015, en Jalisco se produjo el 19.5% del total nacional; en Sonora el 17.3; 12.2 en Puebla, 9.3 en Yucatán y en Veracruz el 9% de la producción nacional del cárnico (FIRA, 2016).

Figura 2. Carne de cerdo en México. Principales países productores, 2014-2016



Fuente: FIRA, 2016.

Existen en México una gran variedad de sistemas productivos que de acuerdo con sus principales características se agrupan en tres categorías: tecnificado, semitecnificado y de traspatio o de autoabastecimiento (extensiva). El sector tecnificado abarca el 46% de la píaara, el semi-tecnificado el 20% y el de traspatio el 34% del inventario porcino; en el primero se produce el 55% de la producción de carne de cerdo; en el segundo el 20% y el resto, que no entra en los circuitos de comercialización formales, lo aporta el sector de traspatio.

En la región Sur del Estado de México, principalmente en los municipios de Luvianos, Tejupilco, Temascaltepec, Zacazonapan, Texcaltitlán, etc., predomina la porcicultura de traspatio o extensiva en un 63.6%, con píaaras desde cinco a 50 cerdos por unidad de producción porcina (Figura 3). Por su parte, el sistema semi-

intensivo o semi-tecnificado ocupa el restante 36.4% de la producción local. Es importante destacar que la porcicultura intensiva no se practica en la región debido a que no se cuentan con las condiciones necesarias para su desarrollo (Hernández, 2014).

Figura 3.Cerdas en gestación

Fuente: propiedad de los autores.



Los cerdos se caracterizan por un porcentaje de mortalidad neonatal elevado, constituyendo en ocasiones hasta el 10% de los lechones nacidos totales, y eso, a

pesar de emplear las tecnologías más modernas en producción animal (Bobadilla, 2013).

En la actualidad los sistemas de producción porcina están determinados por indicadores reproductivos, económicos, sociales y ambientales. El sistema porcícola en México a pesar de tener piaras muy bien tecnificadas es difícil que cumplan con sus metas debido a efectos del personal o debido a la propia biología de la especie, efectos que causan ineficiencia productiva, pérdidas económicas y aumento de la importación de la carne de cerdo.

Se cree que el factor que desencadena el desfase productivo de la piara (Figura 4) es principalmente, el intervalo destete-estro (IDE) mismo que afecta el porcentaje de servicios repetidos (PSR), incrementándose al 15%. Tanto el incremento del IDE y PSR provocan aumento de días no productivos (DNP), lo que termina generando disminución en el número de partos/cerda/año (PCA), así como menor cantidad de lechones nacidos vivos (NV) por camada. Esta combinación entre fallas reproductivas (incremento del IDE, PSR y DNP) y la eliminación forzada de hembras jóvenes repercuten, negativamente, en los costos de producción de los sistemas de producción porcina (SPP) (Ordaz, 2014).

Es por ello que una de las principales preocupaciones de los productores de cerdos (porcicultores) en la actualidad es la longevidad de las cerdas ya que este es un factor crítico para la productividad y rentabilidad de los sistemas, debido a los altos costos de reemplazo de las mismas.

Figura 4. Cerdas de remplazo



Fuente: imagen propiedad de los autores.

II. ANTECEDENTES

Dentro de una producción de cerdos, en específico una de ciclo completo; es decir, donde se produce desde el pie de cría y se engorde; es importante reducir costos de producción, principalmente los que conciernen a la alimentación, que representan entre un 65% y 70% del costo total de alimentación; en segundo lugar, se considera la producción del pie de cría para que la unidad siga generando un producto final, que en este caso es la carne.

De acuerdo con lo anterior, cuando ya no se consigue disminuir los costos de alimentación, se deben de buscar otras alternativas para que la actividad comercial sea más rentable, es esencial saber cuánto cuesta producir un lechón, considerando todo lo que se les invierte a las cerdas y, saber si es conveniente mantener cerdas reproductoras y hasta qué instancias es recomendable tenerlas en producción, ya que la cerda interviene directamente en la mortalidad neonatal que se pueda tener. Por lo tanto, se debe tener como objetivo producir la mayor cantidad de lechones durante toda su vida útil de la cerda, para que sean engordados y se generen ingresos (Martínez, 2016).

Sin embargo, existen factores en la producción moderna que alteran el ciclo reproductivo de las cerdas y evitan llegar al objetivo de las granjas productivas, como son: selección y aclimatación de cerdas primerizas, manejo de los partos y lactancia, flujo de hembras y mano de obra. Esto se confirma revisando las tasas de desecho de las décadas de los 80`, 90` y en los años 2000, que eran del 33%, 40% y 50% respectivamente (Martínez, 2016), lo que indica un aumento en la tasa de desecho con los años debido a cambios en la genética de las hembras (Figura 5), que las vuelven más susceptibles a problemas reproductivos.

De acuerdo con datos tomados en PIGChamp se establece una tasa de desecho de 47% y una tasa de reemplazo de 53% con un promedio de 3.1 partos al desecho (Martínez, 2016).

Figura 5. Inseminación de cerdas



Fuente: imagen propiedad de los autores.

Uno de los factores a considerar para decidir el desecho de una cerda es el número de partos que ha tenido, ya que si la cerda está por corto tiempo como reproductora en la granja se alcanza una pérdida económica y una pérdida reproductiva elevada para la granja.

Considerar que las cerdas de reemplazo también generan un costo a la granja, tanto en su crecimiento y periodo de aclimatación, todo esto se debe considerar en la producción de lechones de cada cerda durante toda su estancia en la granja. (Alzina, Ek, Segura, & Rodríguez); sin embargo, tampoco se debe alargar la estancia de las cerdas como reproductoras si no están siendo eficientes económicamente. Se debe de hacer una programación de acuerdo a los resultados que de la cerda.

La planeación del desecho temprano o tardío de las cerdas reproductoras en las granjas comerciales ofrece la posibilidad de mejorar la rentabilidad principalmente además de la reducción de los días no productivos en la granja (Alzina, Ek, Segura, & Rodríguez). Esto último se refiere a cerdas sin problemas reproductivos, ya que existen otras causas por las cuales se desechan las cerdas, como son: baja productividad de lechones y/o leche, abortos, problemas de locomoción, enfermedades, edad avanzada, etc. (Alzina, Ek, Segura, & Rodríguez).

Las cerdas desechadas por edad avanzada están más acostumbradas a trabajos reproductivos intensos por lo que sus días no productivos son menores en comparación con las cerdas con estancias más cortas, esto es común después del quinto parto (Alzina, Ek, Segura, & Rodríguez).

Por otro lado, algunos consideran que desecho las cerdas por edad avanzada es relativo ya que esto va a depender de cada productor, algunos solo las mantienen hasta el quinto o sexto parto y otros consideran los años de vida de la cerda. Aunque las cerdas desechadas por esta razón presentan ventajas como alto

comportamiento biológico, como buena tasa de ovulación, fertilización, sobrevivencia embrionaria y habilidad materna (Alzina, Ek, Segura, & Rodríguez).

III. JUSTIFICACIÓN

En la producción actual de porcinos existe una gran presión sobre las cerdas como lo son: manejos especiales en el parto para cada una de ellas, manejo en la lactancia, aclimatar a primerizas y un personal técnico bien capacitado. De ahí que las investigaciones genéticas en los últimos años se han generado grandes avances en cuanto a hembras altamente productivas, pero con ello altamente sensibles a los mismos factores en su producción actual los cuales ejercen una presión sobre ellas mayor.

En otras palabras, a ganancia genética mayor para tener mejores reproductoras se tienen cerdas con riesgo mayor de sufrir problemas neurológicos, fisiológicos y de comportamiento. Ya que muchas de las cerdas presentan retraso a la pubertad, intensidad menor de celo con estros más cortos y con todo ello cuidados más especiales para cada una de ellas.

Se puede confirmar lo anterior con los datos de tasa de desecho en las diferentes granjas de la zona los cuales hace 20 años promediaron una tasa del 20% al 30% y en la actualidad un promedio arriba del 50% debido a la gran exigencia productiva que se tiene en la actualidad para abastecer el mercado y a su vez sea rentable la producción.

El principal propósito comercial de las cerdas es el de producir lechones y si ello es eficiente cualquier piara tendrá un margen de utilidad elevado.

El número de lechones producidos por cerda al año es el factor más influyente sobre la productividad en la producción de cerdo. Es por ello esencial saber en qué parto inicia la baja de su productividad de las cerdas para que esto ayude a evitar pérdidas económicas y mantener animales que ya no son productivos económicamente para las piaras. En algunos casos la literatura indica que se debe desechar en el quinto parto, en otros casos van del séptimo al doceavo parto, pero en ninguno de los

casos se basan en hechos reales o se justifican con información estadística y económica.

La productividad de la cerda es importante y es clave para que la piara sea rentable, es por ello que saber el número de partos que debe tener antes de desecharla es esencial para reducir costos y optimizar el sistema porcícola presente en la granja.

Dejar una cerda en producción después de que su pico de producción va en descenso genera un riesgo de mantener animales que ya no son productivos económicamente, por ello es importante detectar el momento óptimo-económico para desecharlas y saber hasta qué número de lechones por parto siguen siendo generadoras de ganancias para la piara.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Situación mundial de la porcicultura

El análisis que aquí se presenta es una comparación mundial de los cerdos entre 2021 y 2022 con datos disponibles, principalmente del Consejo Mexicano de la CARNE (COMERCARNE), debido a que la base de datos que ellos utilizan se basa en fuentes oficiales tanto de México como de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, por sus siglas en inglés), algunas veces del USDA (Departamento de Agricultura de Estados Unidos), entre otras.

Con base en el Consejo Mexicano de la Carne (COMECARNE, 2023), la carne de cerdo figura como la segunda fuente de proteína a nivel global, sólo después de las aves (en las aves se consideran tanto la carne de pollo como la de pavo, incluso también la de guajolotes, si es que se reportan cifras). China es el país que lidera al mundo en consumo por habitante, término que se conoce como *consumo per cápita*.

El consumo mundial de carne manifestó un nuevo máximo histórico de poco más de 268.5 millones de toneladas (t) durante el año de 2022; así, con relación al del año 2021 aumentó 2.5%. Sin embargo, con base en los pronósticos realizados, se espera que para 2023 se haya observado un ascenso de 0.9%, a la fecha de esta tesis, aún no se disponía del dato oficial.

Por otro lado, la caída de la ingesta de carne bovina (0.9%) y un ritmo menor de incremento de la de cerdo (5.2%) y la carne de pollo (0.6%) limitaron la dinámica de ascenso del consumo total durante 2022. Tales previsiones indican la continuidad en la desaceleración del consumo cárnico de bovino y porcino a nivel mundial.

Dos terceras partes de la carne consumida en el planeta correspondieron a China (30.5%), Estados Unidos (15.1%) y la Unión Europea (13%). De los 81.9 millones de toneladas de proteína cárnica consumida por el país asiático (China), la principal corresponde a porcino (56.9 millones), en la nación norteamericana es la de ave la

de mayor preferencia (17.7 millones) y en la Unión Europea es la de res (18.6 millones).

La ingesta cárnica por habitante más significativa la tiene Estados Unidos: 119 millones de toneladas y es la de pollo la de mayor producción (21 millones) y en tercer sitio se posicionó la Unión Europea con 40.4 millones de toneladas, en ella, la carne de porcino tuvo el aporte más importante con 22.7 millones de toneladas.

Por tipo de proteína, Estados Unidos lideró la de pollo (52 kilos), Argentina la de bovino (50 kilos) y la Unión Europea la de cerdo (45 kilos). China es el productor mayor de carne, en 2022 cifró 76.4 millones de toneladas, la de cerdo es su principal proteína generada (55 millones), en segundo lugar, estuvo Estados Unidos con 46.1 millones de toneladas y es la de pollo la de mayor producción (21 millones) y en tercer sitio se posicionó la Unión Europea con 40.4 millones de toneladas (COMECARNE, 2023).

En 2022 el planeta consumió 268.6 millones de toneladas de todas las carnes, produjo 274.3 millones y se comercializaron 36.6 millones de toneladas de carne. Así, en la variable consumo, China, Estados Unidos y Unión Europea representaron esta variable (Cuadro 1, Figura 6), en la que México ocupó la sexta posición mundial con un volumen de 9.3 millones de toneladas.

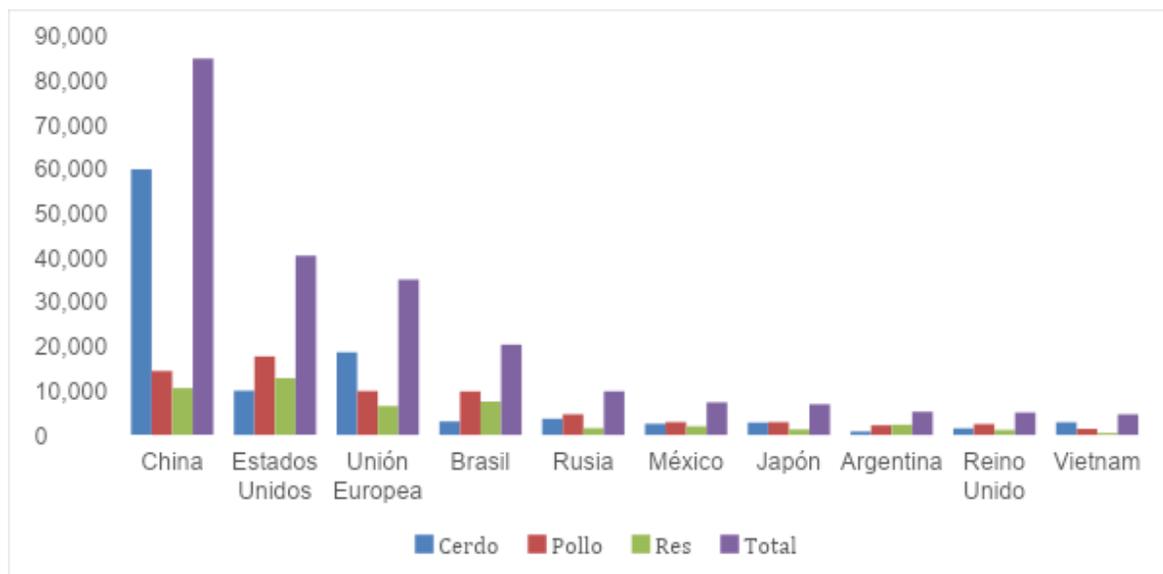
Cuadro 1. Distribución mundial del consumo de carne, 2022. Cifras en miles de toneladas.

País	Cerdo	Pollo	Res	Total
China	59,948	14,415	10,555	84,918
Estados Unidos	9,964	17,706	12,809	40,479
Unión Europea	18,640	9,890	6,515	35,045
Brasil	3,033	9,810	7,524	20,367
Rusia	3,650	4,650	1,530	9,830
México	2,505	2,881	1,945	7,331
Japón	2,782	2,881	1,247	6,910
Argentina	760	2,165	2,298	5,223
Reino Unido	1,475	2,445	1,125	5,045
Vietnam	2,845	1,371	420	4,636

Fuente: COMECARNE, 2023.

La Figura 6, da muestra del comportamiento del consumo de carnes por los principales países del mundo en 2022. En el caso de México, en ese año, la carne de pollo estuvo por arriba de la de cerdo y res, aunque la carne de cerdo ocupó la segunda posición con 2 millones 505 mil toneladas.

Figura 6. Comportamiento del consumo de carne de cerdo en los principales países



Fuente: COMECARNE, 2023.

La carne de porcino funge como la proteína con consumo mayor en todo el mundo (Figura 6), en el año de 2022 cifró 112 millones 538 mil toneladas, le prosiguieron las de pollo y res. La ingesta de carne de pollo o el consumo de carne de pollo presentó el crecimiento mayor sexenal (2017-2022): 2.3%.

Con relación al consumo de carne por habitante, en 2022, los norteamericanos consumieron 119 kg por persona y fueron quienes más carne ingirieron en ese año a nivel mundial, le siguieron Argentina, Brasil, Unión Europea, Reino Unido, México (73 kg), Rusia, entre otros (Cuadro 2). Con relación a México, en ese año cada connacional consumió 73 kg representados, en primer lugar, por la carne de pollo (38 kg) (cuarta posición mundial), cerdo (20 kg) (octava posición mundial) y res (15 kg) (sexto consumidor mundial); en otras palabras, en 2022 el consumo *per cápita* de carne de cerdo en México se ubicó en 20 kg (COMECARNE, 2023).

4.2 Situación nacional

En 2021, de acuerdo con cifras oficiales, se produjeron en México 1 millón 687 mil t de carne de cerdo, distribuidas, casi de manera uniforme, mensualmente. El Cuadro 2 y Figura 7 permiten exhibir, de forma mensual, que la producción observada en 2021 fue casi homogénea, sin embargo, el mes en que se registró un volumen menor fue marzo con 132.8 miles de t y diciembre el mes que presentó el volumen mayor al registrar 163.3 miles de t (SIAP, 2024).

Es válido afirmar que esa variable; esto es, la producción, creció de forma mensual en 1.8% a partir de enero del mismo año (2021). La producción mensual menor representó 81.3% con relación al volumen mayor que se obtuvo en diciembre del mismo año 2021. Ante ello, es posible afirmar que diciembre reportó la producción mayor de carne de cerdo debido a fiestas de fin de año, en las que los consumidores demandan más carne para los festejos familiares como parte de la tradición mexicana.

Cuadro 2. México. Producción mensual de carne de cerdo 2021.

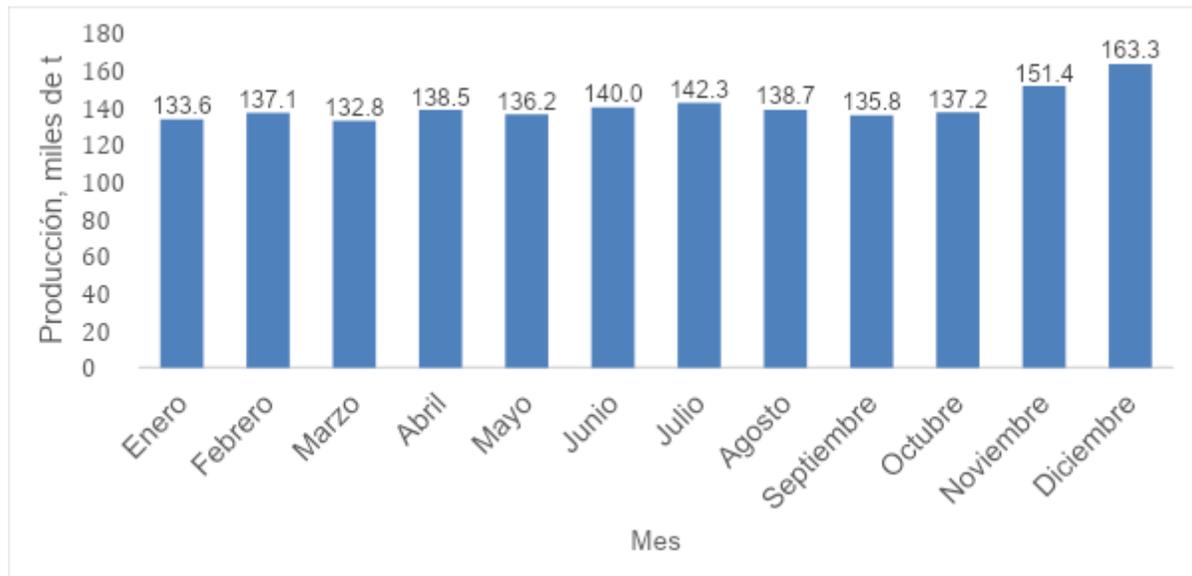
Mes	Producción (miles de t)
Enero	133.6
Febrero	137.1
Marzo	132.8
Abril	138.5
Mayo	136.2
Junio	140.0
Julio	142.3
Agosto	138.7
Septiembre	135.8
Octubre	137.2
Noviembre	151.4
Diciembre	163.3

Total

1,686.9

Fuente: Elaboración propia con cifras del SIAP, 2024.

Figura 7. México. Producción mensual de carne de cerdo. Miles de toneladas



Fuente: elaboración propia, con cifras del SIAP, 2024.

Por su parte, durante el 2022 los mercados de diversas naciones no fueron ajenos a la inestabilidad provocada por la guerra rusa-ucraniana y al impacto de la escalada en los precios internacionales de diversos energéticos, materias primas y alimentos. Sin embargo, el sector mexicano de carnes presentó condiciones que posibilitaron un incremento anual de 3.1% en el consumo de carne de corte y de 2.2% en el de carnes frías. En el primer grupo, un 73.6% se cubrió con producción interna y el 26.4% restante con el adquirido de otras naciones (COMECARNE, 2023).

Al continuar en el análisis de datos proporcionados por el COMECARNE (2023), el consumo *per cápita* nacional en 2022 alcanzó los 76.9 kilos en carne de corte y 8.6 kilos en carnes frías, en ambos grupos, el ritmo de incremento anual del lapso 2017-2022 superó al de la población (inferior al 1%). Por tipo de proteína, el consumo de pollo presentó el mayor volumen con 4.6 millones de toneladas, le prosiguieron las

carnes de cerdo y res con 2.7 y 2 millones de toneladas, y la de pavo, ovino y caprino conjuntaron otras 286 mil.

El volumen de carne en canal producido en 2022 cifró 7.8 millones de toneladas que superó en 2.6% al del año 2021. En términos cuantitativos el sector cárnico nacional tiene el reto de corto plazo el de generar excedentes anuales al menos equivalentes al máximo histórico de los últimos seis años (284 mil toneladas) el cual aconteció en 2019.

En la comercialización externa de cárnicos de corte y frías, México documentó 3 millones 248 mil toneladas, de ese volumen 598 mil correspondieron a las exportaciones y 2 millones 651 mil a las importaciones. El valor monetario de los bienes comercializados alcanzó 9 mil 292 millones de dólares, de los cuales 3 mil 266 derivaron de las ventas efectuadas a otras naciones y 6 mil 25 al monto erogado por el país para su adquisición para el abatimiento de su consumo interno. La comparativa del volumen del intercambio comercial de 2022 *versus* 2021 mostró un incremento de 0.6% en el exportado y 3.5% en el importado (COMECARNE, 2023).

Con referencia al comercio internacional de carne de cerdo, en 2022, México exportó un total de 225 mil toneladas de esa carne e importó 1,409 miles de toneladas, con ello, su balance comercial de ese año fue de -1,184 miles de toneladas. Las importaciones por mes fueron casi homogéneas durante el año; el promedio mensual importado fue de 117 ± 9 mil toneladas; sin embargo, fueron los meses de noviembre y diciembre en los que se registró el volumen importado mayor en comparación con el resto de los meses. Abril y julio de ese año reportaron el volumen importado menor (Cuadro 3) (COMECARNE, 2024).

En seguimiento con los datos oficiales reportados por el COMECARNE (2024), en el mismo año 2022, México exportó, como parte de su producción interna 225 mil toneladas de carne de cerdo, con un promedio mensual de 19 ± 2 mil toneladas; esto es, el volumen mensual exportado fue homogéneo durante todo el año. Los

meses de mayo y julio de ese año reportaron el volumen exportado mayor con relación al resto (Cuadro 3).

Cuadro 3. Importaciones y exportaciones mensuales de carne de cerdo en México, 2022.

Mes	Importaciones (miles de t)	Exportaciones (miles de t)	Balance comercial
Enero	127	17	-110
Febrero	109	18	-91
Marzo	123	23	-100
Abril	105	17	-88
Mayo	120	23	-97
Junio	110	19	-91
Julio	105	20	-85
Agosto	114	18	-96
Septiembre	111	18	-93
Octubre	122	17	-105
Noviembre	133	17	-116
Diciembre	130	18	-112
Promedio	117	19	-99
Std	9	2	10
Total	1,409	225	-1,184

Fuente: COMERCARNE, 2024. Std: error estándar.

Con base en cifras del COMECARNE (2024), en 2022 México consumió 9 millones 842 mil toneladas de carne: de las cuales, 4 millones 674 mil toneladas correspondieron a pollo, 2 millones 914 mil a cerdo, 2 millones 6 mil toneladas a res y el resto a carnes de las especies pavo, ovinos y cabras. En este sentido el consumo de carne de pollo representó 48% del total de carnes consumidas por la población.

Por tipo de proteína, de los 76.4 kilogramos (kg) *per cápita* de carnes consumidas en 2022, 36.6 kg fueron de pollo, 22.1 de cerdo, 15.6 de res y el resto a pavo, ovinos y cabras. Por otro lado, la producción nacional de carnes (Cuadro 3) ha presentado una TMCA (Tasa Media de Crecimiento Anual) positiva, al pasar de 6.7 millones de t en 2017 a 7.8 millones en 2022; es decir, un aumento promedio anual de 3.1%. En especial, la producción nacional de carne porcina creció, en promedio, 3.7%, ligeramente arriba del total nacional, al pasar de 1.4 millones de t en 2017 a 1.7 millones en 2022 (COMECARNE, 2024).

Cuadro 4. Producción de carne en las principales especies pecuarias en México, 2017-2022. Cifras en miles de toneladas.

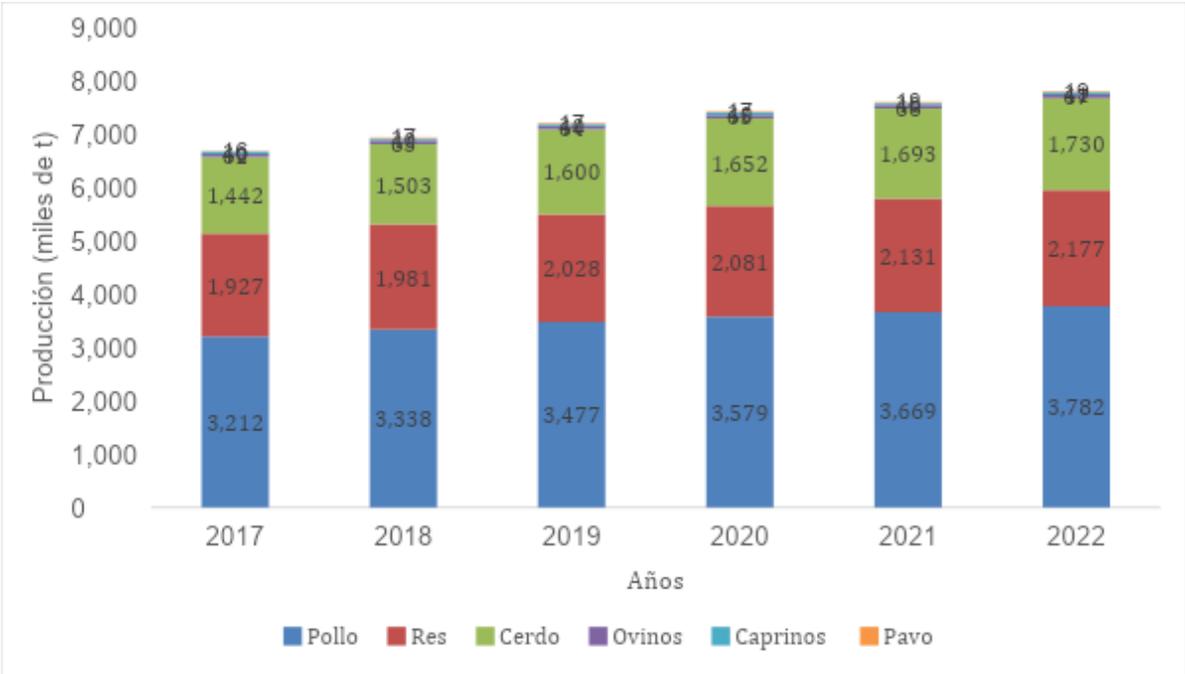
Año	Pollo	Res	Cerdo	Ovinos	Caprinos	Pavo	Total
2017	3,212	1,927	1,442	62	40	16	6,699
2018	3,338	1,981	1,503	63	40	17	6,942
2019	3,477	2,028	1,600	64	40	17	7,226
2020	3,579	2,081	1,652	65	40	17	7,434
2021	3,669	2,131	1,693	66	40	18	7,617
2022	3,782	2,177	1,730	67	41	19	7,816

Fuente: COMECARNE, 2024.

La Figura 8 presenta la evolución de la producción de carnes en México, resaltando el pollo como la proteína más preferida por los mexicanos. En dicha figura, no se distinguen las cifras de las especies pavo, cabra y ovino por tener una cifra, en magnitud, pequeña con relación a las tres primeras.

La producción de carne de cerdo en 2022 cifró 1 millón 730 mil toneladas, cuya carne provino de un inventario anual de 19 millones 542 mil cabezas sacrificadas; 3.2% superior al año previo. Del total de cabezas porcinas sacrificadas, 10 millones 903 mil se realizaron en rastros Tipo Inspección Federal (TIF), 5 millones 403 mil cabezas en rastros privados y 4 millones 666 mil en rastros municipales (COMECARNE, 2024).

Figura 8. México. Producción nacional de carnes, 2017-2022



Fuente: COMECARNE, 2024.

La producción nacional de carne de cerdo en 2022 (1,730,316 t), la representaron Jalisco (309,562 toneladas), Sonora (308, 499 toneladas) y Puebla (183,134 toneladas), en conjunto, esas tres entidades colaboraron con 51.5% del total. El Cuadro 5 y Figura 9 muestran las 10 entidades representativas en producción de carne de cerdo en 2022. Se observa que el estado de Querétaro ocupó la posición número 10 (27,448 t) al aportar 1.6% al total nacional; el Estado de México representó la posición número 12 con 22,408 t (1.3% del total), en tanto que Baja California Sur representó el lugar número 32 (la última de la lista) con tan solo 1,012 toneladas de carne, equivalente a 0.1% del total del país (COMECARNE, 2024).

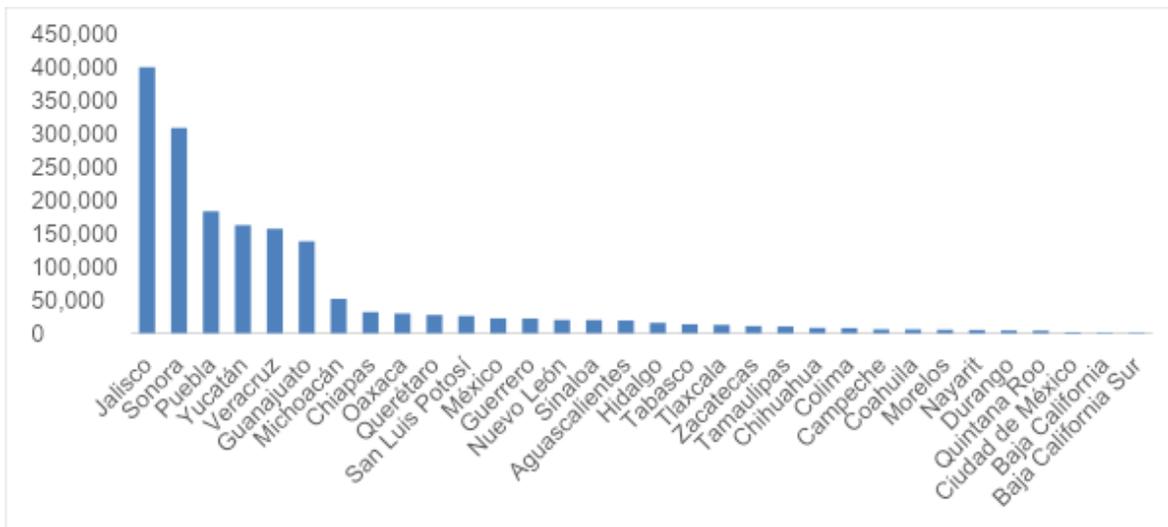
Cuadro 5. Producción de carne de cerdo por entidad federativa. 2022.

Estado	# lugar	Producción (t)	%
Jalisco	1°	399,562	23.1%
Sonora	2°	308,499	17.8%
Puebla	3°	183,134	10.6%
Yucatán	4°	162,288	9.4%
Veracruz	5°	156,857	9.1%
Guanajuato	6°	138,027	8.0%
Michoacán	7°	51,679	3.0%
Chiapas	8°	31,776	1.8%
Oaxaca	9°	29,614	1.7%
Querétaro	10°	27,448	1.6%
San Luis Potosí	11°	26,001	1.5%
México	12°	22,408	1.3%
Guerrero	13°	22,073	1.3%
Nuevo León	14°	19,981	1.2%
Sinaloa	15°	19,876	1.1%
Aguascalientes	16°	19,153	1.1%
Hidalgo	17°	15,672	0.9%
Tabasco	18°	13,529	0.8%
Tlaxcala	19°	12,565	0.7%

Zacatecas	20°	10,783	0.6%
Tamaulipas	21°	10,175	0.6%
Chihuahua	22°	8,039	0.5%
Colima	23°	7,717	0.4%
Campeche	24°	5,797	0.3%
Coahuila	25°	5,775	0.3%
Morelos	26°	5,213	0.3%
Nayarit	27°	4,836	0.3%
Durango	28°	4,169	0.2%
Quintana Roo	29°	3,871	0.2%
Ciudad de México	30°	1,663	0.1%
Baja California	31°	1,124	0.1%
Baja California Sur	32°	1,012	0.1%
Total		1,730,316	100.0%

Fuente: elaboración propia con cifras del COMECARNE, 2024.

Figura 9. México. Producción de carne de cerdo, 2022, por entidad federativa. Cifras en toneladas



Fuente: elaboración propia, con datos del COMECARNE, 2024.

En 2022, los mexicanos consumieron 2 millones 914 mil 468 toneladas de carne de cerdo, de las cuales 51.7% fue producción nacional y 48.3% importaciones (Cuadro 5). Con relación a 2017, tanto la producción como el consumo del cárnico crecieron en promedio 3.7 y 4.7%, siendo mayor la tasa de crecimiento del consumo con relación a la producción. Lo anterior, debido a que las importaciones, para el mismo periodo crecieron 69.7% en promedio, las exportaciones lo hicieron en 11.7%, lo cual da evidencia del dinamismo en la variable importaciones y un crecimiento lento de la producción nacional (COMECARNE, 2024).

Cuadro 6. Consumo de carne de cerdo en México. 2017-2022. Cifras en toneladas.

Año	Producción (t)	Importaciones (t)	Exportaciones /t)	Consumo (t)
2017	1,441,850	1,000,552	128,804	2,313,598
2018	1,502,521	1,090,200	136,621	2,456,100
2019	1,600,446	1,084,744	182,136	2,503,054
2020	1,652,362	1,053,714	266,224	2,439,852
2021	1,693,006	1,273,286	251,218	2,715,074
2022	1,730,316	1,408,226	224,074	2,914,468

Fuente: elaboración propia con información del COMECARNE, 2024.

Una vez más, con base en cifras del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2024), consultado en 2024, en México, la producción de carne en canal de cerdo en 2022 registró un volumen de 1,730 miles de toneladas, un precio promedio por kilogramo nacional de \$33.3, equivalente a un valor de la producción de 72.7 mil millones de pesos corrientes.

En este sentido y al continuar con las cifras del SIAP (consultado en 2024), en 2022 Jalisco presentó un precio por kilogramo en canal de \$55.9, Puebla de \$48.7, Sonora de \$41.1 y el Estado de México de \$54.3. Los precios por entidad estuvieron alrededor del promedio nacional; sin embargo, resultó curioso que entidades representativas en producción, el precio haya sido mayor que entidades con poco

aporte al total nacional, por ejemplo, Baja California Sur registró un precio de \$41.2 por kilogramo, CDMX de \$49.5 y así con otras entidades.

V. HIPÓTESIS

El nivel óptimo técnico en el número de parto de las cerdas se logra en el quinto parto, en tanto que el nivel óptimo económico se logra antes del quinto parto.

VI. OBJETIVOS

6.1 General

Estimar un modelo estadístico (función de producción) que permita saber en qué parto de la cerda se alcanza la máxima producción en número de lechones y en qué parto se obtiene la máxima ganancia en dinero.

6.2 Específicos

- a. Determinar la función de producción mejor ajustada a la masa de datos relacionada con los partos.
- b. Obtener el modelo estadístico que representa el nivel óptimo técnico o punto de máxima producción en número de lechones promedio por parto.
- c. Generar la ecuación matemática o modelo estadístico que representa el nivel óptimo económico en la producción de lechones.
- d. Demostrar que la máxima producción de lechones no necesariamente implica obtener la máxima ganancia en dinero por la venta de los mismos.

VII. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

7.1 Origen

La porcicultura es toda actividad que tiene que ver con la crianza, alimentación y comercialización de los cerdos, pero ¿qué hay más allá de esta definición? Para poder responder a esta pregunta tenemos que remontarnos mucho tiempo atrás en la historia para poder comprender a fondo esta milenaria actividad.

La incursión del cerdo en América se remonta a la época de la conquista, donde los colonizadores entre todos los insumos que traían para su alimentación, se encontraban especies animales vivas, como bovinos, ovinos porcinos, etc.; con el propósito de alimentar a los soldados, tiempo después el mismo Hernán Cortez redactaría las reglamentaciones de explotación de criaderos en las colonias principalmente en la Nueva España en 1525.

Cabe mencionar que los conquistadores no esperaban encontrar el nuevo mundo en tan corto tiempo, ya que ellos llevaban alimentos para un viaje más largo. Dentro de las normas se mostraba el interés de crear una explotación porcina, ya que durante la década de 1520 tuvo una buena rentabilidad en México y Panamá, manifestándose en la década siguiente en Perú y en la meseta de Bogotá; principalmente por que la demanda era muy alta y no existía una oferta de carne suficiente para cubrirla.

En cada territorio donde se empezaba a criar la cría porcina el precio de la carne era variable, ya que dependía de la oferta y del crecimiento socioeconómico de las colonias (Del Rio Moreno, 1996).

A la llegada del cerdo a México a principios del siglo XVI ha ocurrido una serie de procesos de domesticación, lo cual derivó la generación de tres razas domesticadas: Cuino, Constante o pata de mula y Birich o Cerdo pelón mexicano.

Las cuales fueron generadas de acuerdo a las necesidades humanas de la época, condiciones genéticas, ecológicas y de alimentación. Para propagarse exitosamente y sobrevivir hasta nuestros días (Ogata, 2019).

Desafortunadamente en la actualidad las necesidades han cambiado y con ello han sido reemplazados por razas más adecuadas para la producción moderna dejando de lado la especie nativa.

7.1.1 Primeras razas de cerdos que llegaron a México

Cuino

Las primeras poblaciones de cerdos Cuinos (Figura 10 y 11) fueron introducidas por los españoles desde Asia, esta raza muy probablemente desembarcó en Acapulco, Guerrero y San Blas, Nayarit. En la actualidad de acuerdo a los informes de la FAO (Scherf, 2000) la raza cuino se considera en estado crítico de acuerdo a las siguientes consideraciones:

- 1) Que el número total de hembras es igual o menor a 100 individuos
- 2) Que el número total de machos es menor o igual a cinco
- 3) Que la población total es menor o igual a 120 individuos y decreciendo, y que el porcentaje de hembras por aparearse es menor del 80%.

Con ello se puede considerar que esta raza está por desaparecer (Ogata, 2019)

Figura 10. Cuino



Fuente: propiedad de los autores.

Figura 11. Cerdos cuinos



Fuente: Imagen propiedad de los autores.

Cóscate o Pata de mula

Debió haber llegado por el Golfo; es una raza (Figura 12, 13, 14) que se reconoce porque los individuos presentan *sindactilia* (recordando una pezuña de equino) y pelo de coloración variable. Al igual que la raza cuina su población es muy escasa y solo se le ha visto en el Golfo de México (Ogata, 2019).

Figura 12. Pata de mula



Fuente: imagen de internet extraída de forma libre.

Figura 13. Cerdos pata de mula



Fuente: imagen de internet extraída de forma libre.

Figura 14. Cerdo casquete de mula



Fuente: imagen de internet extraída de forma libre.

Raza: Birch o Cerdo Pelón Mexicano (CPM)

Tiene su origen en los porcinos que llegaron a México en 1492 en embarcaciones provenientes de Europa (Figura 15). Actualmente, parte de esa raza se localiza en la península de Yucatán, donde se cuenta con una reserva genética con ejemplares puros.

Su característica definitiva es la rusticidad ya que para su alimentación puede utilizarse forraje de mala calidad además de que presenta resistencia a enfermedades endémicas y al clima cálido. En la actualidad esta raza se encuentra en peligro de extinción ya que existen menos de 1,000 cerdos puros en Yucatán. (Castro, 2010).

Figura 15. Cerdo pelón mexicano



Fuente: imagen de internet extraída de forma libre.

Para el siglo XX se dio un giro total ya que se inició la importación de razas mejoradas dando con ello un crecimiento en la producción durante varias décadas lo cual convirtió al cerdo en la segunda fuente de abastecimiento de carne en México.

7.2 Actualidad

La industria porcícola se mantiene dentro de la actividad pecuaria en el territorio nacional, generando con ello más de un millón de toneladas (t) de carne

anualmente, teniendo con presencia mayor de producción a los estados de Jalisco, Sonora y Puebla. Representando hasta un 48% de producción nacional.

Del cerdo, prácticamente, se ocupa todo; principalmente carne, piel, sangre y huesos es por ello que ha ganado gran popularidad en la actualidad y se mantiene a lo largo de los años. Además de que brinda una gran fuente de empleo desde la crianza hasta su comercialización y ayuda al desarrollo económico de las zonas donde se realiza esta producción.

Estimaciones actuales esperan que para el 2021 la producción porcina mexicana sea de 20.8 millones de cabezas (cab) lo cual superará a las establecidas en el 2019 y 2020. Esto se debe a que los productores continúan integrando verticalmente las cadenas de producción, invirtiendo en tecnología e implementando medidas de bioseguridad con el fin de reducir la mortalidad en sus granjas (Lara, 2020)

La demanda de carne de cerdo en la actualidad impulsa el crecimiento de la producción porcina mexicana y se pretende poder solventar la demanda nacional. Este incremento se debe a que los establecimientos tipo TIF (Tipo Inspección Federal) de México mantuvieron la producción ininterrumpida debido a la oportuna implementación de protocolos sanitarios ante posibles brotes de COVID-19 (Lara, 2020).

7.3 Razas actuales de la investigación

Existen una gran variedad de razas, para determinar qué raza utilizar se deben de considerar distintos factores como, la disponibilidad, aspectos reproductivos (fertilidad, fecundidad, etc.), comportamiento animal, calidad de la carne, asimilación de alimentos, resistencia a enfermedades, demanda en el mercado, etc. (Pérez, 2014).

La reproducción en las explotaciones porcícolas es esencial porque se permite la producción de la especie. A su vez tienen una importancia grande en la economía de las mismas debido a que después de la alimentación es donde se puede partir para tener un incremento en la productividad y sus ganancias.

Actualmente, en el lugar donde se obtuvo la información (Figura 16) de este trabajo se utilizan dos cruzamientos de cuatro razas, en línea materna (Yorkshire y Landrace) y en la línea paterna (Pietrain y Duroc).

Estas razas son con las que cuenta la piara de investigación y las que mejor se han adaptado a la zona dando los mejores F1 para cruzarse entre sí. Sus hijos demuestran mejor vigor híbrido realizando todos los factores de calidad para animales dirigidos a rastro.

Figura 16. Cerdas en gestación



Fuente: imagen propiedad de los autores.

7.3.1 Yorkshire

Raza originaria de Inglaterra (Figura 16). De piel blanca, a veces presenta algunas manchas, de talla larga y musculosa, buena ganancia y conversión alimenticia. Tiene buena rusticidad, de carácter prolifero, excelente actitud materna. En promedio presenta su primer parto a los 352 días de vida, tiene un promedio de 10.5 lechones por parto y un destete de nueve a diez lechones por parto (Bavera, 2016).

Figura 17. Cerdas Yorkshire



Fuente: imagen de internet extraída de forma libre.

7.3.2 Landrace

Raza de origen europeo (Figura 17). De color blanco, son los animales más largos, con excelente prolificidad, buen peso de lechones al nacimiento, buena conversión alimenticia y ganancia de peso y son excelentes para la cría intensiva. Es muy utilizada en la cruce con Yorkshire, aunque también se puede utilizar como raza pura. Presentan su primer parto a los 342 días, tiene un promedio de 10.5 lechones por parto y destetes de ocho a diez lechones (Bavera, 2016).

Figura 17. Raza Landrace



Fuente: imagen de internet extraída de forma libre.

7.3.3 Pietrain

Raza de origen belga. Posee abundante musculatura y poca grasa; se destina principalmente a la producción de cerdos híbridos, tiene baja conversión alimenticia y ganancia diaria, pero una excelente calidad de canal, que es lo que se espera obtener al cruzamiento. Se le considera más una raza paterna que materna (Bavera, 2016).

Figura 18. Raza Pietrain



Fuente: imagen de internet extraída de forma libre.

7.3.4 Duroc

Raza proveniente de EE.UU. De color rojo, talla mediana, presenta buen crecimiento y gran calidad de carne, se emplea como línea paterna para el cruzamiento con razas Yorkshire y Landrace, brinda una resistencia y rusticidad a su descendencia (Bavera, 2016).

Figura 19. Raza Duruc



Fuente: imagen de internet extraída de forma libre

7.4 Principales enfermedades en cerdos

7.4.1 Cólera porcino

Esta es una enfermedad viral (Figura 20) altamente contagiosa que afecta únicamente a los cerdos domésticos y silvestres; caracterizada por provocar manchas amoratadas en la piel de los animales afectados.

Distribución geográfica

Esta enfermedad se puede encontrar principalmente en algunos países de Centro y Sudamérica, Europa, Asia y África.

Quien lo causa

Esta es causada por un virus del género Pestivirus de la familia Flaviviridae, el cual posee un solo serotipo con cepas de baja y alta virulencia.

Transmisión

este virus es transmitido principalmente por las secreciones y excreciones de los animales infectados (saliva, fluido nasal, semen, orina y heces), asimismo existe gran cantidad de éste en sangre, órganos y tejidos. Puede transmitirse por contacto directo o por medio de fómites, como personas, vehículos, material o equipo, también por vectores mecánicos como aves o insectos, e incluso a través de carne sin cocción procedente de animales infectados.

Signos clínicos

los principales síntomas que se presentan son los de fiebre, falta de apetito, vómito, sueño exagerado, conjuntivitis, estreñimiento seguido de diarrea, coloración púrpura o amoratada de la piel (principalmente en orejas, abdomen y muslos), debilidad, incoordinación, amontonamiento y convulsiones.

Como se puede prevenir

México es libre de la fiebre porcina clásica desde el 2012, por lo que es necesario controlar la importación de cerdos, productos y subproductos, así como fortalecer las medidas de bioseguridad en las Unidades de Producción Porcina (UPP):

Lo más común en las granjas son establecer protocolos de sanidad en los que ingresan a las granjas. Antes de ingresar a las instalaciones se sugiere:

- a) Lavar y desinfectar todos los vehículos que ingresen a la UPP
- b) Utilizar tapetes sanitarios en la entrada principal y en cada sección
- c) Revisar cotidianamente la piara para detectar cerdos con signos clínicos sugestivos
- d) No movilizar cerdos enfermos o muertos fuera de la UPP, éstos deben ser aislados o en su caso dispuestos sanitariamente
- e) Realizar periódicamente lavado y desinfección de instalaciones, material y equipo
- f) Considerar un periodo de vacío sanitario entre cada ciclo productivo
- g) Implementar procedimientos para el control de fauna silvestre y eliminación de fauna nociva

Figura 20. Cólera porcina



Fuente: SENASICA, 2024.

7.4.2 Erisipela porcina

Esta enfermedad (Figura 21) se causa por una bacteria llamada *Erysipelothrix rhusiopathiae* y es una enfermedad de gran prevalencia e importancia económica para las industrias porcinas de Norte América, Europa, Asia y Australia. Se estima que cerca del 30–50% de cerdos sanos, son portadores de la bacteria en tonsilas y otros órganos linfoides

En México se ha reportado esta enfermedad es la segunda bacteria más aislada en algunas granjas de Guanajuato, Jalisco y Michoacán y el caso más elevado son en el estado de Sonora es del 80% de animales positivos

Esta enfermedad se presenta principalmente en cerdos en crecimiento y animales reproductores como son las cerdas gestantes o lechones en los lechones se puede presentar la muerte o en algunas veces en que no suba de peso adecuadamente en las cerdas gestantes se pueden presentar abortos y disminuir la fertilidad y esto tiene una gran pérdida en algunas granjas Principales factores de estrés como el hacinamiento, la mezcla de cerdos después del destete y los cambios bruscos de temperatura pueden desencadenar la Erisipela clínica.

Transmisiones

los animales portadores eliminan la bacteria por medio de las heces, orina, saliva y secreciones nasales, creando una importante fuente de infección otras que también pueden ser una fuente de contagio son las instalaciones, alimento y agua pueden ser contaminados por cerdos infectados, dando lugar a una transmisión indirecta.

Otro agente portador son las aves ya que hay más de 30 especies de aves silvestres y por lo menos 50 especies de mamíferos son portadoras de *E. rhusiopathiae* (Shuman, 1971), causando también poliartitis en ganado ovino-caprino y una alta

mortalidad en pavos, por lo que la presencia de estas especies dentro de granjas porcinas con pocas medidas de bioseguridad puede perpetuar el desarrollo de la enfermedad.

Signos clínicos

Los signos clínicos se pueden presentar de 3 maneras de manera aguda, subaguda y crónicas. La infección subaguda puede ocurrir sin síntomas sin una enfermedad aparentemente, pero puede conducir a una enfermedad crónica. y para ser de manera aguda los cerdos pueden morir repentinamente sin mostrar ningún signo clínico.

Los cerdos que están infectados de esta enfermedad los primeros signos que presentan son la de la fiebre para después tener problemas locomotores, letargia, depresión y anorexia. Las lesiones cutáneas pueden variar de rojo a púrpura ocasionalmente en forma de diamante, aunque las lesiones en formas irregulares también son comunes. Se puede observar cianosis de orejas, hocico y abdomen.

Control y tratamiento

Esta enfermedad es más común en los cerdos adultos ya sea de engorda o cerdas gestantes después de la caída de los anticuerpos maternos y la inmunidad humoral es considerada el factor más importante para la prevención de la enfermedad. Para esto las granjas de México utilizan un biológico para el control de la Erisipela Porcina, combinado con antígenos de Parvovirus Porcino y Leptospira Porcina, combinado con antígenos de Parvovirus Porcino y Leptospira. Generalmente esta vacuna se aplica durante la etapa de lactancia, para evitar problemas reproductivos asociados a estas enfermedades en el siguiente ciclo de producción de la cerda.

Figura 21. Cerdos con Eripisela



Fuente: internet.

7.4.3 Neumonías en cerdos

La neumonía es una de las principales enfermedades que más afecta a los cerdos y altera a los cerdos durante toda su vida, afectando su desarrollo y conversión alimenticia causando pérdidas económicas importantes a nivel mundial.

En la actualidad las neumonías son el principal problema en las granjas ya que tienen muchos factores que ayudan a que se desarrolle esta enfermedad ya que los huéspedes tienen varios factores a su favor como lo es la: edad, genética, estado inmunitario, los agentes infecciosos (virus, bacterias, Mycoplasma), el medio ambiente que también es un factor importante para que este se desarrolle y entre ellos está la : humedad, temperatura, concentraciones de amoníaco, prácticas de manejo (nutrición, estrés).

Para los animales en crecimiento, los problemas de salud se agudizan porque los cerdos son reagrupados y mezclados, sufriendo con altos niveles de estrés, perdiendo la inmunidad pasiva, ocasionando problemas neumónicos de 2 a 3 semanas posdestete. En los cerdos en engorda un mal manejo, estrés, mala ventilación predisponen a neumonías. Actualmente es muy importante el complejo respiratorio porcino ya que afectan directamente la calidad de vida del cerdo.

Las neumonías son comunes en todas las etapas de los cerdos ya que este se basa en dos mecanismos. El primero es debido a que la infección se disemina a través de vehículos, personas, aves, de cerdo a cerdo o en el mismo alimento o en los corrales. El segundo que se considera el más importante, las enfermedades respiratorias graves se propagan de cerdo a cerdo por transmisión aérea.

Las neumonías en cerdos actualmente forman parte del complejo respiratorio, afectando así en la ganancia de peso, eficiencia alimenticia y mortalidad. Los tipos de lesión pulmonar macro y microscópicos, sugieren la presencia de algunos

microorganismos (bacterias, virus, Mycoplasma). Contando con el aislamiento bacteriano y la Inmunohistoquímica podemos determinar el agente, aunque la mayoría de las veces los animales están tratados y no hay aislamiento.

Figura 18. Cerdo con neumonía



Fuente: imagen propiedad de los autores.

7.4.4 Colibacilosis porcina

Esta enfermedad es producida por la bacteria *Escherichia coli* es una enterobacteria que forma parte de la microbiota esta se produce principalmente en el intestino de los cerdos una de las grandes características de esta enfermedad es la adaptarse a las condiciones ambientales y de experimentar cambios. Por ello, adquiere resistencia a los antibióticos con mucha mayor facilidad que otras bacterias.

Patogenia

La capacidad adaptativa que tiene esta enfermedad es grande ya que tiene la posibilidad de utilizar numerosos factores de virulencia que explican la patogenia de las enfermedades que pueden causar las cepas patógenas. Estos factores de virulencia permiten a las cepas patógenas colonizar el intestino y competir en condiciones ventajosas con otras bacterias.

Los principales factores de virulencia de esta enfermedad son las diarreas en lactantes destacan los antígenos fíambrales, que son adhesinas que permiten a *E. coli* fijarse a la pared intestinal y multiplicarse masivamente, y la producción de enterotoxinas.

***Escherichia coli* enterotoxigénico**

Es la segunda enfermedad producida esta se da principalmente en lechones destetados, por lo que no es necesaria su presencia en vacunas de cerdas que buscan la protección calostrual de los lechones lactantes

Cuadro clínico y lesiona

En algunos casos los signos clínicos no se presentan muchas veces los lechones mueren sin haber tenido diarrea, que es el principal signo clínico. Esta diarrea tiene una gravedad variable en función de los factores de virulencia de la cepa implicada,

esto también depende de la edad del lechón y de su estado inmunitario. La diarrea puede ser más o menos acuosa y el color de las heces también es muy variable. Las heces no suelen manchar mucho el periné de los lechones y a veces solo se observa en éstos irritación en la zona perianal sin restos de heces.

Uno de los principales riesgos que tienen los lechones al tener la diarrea es la deshidratación que puede hacer que el lechón pierda hasta el 40 % del peso y, al avanzar, conduce a una acidosis metabólica.

Esta enfermedad estando en las condiciones favorables ya sea las ambientales se puede presentar en las primeras horas tras el nacimiento afectando bien a lechones aislados o bien a camadas enteras de igual manera los más susceptibles a esta enfermedad son los lechones con menor peso o en algunos casos son los de las hembras primerizas esto debido que casi no toman calostro de buena calidad.

en algunos casos puede haber también vómitos. Los lechones están deprimidos, con el abdomen flácido y hundido, el pelo en mal estado y con un color grisáceo.

Tratamiento

Hay diferentes tipos de antibióticos que, teóricamente, pueden tener una buena eficacia contra E. coli, pero también son muy frecuentes las resistencias. Por ello, es conveniente realizar en cada granja antibiogramas periódicos que permitirán abatir esta enfermedad.

Figura 19. Colibacilosis porcina



Fuente: imagen de internet extraída de forma libre.

7.4.5 Salmonelosis porcina

La salmonela (Figura 24) es causada por microorganismos del género salmonella. Se trata de un grupo de patógenos universales, adaptados a una lista infinita de huéspedes, incluidos los humanos. Estos son microorganismos que tienen la capacidad de producir enfermedad gracias a una compleja interacción de determinantes de virulencia (características para producir daño a las células) como son la asociación y ataque del epitelio intestinal (superficie mucosa del intestino delgado), capacidad de invasión, toxicidad y resistencia a la muerte intracelular.

esta enfermedad es más común en animales jóvenes en estado de gestación, o lactantes. La manifestación más común de la enfermedad es la entérica, pero se puede observar un espectro muy amplio de signos clínicos, incluyendo septicemia aguda, aborto, artritis y enfermedad respiratoria.

Estos microorganismos son muy resistentes pueden sobrevivir fácilmente en condiciones de congelación y desecación, aunque pueden vivir o sobrevivir por meses o por años en sustratos orgánicos; son fácilmente inactivados por calor, luz solar y la mayoría de desinfectantes con bases: cloro, yodo y fenol. La *Salmonella choleraesuis* sobrevive y persiste en la materia fecal por más de 20 semanas.

Transmisión

La forma más común de su transmisión es la manera que entre algún animal enfermo al corral y de ahí los contagia a los demás por medio de la contaminación oro-fecal, sin embargo, es posible que se propague por moscas o por movimiento de objetos inanimados.

De igual manera a su resistencia de estos microorganismos también se pueden propagar por medio del agua, roedores, aves y la materia fecal, los alimentos mal procesados también pueden ser un factor para contaminar en algunas ocasiones.

los trabajadores en la ropa también son portadores de esta enfermedad de igual manera en el aire.

Los microorganismos de esta enfermedad entran por la mucosidad del intestino delgado en la parte final del intestino. Al atravesar la mucosa se localiza en el tejido linfoide vecino al intestino, como en las placas de peyer y los ganglios linfáticos regionales.

Síntomas de esta enfermedad

Para identificar esta enfermedad se presentan de dos maneras la primera sucede en lechones destetados, pero de igual manera se presentan en cerdos ya listos para ser llevados al matadero y es rara su presentación en cerdos lactantes. Los principales síntomas que presentan son la inapetencia, fiebre, tos húmeda, se niegan a moverse. Se evidencian varios animales muertos con el abdomen y las extremidades púrpuras (cianosis). La diarrea no es una característica de esta forma septicémica, hasta el tercer o cuarto día de la enfermedad, cuando se observan heces líquidas y amarillas. La mortalidad es alta y la morbilidad variable, pero por lo general del 10%. Los animales que se recuperan quedan como portadores y continúan eliminando la bacteria a través de las heces.

La Salmonelosis enterocolítica esta enfermedad se presenta al destete hasta los 4 meses de vida sus síntomas de esta enfermedad son diarrea acuosa de color amarillo, inicialmente sin sangre ni moco; que demora de 3 a 7 días y puede repetirse dos o tres veces más, dando la impresión de una enfermedad diarreica fluctuante de varias semanas de duración y de igual manera pueden presentar falta de apetito, fiebre esta enfermedad es as peligrosa ya que casi no presenta mortalidad pero es la principal portadora.

Figura 20. Salmonelosis porcina



Fuente: imagen de internet extraída de forma libre.

7.4.6 Leptospira

Esta enfermedad (Figura 25) es producida por un origen bacteriano ya que produce una gran pérdida económica esta donde más se produce es en América del Sur ya que cuenta con un ambiente favorable para esta enfermedad ya que cuenta con las condiciones climáticas favorables para la supervivencia ambiental y transmisión de leptospiras; patógenos implicados en la etiología de la enfermedad.

Signos clínicos

Uno de los principales signos clínicos que se presentan en las hembras gestantes es el aborto entre 2 a 4 semanas antes del parto, además de leptospiuria. Por lo tanto, los signos clínicos en los cerdos afectados por *Leptospira bratislava* están relacionados con el fracaso reproductivo, con énfasis en los abortos esporádicos.

Esta enfermedad lo primero que ataca son los riñones, el hígado, el bazo y, a veces, en las meninges, también penetran y se multiplican en los fetos, lo que puede provocar la muerte y reabsorción fetal, aborto o crías débiles.

De igual manera puede tener afectaciones en causar pérdida de preñez en cerdos, como la brucelosis, el parvovirus y el circovirus es una enfermedad que se puede confundir con una de estas enfermedades mencionadas anteriormente.

De igual manera esta enfermedad puede causar más daños en las hembras y los principales síntomas que es una de ellas es la mastitis, fiebre y ya en cerdos adultos los síntomas son la siguiente fiebre, anorexia, ictericia, hemoglobinuria. En lechones que están en lactancia los síntomas cambian y uno de ellos son encefalitis asociada a incoordinación motora y ataques convulsivos.

Transmisión

Esta puede darse de manera en que la madre este enfermo y sea transmitido al feto este puede desarrollar anticuerpos específicos que suprimen los signos clínicos y, así, las hembras transmiten verticalmente la infección a sus crías.

Medidas de prevención

Las medidas de prevención que son más eficaces contra la leptospirosis en cerdos son fundamentales esto para evitar la transmisión de la enfermedad, que, aunque no siempre se manifiesta con los mismos síntomas como ictericia, fiebre y mastitis, está muy asociada a trastornos reproductivos. Una de las formas que se puede hacer para evitar brotes de la enfermedad es realizar programas de desinfección, ya que las *Leptospiras* son sensibles a diversos detergentes y desinfectantes. Esta recomendación sirve no solo para prevenir la aparición de leptospirosis, sino también para estructurar una granja de cerdos que maximiza el bienestar animal.

Figura 21. Leptospira en cerdos



Fuente: imagen de internet extraída de forma libre.

7.4.7 Disenteria

Esta enfermedad (Figura 26) es causada por la bacteria *Brachyspira hyodysenteriae* y esta se caracteriza por presentar diarreas del intestino grueso con sangre y moco que afecta principalmente a los cerdos de engorda.

Esta enfermedad se presenta en los cerdos que pesan desde 12 hasta 75 kilos de igual manera se presenta en cerdas gestantes y lechones lactantes esto no es muy común, pero puede haber un caso esta enfermedad puede sobrevivir fuera del cerdo en heces hasta 112 días, pero muere en dos días en ambientes secos y calurosos. Puede transmitirse por aves, moscas, fómites, y ratones.

De esta enfermedad se pueden presentar de diferentes casos la primera es la *Brachyspira hyodysenteriae* que es conocida como disentería porcina la segunda es llamada *Brachyspira pilosicoli* esta es una Espiroquetosis colónica porcina. Esta es una zoonosis. La tercera se llama *Brachyspira innocens* (a, b, c) y esta se aísla de cerdos sin diarrea (la identificación de los subgrupos no es necesaria en el diagnóstico de rutina) y por último la que es más visible *Brachyspira intermedia* (caracteres intermedios entre *hyodysenteriae* e *innocens*) esta es el más común y se presenta a la vez de diarreas y colitis inespecíficas (distintas a la disentería), aunque actualmente está en discusión su patogenicidad

Signos clínicos

En las cerdas no es muy común que se presente esta enfermedad a no ser que sea aparezca por primera vez en la granja

Los siguientes son los lechones lactantes ahí si se presentan más síntomas los cuales son más notables y el primero que aparece es el de Heces pastosas de color marrón claro con o sin sangre y moco. • Pérdida de condición. • Las cerdas pasan a ser portadoras asintomáticas.

En los cerdos más grandes estos pueden presentar diferentes síntomas y unos de los primeros síntomas son: • Diarrea pastosa, que mancha la piel del periné debajo del ano. • Inicialmente la diarrea tiene color marrón claro con moco de consistencia gelatinosa e hilos de sangre. • Flancos hundidos. • Pérdida parcial del apetito. • Algunos casos de muerte súbita. A medida que la enfermedad progresa: • Puede aparecer sangre en cantidades cada vez mayores haciendo que las heces pasen a tener un color oscuro y alquitranado. • El cerdo pierde rápidamente el apetito y la condición corporal. • Se deshidratan. • Animales de aspecto flaco con ojos hundidos.

Lesiones

Las primeras lesiones que se presentan en los cerdos son la a emaciación y el pelo de aspecto reseco y manchado de heces en la parte posterior esto es en algunos cerdos que no tienen tan avanzada la enfermedad ya en sistemas más crónicos se pueden presentar en s la Inflamación de la mucosa produce una pérdida de la rugosidad característica y la mucosa puede estar cubierta por una capa de fibrina con restos de sangre.

Factores que contribuyen

La primera y la más común es que los cerdos consuman heces contaminadas la segunda se transmite a partir de cerdos portadores (incluyendo cerdas al parir) que excretan el organismo en las heces durante mucho tiempo.

La tercera se conoce como transmisión mecánica por heces infectadas a partir de equipos, camiones de distribución de pienso contaminados, botas y pájaros. De igual manera se puede transmitir por roedores o aves que pueden ser portadores de esta enfermedad y la última también se puede ocasionar por cambiar la dieta o por algún estrés al destete.

Figura 22. Disentería porcina



Fuente: imagen de internet extraída de forma libre.

7.4.8 Enfermedad ántrax

Esta enfermedad (Figura 27) es relativamente rara ya que es muerte súbita para los animales esta enfermedad se puede presentar de 3 formas diferentes esto se debe a que según la localización de la infección: ántrax de faringe, ántrax intestinal o ántrax sistémico. Es crítico hacer una necropsia en el campo ya que se puede contaminar el ambiente con esporas. El ántrax es una enfermedad zoonótica.

¿Qué es?

Esta es una enfermedad que es un poco común en la mayor parte del mundo ya que el cerdo es muy resistente a la infección. Debe tenerse especial cuidado al manipular los animales enfermos o los cadáveres de los cerdos infectados para minimizar la contaminación ambiental ya que se trata de una enfermedad zoonótica.

Existen varias vacunas para poder controlar esta enfermedad tanto en el hombre como en cerdos para esto se debe de observar que tipo de enfermedad se tiene ya que existen diferentes tipos que son los siguientes: ántrax de faringe, ántrax intestinal, o ántrax sistémico. El ántrax sistémico es muy letal.

Signos clínicos

En cerdas los signos clínicos se pueden presentar de manera diferente a la de un puerco de engorda los signos de las cerdas son la siguiente fiebre, ansiedad aguda, Garganta inflamada, nódulos linfáticos del cuello y abdomen aumentados de tamaño y hemorrágicos, heces con sangre incoordinación.

En los lechones y cerdos de mayor edad se presenta de diferente forma los primeros signos que presentan los animales son Muerte súbita sin signos o con cuellos decolorados e hinchados, fiebre, heces con sangre entre otros síntomas en particular.

Causas

las principales causas de esta enfermedad es la fuente de infección en cerdas es normalmente un pienso contaminado con esporas del *Bacillus anthracis*.

Tratamiento. Los antibióticos pueden resultar eficaces si el tratamiento se inicia de forma temprana; también se puede necesitar una terapia de sostén.

Diagnóstico

Para saber que un cerdo murió por ántrax es necesario ver a detalle y si el cerdo presenta tejidos hemorrágicos y los linfonodos del cuello y del abdomen están enrojecidos e inflamados después de observar estos signos es necesario hacer la necropsia en las partes donde ataca el ántrax para después enterrarla o quemarla esto con la intención de prevenir la contaminación de esta enfermedad.

Figura 23. Cerdo con la enfermedad ántrax



Fuente: Imagen de internet extraída de forma libre.

VIII. MATERIALES Y MÉTODOS

8.1 Periodo de evaluación

El proyecto y la toma de datos se realizaron a partir del mes de abril del 2023, posteriormente, la recolección de la información del mes de junio a diciembre del mismo año.

8.2 Localización de la zona de estudio

Para la estructura del modelo estadístico que permitió generar información sobre los niveles óptimo técnico (NOT) y óptimo económico (NOE) en el número de partos de las cerdas, se utilizaron datos provenientes de una granja intensiva ubicada en la localidad de Telpintla, municipio de Temascaltepec, Estado de México, que se encuentra a 19° 02` 47`` latitud norte y 100° 02` 47`` longitud oeste.

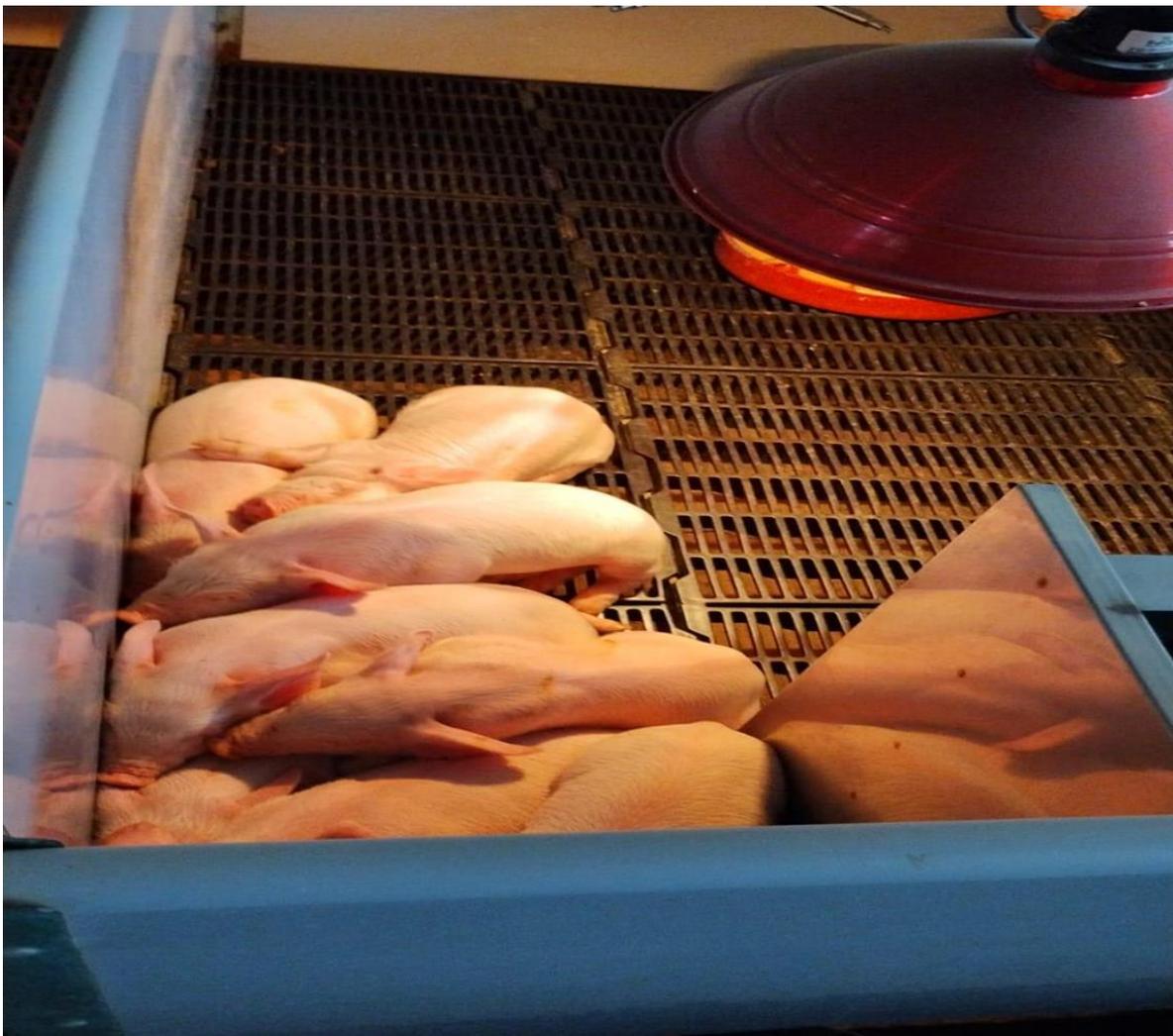
El clima local, donde se ubica la granja, es templado subhúmedo, con temperatura media anual de 12°-16° C y una precipitación pluvial de 700 - 900 mm sobre una altura de 1,849 metros sobre el nivel del mar (msnm) (INEGI, 2009).

8.3 Análisis de la información

8.3.1 Recolección de la información

Los datos de las cerdas (Figura 28), como edad, número de partos, lechones nacidos y lechones destetados, precios del lechón al destete, etc., provinieron de una granja clasificada por el tipo de instalaciones, como semi-tecnificada, ya que cuenta con jaulas de gestación y de maternidad, destetes en jaulas elevadas y engordas de piso de cemento con slats, los comederos son automáticos y los bebederos tipo chupón, la alimentación se realiza de forma manual al igual que la regulación de la temperatura de las naves.

Figura 24. Lechones en camas elevadas



Fuente: imagen propiedad de los autores.

La granja es de ciclo completo (Figura 29); esto es, produce y engorda porcinos hasta finalizarlos para su venta al mercado. Esta tesis se integró por información de 123 vientres (Figura 21), las cuales fueron híbridas de las razas Yorkshire (50%) Landrace (50%) y los sementales Pietrain (50%) y Duroc (50%).

Figura 25. Cerdos en engorda



Fuente: propiedad de los autores.

La información correspondió a siete partos de las cerdas en un periodo aproximado de cinco años.

8.3.2 Modelo estadístico

La información recolectada por cada cerda, se correlacionó con el modelo estadístico estimado por el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) (Gujarati, 2004) siguiente:

$$P = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \beta_3 X^3 + e$$

- P = lechones destetados por hembra por año
- β_0 , β_1 , β_2 y β_3 = Parámetros del modelo estadístico
- X = Número de partos
- e = Error estadístico, estocástico o aleatorio.

La significancia estadística del modelo estimado se obtuvo mediante la F_c , para la significancia global y las t -calculadas (t_c) (t de Student) para la significancia individual, una t_c igual o mayor a 2.0 se considera que la variable es estadísticamente significativa. Adicionalmente, se consideró el coeficiente de determinación R -cuadrado ajustado y el Durbin-Watson (DB) para evidenciar ausencia de autocorrelación entre las variables (Wooldridge, 2010).

Para la significancia económica del modelo, se consideró el signo del coeficiente β_2 y β_3 con base en su lógica económica necesaria para definir la concavidad de la curva de la función de producción (Doll y Orazem, 1984; Rebollar *et al.*, 2022).

Después de que se obtuvo el modelo estadístico, correspondiente a la función de producción, la ecuación generada se lee como P , que significa como el número de lechones destetados en función a la cantidad de partos, proveniente del número de vientres en producción. En otras palabras, la cantidad óptima de lechones es una

función del número promedio de partos óptima de la cerda. Así, lo que se obtuvo fue el modelo estadístico que permitió estimar el número de lechones destetados promedio óptimo relacionado a la máxima cantidad de partos en la granja mencionada (Figura 30).

Figura 30. Lechones destetados



Fuente: imagen propiedad de los autores.

Para lograr demostrar lo anterior, se utilizó la teoría microeconómica de la función de producción (teoría de la producción); esto es, se obtuvieron dos niveles óptimos de optimización el nivel óptimo técnico y el nivel óptimo económico, como a continuación se menciona:

Nivel Óptimo Técnico (NOT):

Para su obtención (del NOT) se utilizó la condición matemática de primer orden; es decir, la primera derivada de la función de producción igualada a cero (Rebollar *et al.*, 2014; Rebollar *et al.*, 2022):

$$\frac{dP}{dX} = 0, \text{ la variable a despejar fue el número de partos.}$$

Nivel Óptimo Económico (NOE) (Rebollar *et al.*, 2014):

Matemáticamente, el NOE se obtuvo mediante la primera derivada de la función de producción igualada a la relación de precios del insumo (precio del parto) y del precio del producto (precio del lechón destetado), esto es, (precio del parto/precio del lechón), así:

$$\frac{dP}{dX} = \frac{PL}{PP}$$

Una vez que se obtuvo el valor de X, es decir, el número de partos que correspondió al nivel óptimo técnico (cantidad óptima de lechones), se procedió a estimar el valor de P, es decir, la cantidad máxima de lechones destetados; dado que la letra P se refirió dicha cantidad de lechones que se destetaron.

En este sentido, después de obtener el valor de X (número de partos) correspondiente tanto al nivel óptimo técnico como al nivel óptimo económico, se procedió a obtener el costo total (CT), ingreso total (IT) y ganancia (G) tanto para el

NOT como para el NOE. Así, con base en Rebollar *et al.* (2014), el CT se obtuvo como:

$$CT = PxX$$

Donde, Px = Es el precio, promedio, del parto y, X = cantidad óptima de partos. Como Px se utilizó la estimación del costo variable por hembra al parto, con datos de la granja de la cual se obtuvo información.

Por lo que, con base en Porcicultura. com (3 de octubre de 2023), los elementos que se consideraron para estimar el costo de una hembra a parto (Figura 31, 32, 33), incluyeron el consumo de alimento durante la gestación y su valoración económica, costos de mano de obra, vacunas y medicamentos, inseminación y la amortización de instalaciones, lo cual fue igual a \$10,000 hasta octubre de 2023. De este total y con base en la teoría económica, se utilizó sólo el costo variable que fue \$7,500.

$$IT = PpP$$

Donde, IT es el ingreso total. Pp = precio por cada lechón destetado y, P = cantidad óptima de lechones destetados por parto.

$$G = IT - CT$$

Donde, G = Ganancia, en dinero.

La información tanto de P como de X se procesó con el procedimiento GLM del software estadístico SAS (Sistema de Análisis Estadístico) (SAS, 1995).

Figura 31. Parto de una cerda



Fuente: imagen propiedad de los autores.

Figura 26. Lechones destetados en granja de traspatio



Fuente: imagen propiedad de los autores.

Figura 27. Parto de un cerdo cuino



Fuente: imagen propiedad de los autores.

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La función de producción (F de P) estimada que permitió explicar a la cantidad de lechones (variable dependiente P) en función al número de partos (variable independiente X) de los vientres fue:

$$P = 9.3128 + 1.03472X - 0.27452X^2 + 0.01861X^3$$

El valor de los estimadores y los estadísticos de importancia para el modelo estimado se observan en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Resultados del modelo estadístico de lechones destetados, en una granja tecnificada, 2023.

Variable	Parámetro estimado	Error estándar	t calculada	Pr > t
Intercepto	9.31286	0.26770	34.79	0.0001
X	1.03472	0.27009	3.83	0.0313
X ²	-0.27452	0.07596	-3.61	0.0364
X ³	0.01861	0.00627	2.97	0.0592

Fuente: elaboración con resultados del modelo estadístico.

Análisis estadístico

En lo general, es decir, con base en el resultado de la F_c (F-calculada), estadísticamente el modelo fue significativo una vez que dicha F_c fue 32.42 (ANDEVA, $P < 0.0087$) a un nivel de confianza, por default, de 95% que asigna o arroja la salida del modelo; con esa confiabilidad se descarta la hipótesis nula de que cualquier estimador de β sea igual a cero.

Asimismo, la evidencia empírica señala que cuando una F_c adquiere un valor de 2.0 o más, con ciertos grados de libertad, ya se considera como suficiente para asignar significancia a un modelo estadístico (Wooldridge, 2010; Rebollar *et al.*, 2008).

La F_c significa el número de veces que el cuadrado medio de la regresión contiene al cuadrado medio del error. En adición, el R-cuadrado ajustado fue 0.9402 o bien, 94.02% e indica que del 100% de la fuente de variación total del número de lechones por parto (variable dependiente), el número de partos (variable independiente X) explicó en 94% tal variación; en otras palabras, la regresión explicó en 94% la fuente de variación del número de lechones promedio óptimo por parto.

Al respecto, cada estimación del parámetro β explica en más del doble de su error estándar (Cuadro 1), situación que expresa que las estimaciones son importantes desde el punto de vista de la estadística (Wooldridge, 2010; Gujarati y Porter, 2010).

Análisis económico

Con base en la teoría microeconómica de la producción (Doll y Orazem, 1984; Rebollar-Rebollar *et al.*, 2022), los signos que anteceden a las variables X^2 y X^3 fueron los esperados y expresan la presencia de una función de producción cóncava con rendimientos marginales decrecientes en el corto plazo (CP) lo cual permite obtener los niveles de optimización; el CP es un periodo de tiempo, menor a un ciclo productivo, menor a un año, en el que, al menos, uno de todos los insumos que participan en el proceso de producción o en la obtención del producto total es fijo (Rebollar-Rebollar *et al.*, 2022).

El coeficiente del estimador β_0 , 9.3, que de hecho, es el intercepto del modelo, carece de interpretación económica (Doll y Orazem, 1984); debido a que no es posible concebir como el número de lechones cuando la variable X (número de partos) toma un valor de cero.

El coeficiente 1.03 indica una relación marginal de respuesta entre el número de partos promedio y el número de lechones óptimo por parto, manteniendo constante el efecto esperado de otras variables; es decir, por cada un parto de aumento generado por las cerdas, la producción de lechones se espera que se incremente en 1.03.

Nivel óptimo técnico (NOT) en lechones producidos

Con base en Rebollar-Rebollar *et al.* (2011), en el nivel óptimo técnico, no intervienen los precios, ni del insumo variable ni del producto, pues el interés máximo consiste en llegar al punto o nivel de máxima producción; punto más alto de la curva de la función de producción. En ese punto, señala la teoría (Doll y Orazem, 1984), la producción alcanza su valor más alto y no habrá ninguna otra cantidad de insumo variable que asigne valores mayores a los que repercutió el nivel óptimo técnico.

Así, de la función de producción estimada:

El procedimiento matemático para obtener el NOT fue el siguiente:

$$P = 9.3128 + 1.03472X - 0.27452X^2 + 0.01861X^3$$

$$PMg = 0$$

$$1.03472 - 0.54904X + 0.05583X^2 = 0$$

$$X = \frac{-(-0.54904) \pm \sqrt{-0.54904^2 - 4(0.05583)(1.03472)}}{2(0.05583)}$$

$$X = \frac{0.54904 \pm \sqrt{0.30144 - 0.23107}}{0.1116}$$

$$X = \frac{0.54904 \pm \sqrt{0.07037}}{0.1116}$$

$$X_1 = \frac{0.54904 \pm 0.2653}{0.1116} = \frac{0.54904 + 0.2653}{0.1116} = \frac{0.81434}{0.1116} = 7.3$$

Este resultado de X_1 se consideró infactible o inviable dado que al sustituir $X = 7.3$ en la función de producción, da como resultado una cantidad de lechones que ya no es concordante con la información de campo y está fuera de la gama de datos observados. Incluso, desde el punto de vista matemático, siempre una de las dos raíces que se generan por el método de la fórmula general no es viable para los resultados esperados.

Para X_1 , en segunda raíz:

$$X_1 = \frac{0.54904 \pm 0.2653}{0.1116} = \frac{0.54904 - 0.2653}{0.1116} = \frac{0.28374}{0.1116} = 2.54 \text{ partos}$$

Por tanto, $X = 2.54$ partos como valor del insumo variable ya considera como resultado viable, en términos de la base de datos observada en campo.

Si se sustituye $X = 2.54$ en la función de producción cúbica estimada P:

$$P = 9.3128 + 1.03472X - 0.27452X^2 + 0.01861X^3$$

Esto es:

$$P = 9.3128 + 1.03472(2.54) - 0.27452(2.54)^2 + 0.01861(2.54)^3$$

$$P = 9.3128 + 2.6282 - 1.7711 + 0.3050 = 10.4749 \text{ lechones promedio por parto}$$

Así, el nivel óptimo técnico de la función de producción cúbica estimada corresponde a un valor de la variable dependiente P (lechones) de 10.47 lechones promedio por parto. El óptimo de producción o el punto más alto del gráfico de la función de producción se relaciona entonces con un valor de X (número de partos) de 2.54.

Nivel óptimo económico (NOE) en lechones producidos

En el Nivel Óptimo Económico (NOE), de acuerdo a la teoría microeconómica de la producción (Rebollar et al., 2022) si interesan los precios tanto del insumo variable como del producto. En el NOE no del interés del productor tratar de llegar a la máxima producción, sino cuál es su ganancia monetaria que percibirá, sin, necesariamente, llegar al punto más alto del producto total.

Por tanto, de la función de producción cúbica estimada:

$$P = 9.3128 + 1.03472X - 0.27452X^2 + 0.01861X^3$$

El producto marginal (PMg) es:

$$PMg = 1.03472 - 0.5484X + 0.0558X^2$$

Y, la relación de precios (del insumo y del producto) calculada fue:

$$\frac{P_x}{P_y} = 0.02953$$

Por lo que, de acuerdo al procedimiento para obtener el valor de X del NOE es:

$$1.03472 - 0.5484X + 0.0558X^2 = 0.02953$$

$$1.03472 - 0.02953 - 0.5484X + 0.0558X^2 = 0$$

$$1.00519 - 0.5484X + 0.0558X^2 = 0$$

Solución por fórmula general:

$$X = \frac{-(-0.5484) \pm \sqrt{(-0.5484)^2 - 4(0.0558)(1.00519)}}{2(0.0558)}$$

$$X = \frac{0.5484 \pm \sqrt{0.3007 - 0.2237}}{0.1116}$$

$$X = \frac{0.5484 \pm \sqrt{0.077}}{0.1116} = \frac{0.5484 \pm 0.2774}{0.1116}$$

$$X_1 = \frac{0.5484 + 0.2774}{0.1116} = \frac{0.8258}{0.1116} = 7.4 \text{ partos promedio}$$

Este valor de X_1 se considera infactible en la solución.

$$X_2 = \frac{0.5484 - 0.2774}{0.1116} = \frac{0.271}{0.1116} = 2.43 \text{ partos promedio al NOE}$$

Así, $X_2 = 2.43$ es el valor de X correspondiente al nivel óptimo económico de la función de producción cúbica estimada para lechones, que por cierto, puede observarse que este valor de X es menor, en cuantía, al valor de X del nivel óptimo técnico ($X = 2.54$). Con esto, se demuestra que el valor de X del NOT ocurre primero con relación al valor de X del NOE, lo que está en concordancia con la teoría microeconómica de la producción (Rebollar et al., 2022).

Al sustituir el valor de $X = 2.43$ en P (la función de producción estimada):

$$P = 9.3128 + 1.03472(2.43) - 0.27452(2.43)^2 + 0.01861(2.43)^3$$

$$P = 9.3128 + 2.5143 - 1.6210 + 0.2670 = 10.4731 \text{ lechones correspondientes al nivel óptimo económico}$$

En adición, se observa que el valor de P para el nivel óptimo económico es menor que el del nivel óptimo técnico (10.4731), lo que también concuerda con la teoría microeconómica (Doll y Orazem, 1984; Portillo et al., 2015).

Ganancia en dinero al Nivel Óptimo Técnico (NOT)

En el NOT lo que al porcicultor le interesa es llegar al punto o nivel de máxima producción, por lo que, bajo la teoría microeconómica de la producción (Rebollar et al., 2022), en este óptimo no interesan los precios tanto del producto como del insumo; sin embargo, es importante estimar tanto el costo, ingreso y ganancia en dinero correspondiente al nivel óptimo técnico.

Así, al NOT, X (número de partos promedio por cerda) = 2.54. Con este valor, Y (número de lechones del NOT) = 10.4749; por tanto:

$$CT = 2,952.7(2.5400) = \$7,500$$

$$IT = \$1,000(10.4749) = \$10,474.9$$

$$G (\text{Ganancia, en \$}) = \$10,474.9 - 7,500 = \$2,974.9$$

Ganancia en dinero al Nivel Óptimo Económico (NOE)

Con base en la teoría microeconómica de la producción (Portillo et al., 2015), en el gráfico de una función de producción clásica, el NOE siempre se ubica por debajo del NOT. En el NOE sí interesan los precios tanto del insumo variable como del producto, pues es un óptimo en el que se deduce que no siempre la máxima producción, en este caso, la máxima producción de lechones, implique obtener la máxima ganancia en dinero. Lo anterior es, especialmente, importante para cualquier productor que tenga el propósito de maximizar la ganancia monetaria en su proceso productivo.

Así, al NOE, X (número de partos promedio por cerda) = 2.43. Con este valor, Y (número de lechones del NOT) = 10.4736; por tanto:

$$CT = \$2,952.7(2.43) = \$7,175.0$$

$$IT = \$1,000(10.4731) = \$10,473.1$$

$$G (\text{Ganancia, en \$}) = \$10,473.1 - \$7,175.0 = \$3,298.1$$

La ganancia en dinero, al nivel óptimo económico (\$3,298.1) fue mayor con relación al punto de máxima producción de lechones (\$2,974.9). Con esto se demuestra que no siempre la máxima producción necesariamente signifique generar la máxima en dinero.

En sí, en este trabajo, la máxima producción de lechones no correspondió a la máxima ganancia en dinero, demostrándose así tanto el objetivo general como la hipótesis de la investigación.

IX. CONCLUSIONES

Al considerar las condiciones planteadas en esta investigación, los resultados, el análisis y la discusión, permitieron demostrar tanto el objetivo general como la hipótesis. El número de partos correspondiente al nivel óptimo técnico fue mayor al del nivel óptimo económico. De forma similar, la cantidad de lechones relacionada al nivel óptimo técnico fue superior a la del nivel óptimo económico, pero la ganancia en dinero con el nivel óptimo económico superó a la del nivel óptimo técnico, demostrando así, la hipótesis de teoría económica, que la máxima producción no necesariamente significa obtener la máxima ganancia en dinero. Cualquier porcicultor con condiciones de producción similares a las descritas en este trabajo puede beneficiarse de estos resultados en aras de mejorar la generación de ganancias económicas de la producción.

X. RECOMENDACIONES

Con el propósito de que los resultados apoyen a las decisiones de los porcicultores con condiciones de producción similares a las de este trabajo, se recomienda ampliar la base de datos de campo, tanto con más reproductoras como de tantos cuantos más periodos de producción sean posibles; además de realizar análisis similares para granjas en sistemas semi intensivos como de traspatio y contrastar los posibles resultados esperados.

XI. REFERENCIAS CITADAS

- Alzina, A., Ek, J., Segura, J. & Rodríguez, J. (s.f.). Problemas de producción: principal causa de desecho de cerdas en granjas comerciales. *Los porcicultores y su entorno*. Disponible en https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_porcina/00-reproduccion_IA_porcinas/51-Problemas_Reproduccion.pdf. Consulta el 7 de febrero de 2023.
- Bavera, G. (2016). *Sitio Argentino de Producción Animal*. Disponible en https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_porcina/00-razas_porcinas/45-razas_porcinas.pdf. Consulta el 7 de febrero de 2023.
- Bobadilla, E., Espinosa, A. y Martínez, FE. (2013). Competitividad y rentabilidad en granjas porcinas productoras de lechón. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 4(1):87-92. <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/2828/2374>.
- Castro, J. M. (2010). Negocio en el cerdo pelón. Disponible en <https://www.economista.com.mx/mercados/Negocio-en-el-cerdo-pelon-mexicano-20101222-0051.html>. Consulta el 8 de febrero de 2023.
- COMECARNE. Consejo Mexicano de la Carne. (2023). Compendio estadístico 2023. Disponible en https://comecarne.org/wp-content/uploads/2023/06/Compendio-Estadistico-2023_COMECARNE_2e.pdf. Consulta el 28 de noviembre de 2023.
- COMECARNE. Consejo Mexicano de la Carne. (2024). Compendio estadístico 2023. Disponible en https://comecarne.org/wp-content/uploads/2023/06/Compendio-Estadistico-2023_COMECARNE_2e.pdf. Consulta el 29 de enero de 2024.
- Del Rio Moreno, J. (1996). El cerdo. Historia de un elemento esencial de la cultura castellana en la conquista y colonización de América (siglo XVI). *Anuario de Estudios Americanos*, 53(1):13-35.
- Doll y Orazem.....

<https://estudiosamericanos.revistas.csic.es/index.php/estudiosamericanos/article/view/430>

FIRA. Fideicomisos Instituidos en Relación a la Agricultura. (2016). Panorama agroalimentario. Carne de cerdo. Disponible en [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200634/Panorama Agroalimentario Carne de Cerdo 2016.pdf?fbclid=IwAR3aWsty7WC8Dswbjc3hS0AT_idNlbePEEzyymttajU1bjkhLcyLbjLhbrw](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200634/Panorama_Agroalimentario_Carne_de_Cerdo_2016.pdf?fbclid=IwAR3aWsty7WC8Dswbjc3hS0AT_idNlbePEEzyymttajU1bjkhLcyLbjLhbrw). Consulta el 3 de febrero de 2023.

Gujarati, N. D. (2004). *Econometría*. (4ª ed.). México: McGraw Hill.

Hernández, J. A. (2014). *Metodología y aplicaciones para la producción ganadera del trópico seco en el sur del Estado de México*. D.F.: Gernika.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2009). Información geográfica. Disponible en [http://www3.inegi.org.mx/400.html?aspxerrorpath=/contenidos/app/mexicocifras/datos geograficos/15/15086.pdf](http://www3.inegi.org.mx/400.html?aspxerrorpath=/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/15/15086.pdf). Consulta el 9 de febrero de 2023.

Martínez, R. G. (2016). *Relación entre tasas de desecho y cuidados para la cerda reproductora*. Disponible en <https://www.porcicultura.com/>. Consulta el 9 de febrero de 2023.

Ogata, N. (2019). *etnoecologia.uv.mx*. Cerdo pelón mexicano. Disponible en [http://etnoecologia.uv.mx/diversidad biocultural/cerdo-pelon-mexicano/](http://etnoecologia.uv.mx/diversidad_biocultural/cerdo-pelon-mexicano/). Consulta el 10 de febrero de 2023.

Ordaz, G. J. (2014). Evaluación productiva y análisis costo-beneficio del esquema de producción porcina: primer parto eliminación de cerdas. *Revista científica*, Revista Científica, FCV-LUZ, XXIV(6):526–534.
<https://www.redalyc.org/pdf/959/95932690009.pdf>

Pérez, O. (2014). *Sistema de producción porcina*. México: SAGARPA.

Porcicultura.com. (2023). Costos de producción en porcicultura. Disponible en <https://www.porcicultura.com/destacado/Costos-de-produccion-en-porcicultura>. Consulta el 3 de octubre de 2023.

Portillo, M., Pérez, F., Figueroa, E., Godínez, L., & Barrios, G. (2015). La función de producción cúbica, su aplicación en la agricultura. *Revista Mexicana de*

Agronegocios, 37(29), 11-24.
<http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/41180>.

Rebollar-Rebollar, S., Hernández-Martínez, J., Rojo-Rubio, R., González-Razo, FJ., Mejía-Hernández, P. y Cardoso-Jiménez, D. (2008). Óptimos económicos en corderos Pelibuey engordados en corral. *Universidad y Ciencia*, 24(1), 67-73.
<http://www.ujat.mx/publicaciones/uciencia/abril2008/index.html>.

Rebollar-Rebollar, S., Posadas-Domínguez, RR., Hernández-Martínez, J., González-Razo, FJ., Guzmán-Soria, E. y Rojo-Rubio, R. (2011). Technical and economics optimal in feedlot cattle. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2):413-420.

Rebollar-Rebollar, S., Gómez-Tenorio, G., Hernández-Martínez, J., Callejas-Juárez, N. & Guzmán-Sroai, E. (2014). Óptimos económicos en cortes de carne de cerdo en dos regiones de México. *Agronomía Mesoamericana*, 25(1), 161-168.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43730495013>
<http://www.redalyc.org/toc.oa?id=437 número=30495>.

Rebollar-Rebollar, S., Guzmán-Soria, E., Hernández-Martínez, J., Terrones-Cordero, A. y González-Razo, FJ. (2022). *Microeconomía básica. Teoría y práctica*. Querétaro, Qro. México: BUK.

SAS, I. (1995). *SAS User 's Guide*. N.C., EE.UU.: SAS Institute Inc.

SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2021. Resumen nacional. Disponible en http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecResumen.jsp. Consulta el 26 de enero de 2024.

SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2024. Anuario Estadístico de la Producción Ganadera. Disponible en https://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/. Consulta el 14 de febrero de 2024.

Wooldridge, M. J. (2010). *Introducción a la Econometría*. México, D. F.: Cengage Learning.

hrome-
extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/https://lapisa.com/assets/pdf/manual_diagnostico_lapisa.pdf

senasica.<https://www.gob.mx/senasica/documentos/fiebre-porcina-clasica?s>
consulta el 31 de julio de 2024

(Aguirre, 2021) <https://bmeditores.mx/porcicultura/erisipela-porcina-en-mexico/>
Consulta el 31 de julio de 2024

Chapa B. J*, Rodríguez G. E*, Moreno V. S*, Sánchez G .F**, Tecpa F. Z**, Juárez R. M**, Martínez R. G** Investigación Aplicada S.A. *Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM *

Méd. Vet. Adriana del Pilar Pastrana C., José Darío Mogollón G. y María Antonia Rincón. 2014. Los Porcicultores salmonelosis porcina

<https://www.universodelasaludanimal.com/porcicultura/los-sintomas-de-la-leptospirosis-en-cerdos/>

consulta el 1 de agosto 2024

pdf (www.amvec.com) 19383

pdf (www.amvec.com) 19790

ANEXOS

Anexo 1. Salida de resultados en SAS del modelo estimado de la función de producción

