
**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO**

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**“EVALUACIÓN MORFOLÓGICA DEL
CORDÓN UMBILICAL Y SU RELACIÓN
CON INDICADORES DE VITALIDAD EN
LECHONES CRIOLLOS”**

IDÓNEA COMUNICACIÓN DE RESULTADOS

Que para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

Presenta:

MVZ. JULIO CÉSAR RODRÍGUEZ MONTOYA

Directora:

DRA. ADELFA DEL CARMEN GARCÍA CONTRERAS

Codirectora:

DRA. YASMIN GUADALUPE DE LOERA ORTEGA

Asesor:

DR. ARMANDO PÉREZ TORRES

Ciudad de México, abril de 2025

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO**

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**“EVALUACIÓN MORFOLÓGICA DEL
CORDÓN UMBILICAL Y SU RELACIÓN
CON INDICADORES DE VITALIDAD EN
LECHONES CRIOLLOS”**

IDÓNEA COMUNICACIÓN DE RESULTADOS

Que para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

Presenta:

MVZ. JULIO CÉSAR RODRÍGUEZ MONTOYA

Directora:

DRA. ADELFA DEL CARMEN GARCÍA CONTRERAS

Codirectora:

DRA. YASMIN GUADALUPE DE LOERA ORTEGA

Asesor:

DR. ARMANDO PÉREZ TORRES

Ciudad de México, abril de 2025

“EVALUACIÓN MORFOLÓGICA DEL CORDÓN UMBILICAL Y SU RELACIÓN CON INDICADORES DE VITALIDAD EN LECHONES CRIOLLOS”

MVZ. Julio César Rodríguez Montoya

ADSCRIPCIÓN DE LOS MIEMBROS DEL COMITÉ TUTORAL

Directora:

Dra. Adelfa del Carmen García Contreras.

Profesor investigador titular “C” de tiempo completo de la Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia, Departamento de Producción Agrícola y Animal, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco.

Codirectora:

Dra. Yasmín Guadalupe De Loera Ortega.

Profesor de carrera asociado “B” de tiempo completo, de la Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México.

Asesor:

Dr. Armando Pérez Torres.

Profesor de carrera titular “A” de tiempo completo, de la Licenciatura de Médico Cirujano, Departamento de Biología Celular y Tisular, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México.

HONORABLE JURADO DE EXAMEN

Presidente:

Dr. Armando Pérez Torres.

Profesor de carrera titular "A" de tiempo completo, de la Licenciatura de Médico Cirujano, Departamento de Biología Celular y Tisular, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México.

Secretario:

Dra. Marcela Vergara Onofre.

Profesor investigador titular "C" de tiempo completo de la Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia, Departamento de Producción Agrícola y Animal, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco.

Vocal:

Dr. Alejandro Ávalos Rodríguez.

Profesor investigador titular "C" de tiempo completo de la Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia, Departamento de Producción Agrícola y Animal, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco.

JULIO CÉSAR RODRÍGUEZ MONTOYA (CVU. 1131828), agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca otorgada (824085) para la realización de mis estudios y crecimiento profesional.

CONTENIDO

DEDICATORIAS

AGRADECIMIENTOS

1. INTRODUCCIÓN.....	16
2. MARCO REFERENCIAL.....	18
2.1 Origen del cerdo y de la porcicultura.....	18
2.2 Panorama actual de la porcicultura global.....	20
2.3 Situación de la porcicultura nacional	20
2.4 Sistemas de producción en la industria porcícola.....	21
2.4 Los cerdos criollos	22
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	24
3.1 Embriogénesis y desarrollo del embrión porcino.....	24
3.2 Desarrollo placentario en cerdos	26
3.2.1 Angiogénesis placentaria.....	27
3.2.2 Tipo de placenta en cerdos	27
3.5 El cordón umbilical	28
3.5.1 Circulación umbilical	29
3.6 Mecanismo de parto.....	31
3.8 Vitalidad del lechón recién nacido	32
3.9 Indicadores de vitalidad neonatal	33
3.9.1 Peso al nacimiento	33
3.9.2 Tinción de meconio corporal	34
3.9.3 Intervalo entre expulsiones.....	35
3.9.4 Temperatura corporal.....	35
3.9.5 Primera bipedestación y contacto con la glándula mamaria.....	36
3.9.7 Índice de masa corporal, Índice ponderal y circunferencia abdominal	37
3.9.8 Forma y circunferencia de la cabeza.....	38
3.9.9 Coloración de membranas mucosas	39
3.10 Morfología del cordón umbilical	39
4. JUSTIFICACIÓN.....	41
5. OBJETIVOS.....	42
5.1 Objetivo general	42

5.2 Objetivos específicos.....	42
6. MATERIAL Y MÉTODOS	43
6.1 Ubicación y animales	43
6.2 Manejo y mediciones	44
6.3 Manejo del cordón umbilical	45
6.4 Evaluación del cordón umbilical	46
6.4.3 Toma de muestras del cordón umbilical	48
6.5 Evaluación de la vitalidad neonatal	48
6.5.1 Peso al nacimiento	48
6.5.2 Temperatura corporal	49
6.5.3 Índice de masa corporal, Índice ponderal y circunferencia abdominal	49
6.5.4 Circunferencia cefálica y forma de la cabeza	51
6.5.5 Meconio corporal	52
6.5.6 Primera bipedestación y contacto con la teta.....	53
6.5.8 Intervalo entre expulsiones	54
6.5.9 Coloración de membranas mucosas.....	54
6.5.9 Evaluación histológica	54
6.9.10 Análisis estadístico	56
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
7.1 Características zoométricas de los lechones evaluados	59
7.2 Morfología e histomorfometría del CU.....	61
7.3 Evaluación de los indicadores de vitalidad	65
7.4 Efecto de la morfometría umbilical sobre la zoometría y la vitalidad	66
8. CONCLUSIÓN.....	74
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
9. ANEXOS.....	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición tisular de la placenta porcina (Epitelio - Corial).....	28
Figura 2. Representación histológica del Cordón umbilical.	29
Figura 3. Criterios para la evaluación las características del cráneo: 1) frente pronunciada como la de un delfín; 2) Exoftalmia (ojos saltones); 3) arrugas perpendiculares a la boca y 4) pelo de punta.....	39
Figura 4. Lechones de la raza Ts'üdi xirgo.....	43
Figura 5. Valor numérico de las muescas auriculares utilizadas para la identificación animal.....	44
Figura 6. Hilos de algodón con nudos para la identificación umbilical.....	45
Figura 7. Zona de corte del cordón umbilical (CU) en el proceso de anudado de identificación. 1) Pinza de hemostasia, 2) Hilo de algodón, 3) región del corte del CU.	46
Figura 8. Zonas de medición del Diámetro umbilical (DCU). A) A 2 cm del nacimiento umbilical yuxtafetal; B) A 15 cm del nacimiento umbilical yuxtafetal; C) A 2 cm del nacimiento umbilical placentario.....	47
Figura 9. Obtención del peso al nacimiento de los lechones.....	49
Figura 10. Medición de la longitud corporal del lechón, desde el nacimiento de la base de la cola (a), hasta la punta del hueso occipital (b.	50
Figura 11. A) Medición de la circunferencia abdominal en lechones. B) Posición de la cinta métrica por arriba del cordón umbilical para la obtención de la circunferencia abdominal.....	51
Figura 12. Medición de la circunferencia cefálica de un lechón neonato.....	51
Figura 13. Lechón con características de restricción de crecimiento intrauterino: 1. Cabeza de delfín, 2. Pelo erizado, 3. Arrugas en la boca, 4. (Exoftalmia) Ojos saltones. A) Vista lateral. B) Vista frontal.	52
Figura 14. Lechón Ts'üdi en contacto con la glándula mamaria de la hembra luego de realizar su primera bipedestación (evaluación de NB y NT).....	54
Figura 15. Procesamiento histológico de las muestras. A) Deshidratación; B) Inmersión en parafina líquida; C) Inclusión en bloque de parafina.	55

Figura 16. Representación de las zonas de medición morfohistológica del Cordón umbilical.	56
Figura 17. A) Integridad del epitelio umbilical y tejido conjuntivo (gelatina de Wharton). PAS, 10x; B) Gelatina de Wharton y epitelio umbilical. Hierro coloidal, 40x; C) Vaso sanguíneo de la gelatina de Wharton. Azul Alcian, 40x; D) Tejido conjuntivo vascularizado. H&E, 10x.	62
Figura 18. A) Lumen y pared vascular de una Arteria umbilical. 4x, H&E. B) Lumen y pared vascular de la Vena umbilical. 4x, Hierro coloidal.	63
Figura 19. Evaluación de la distancia entre la arteria más próxima y el epitelio umbilical. 4x, H&E.	64

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Morfometría del cordón umbilical de acuerdo con su integridad.	65
Cuadro 2. Matriz de correlación entre las medidas umbilicales y las características zoométricas de los lechones Ts'üdi xirgo.	67
Cuadro 3. Zoometría neonatal de los Ts'üdi respecto a su vitalidad general.	69
Cuadro 4. Efecto de la morfometría umbilical sobre la vitalidad neonatal.	71

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Valores de Vitalidad promedio respecto al Índice de masa corporal (IMC) y al Índice ponderal (IP).	72
---	----

GLOSARIO DE ACRÓNIMOS

ANOVA	Análisis de Varianza.
AT	Área total del corte transversal.
CA	Circunferencia abdominal.
CC	Circunferencia cefálica.
Cm	Centímetros.
CU	Cordón umbilical.
DCU	Diámetro del cordón umbilical.
EA	Distancia epitelio – arteria más cercana.
FC	Forma de la cabeza.
GW	Gelatina de Wharton.
IE	Intervalo entre expulsiones.
IMC	Índice de masa corporal.
IP	Índice ponderal.
Kg	Kilogramo.
LCU	Longitud del cordón umbilical.
LA	Área de la luz de las arterias umbilicales.
LV	Área de la luz de la vena umbilical.
MC	Meconio corporal.
Min	Minutos.
MM	Coloración de las membranas mucosas.
NB	Intervalo entre nacimiento primera bipedestación.
NT	Intervalo entre nacimiento – llegada a la teta.
PA	Área de la pared de las arterias umbilicales.
PN	Peso al nacimiento.
PV	Área de la pared de la vena umbilical.

DEDICATORIAS

Sin duda la sección más emotiva, la más sencilla, pero a la vez, la más difícil de escribir, ya que hay tanto qué decir y tantas personas a quienes atesoro, que esta sección no me es suficiente para expresarles todo mi cariño, amor, respeto y admiración. Todos los mencionados (y los que posiblemente olvide mencionar) son parte importante en mi vida y por ustedes es que estoy aquí.

Quiero empezar dedicando este trabajo a mis dos más grandes motivaciones en la vida, a quienes amo con el alma, quienes nos enseñaron que la unidad, el amor y el apoyo de la familia hacen más ameno el camino y mucho más gratificante la meta. A quienes nos enseñaron con el ejemplo la importancia de perseverar y de esforzarme para cumplir mis objetivos de vida, quienes siempre velaron porque nada nos faltara, y que con el cariño más puro e incondicional nos dieron la oportunidad de prepararnos académicamente, sí, me refiero a mis padres: **Cynthia Montoya** y **Julio Rodríguez**. Infinito y eterno respeto, gracias por traerme a tan hermosa familia, por permitirme tener una vida feliz, por apoyarme, educarme y por siempre guiar mis pasos, esto es por ustedes y para ustedes.

Por supuesto, también dedico este trabajo a las mejores amigas, cómplices, consejeras y hermanas que la vida me pudo dar: **Meli** y **Vale**, gracias por tantos consejos, risas, por sus ocurrencias, por tantos momentos inolvidables y por hacer mi infancia y mi vida millones de veces más divertida y feliz, siempre estaré para ustedes, las amo mucho, hermanitas.

A quién me cuidó, me acompañó y me protegió, al ser humano más puro, sincero y cariñoso del mundo, quien día a día nos llevó a la escuela, quién me vio crecer, a quién el cielo ha llamado para alegrar al firmamento con sus ocurrencias y su forma tan única de ser, a mi abuelito **Sergio**, hasta donde estés, te amo y te agradezco, algún día nos volveremos a ver.

A mi abuelita **Ale**, a mi tío **Sergio** y a mi primita **Jimena**, en verdad su apoyo, cariño, compañía, consejos y los buenos momentos que pasamos son inigualables, atesoro cada recuerdo, cada risa, cada sueño, gracias por siempre estar conmigo.

A la mejor amiga, cómplice, confidente, a quién me ha acompañado de la mano por este camino, a quien admiro y respeto, a quien me enseñó que el amor y apoyo de una pareja es de los sentimientos más fuertes, a la persona que me motiva, impulsa, escucha, me apoya, me regaña, pero sobre todo, a quién con mucho amor quiero ver llegar lejos, con quien quiero alcanzar y cumplir sueños y metas, a mi compañera de viajes, de aventuras, a mi compañera de vida, a **Majo**, este logro también es tuyo, siempre te voy a cuidar y apoyar, gracias por tanto, Jochita.

A la **Dra. Adelfa** por haber creído y confiado en mí, en mis compañeros, en el proyecto, por compartir su conocimiento a lo largo de esta gran aventura de crecimiento y enseñanzas. Gracias por abrirnos las puertas de su casa, por tratarnos con el cariño de una familia, por cultivar en mí el amor por la ciencia, por enseñarme a dirigir y liderar con el ejemplo, y por contagiarnos el amor hacia los cerdos y hacia el campo.

A la **Dra. Yas**, gracias por su paciencia, por sus enseñanzas y por todo su apoyo, me enseñó el valor de una amistad y como debe de ser cultivada y cuidada día con día, gracias por tantos momentos de risas y recuerdos inolvidables.

Al **Dr. Guevara**, por haber sido un enorme apoyo emocional, por sus consejos, por sus pláticas y por todas las veces que nos fuimos a comprar “Chuchulucos” al super mercado, sin olvidar agradecer por su apoyo técnico al proyecto.

Al **Dr. Armando** y a todo el equipo de LFSIPM, son personas increíbles, un gran ejemplo y motivación, grandes profesionales a quienes admiro, pero también fantásticos seres humanos a quienes estimo tanto, gracias por su apoyo, calidez y por hacerme sentir parte del equipo, eternamente agradecido con ustedes.

A todo el equipo **Ts'üdi** y al equipo de **LABIMA**, sin ustedes nada de esto sería posible, muchas gracias por todo el apoyo y labor incomparable.

A los mejores amigos que la vida me pudo dar **Rabsa, Chris, Fercho, Checo, Camilo, Levy**, no solo comparto con ustedes una de las cosas que más amo (la música), son mi soporte emocional, los hermanos que la vida me permitió elegir, gracias por tantas risas, aventuras, giras y conciertos, gracias por tanto.

AGRADECIMIENTOS

Hay tantas personas a quienes debo mi más sincera gratitud, me siento tan afortunado de haber contado con tanto y tan hermoso apoyo.

Quiero comenzar agradeciendo de manera especial y sincera a la **Dra. Adelfa del Carmen García Contreras**, por haberme aceptado en su equipo de trabajo, por haber brindado las instalaciones para el alojamiento de los cerdos, además de facilitar los lechones, el laboratorio y los equipos necesarios para la realización de esta tesis. Asimismo, millones de gracias haberme apoyado con techo y comida durante toda mi estancia en la granja.

A la **Dra. Yasmín Guadalupe De Loera Ortega** por el apoyo económico que me brindó cuando más lo necesitaba, por su asesoría, por su paciencia y generosidad para compartir su amplio conocimiento, y que junto al **Dr. Jesús Alberto Guevara González**, contribuyeron enormemente en el financiamiento del proyecto.

Un especial agradecimiento al **Dr. Armando Pérez Torres**, a la **Dra. Evelyn Pulido**, a la **QFB. Vero** y a todo el equipo su laboratorio por su inigualable e incondicional apoyo, por proveer el equipo, el material y las instalaciones necesarias para procesar y analizar las muestras histológicas.

A todo el equipo de trabajo **Ts'üdi** y de **LABIMA**, su apoyo, compañerismo y amistad, fueron pieza clave para poder llevar a cabo todo este trabajo. Del mismo modo, agradezco a todo el equipo de la **UPFIM**, por el espacio y facilidades brindadas. A todos los alumnos de la UAM y de la UPFIM que, en su momento, formaron parte y apoyaron en la granja, su apoyo y trabajo fueron muy importantes en este trabajo.

Por último, pero no menos importante, agradezco a todos los hermosos cerdos **Ts'üdi**, por haberme permitido obtener con ellos los datos necesarios para la realización de esta tesis, sin ustedes nada de esto hubiese sido posible. ¡Oink Oink!

Julio César

RESUMEN

En el presente estudio se evaluó la relación entre las características morfológicas del cordón umbilical (CU) sobre los indicadores de vitalidad neonatal en lechones criollos. Para ello, se estudió una muestra de 120 lechones neonatos de la raza Ts'üdi xirgo, de los cuales se obtuvo la longitud (LCU), el diámetro (DCU) y la integridad (INT) como datos referentes a la morfología macroscópica del CU. Las variables evaluadas para la morfohistometría umbilical fueron el área de la luz de la vena umbilical (LV), el área de la pared de la vena (PV), el área de la luz de las arterias (LA), el área de la pared de las arterias (PA), el área de gelatina de Wharton (GW) y el área total del corte (AT).

Para cuantificar la vitalidad se implementó una escala de puntuación numérica, mediante la evaluación de los siguientes indicadores de vitalidad neonatal: el intervalo entre expulsiones (IE), el intervalo nacimiento-bipedestación (NB), el intervalo nacimiento contacto con la teta (NT), la coloración de las membranas mucosas (MM), la forma de la cabeza y el porcentaje de meconio corporal. Además, se realizó la medición de las siguientes características zoométricas neonatales como indicadores de vitalidad: peso al nacimiento (PN), circunferencia torácica (CT), circunferencia abdominal (CA), circunferencia craneal (CC), índice de masa corporal (IMC) y el índice ponderal (IP).

Se encontró que, de las características del CU evaluadas, solo el DCU mostró tener efecto sobre la vitalidad general ($P= 0.0056$), y sobre las variables zoométricas PN ($P= <.0001$), CC ($P= <.0001$), CA ($P= .0006$). Por su parte, la puntuación de vitalidad general se vio influenciada por las características zoométricas de los lechones PN ($P= <.0001$), CA ($P= <.0001$) y CC ($P= .0005$). Asimismo, el IP mostró ser un buen valor predictivo de la vitalidad del neonato ($P= <.0001$).

Palabras clave: Cordón umbilical, vitalidad neonatal, zoometría, lechones criollos.

ABSTRACT

In this study, the relationship between morphological characteristics of the umbilical cord (UC) and indicators of neonatal vitality in native piglets was evaluated. To this end, a sample of 120 newborn piglets of the Ts'üdi xirgo breed was studied. Length (LCU), diameter (DCU), and integrity (INT) were obtained as data referring to the macroscopic morphology of the UC.

The variables evaluated for umbilical morphohistometry were the area of the umbilical vein lumen (LV), vein wall area (PV), arterial lumen area (AL), arterial wall area (AW), Wharton's jelly area (WJ), and total section area (TS). To quantify vitality, a numerical scoring scale was implemented, evaluating the following neonatal vitality indicators: interexpulsion interval (IE), birth-to-standing interval (NB), birth-to-teat interval (NT), mucous membrane color (MM), head shape, and percentage of body meconium. In addition, the following neonatal zoometric characteristics were measured as vitality indicators: birth weight (BW), thoracic circumference (TC), abdominal circumference (AC), head circumference (HC), body mass index (BMI), and ponderal index (PI).

Of the UC characteristics evaluated, only the DCU showed an effect on overall vitality ($P = 0.0056$) and on the zoometric variables BW ($P = <.0001$), WC ($P = <.0001$), and AC ($P = .0006$). The overall vitality score was influenced by the zoometric characteristics of the piglets: PN ($P = <.0001$), AC ($P = <.0001$), and CC ($P = .0005$). The PI also proved to be a good predictor of neonatal vitality ($P = <.0001$).

Keywords: Umbilical cord, neonatal vitality, zoometry, native piglets.

1. INTRODUCCIÓN

La porcicultura ha mantenido su crecimiento a nivel mundial, debido al aumento en la demanda y consumo de la carne de cerdo. A nivel nacional, es una de las principales actividades económicas del subsector pecuario, siendo México uno de los principales países productores y consumidores de esta proteína **(Gómez-Tenorio et al., 2011; INAES, 2018; AMVEC, 2018)**.

La seguridad alimentaria está relacionada con el consumo de proteína de origen animal en países tanto desarrollados, como en vías de desarrollo. El cerdo es un animal fácil de criar y de establecer en diversas zonas, lo que favorece que sus subproductos se vuelvan parte de los programas de alimentación y aseguramiento de salud humana, particularmente en el medio rural, donde aproximadamente el 70% de los habitantes de estas regiones, dependen principalmente del ganado como un sustento económico familiar. Por lo regular en este tipo de comunidades se concentran poblaciones de cerdos criollos, un tercio de los cuales está en peligro de extinción **(Sierra et al., 2016; García, 2021)**.

Actualmente, la crianza de cerdo criollo se realiza principalmente en sistemas de producción de baja densidad con recursos limitados y, por ello, presentan dificultades en la crianza, siendo la sobrevivencia de los lechones durante el parto un problema difícil de combatir, los valores de mortalidad oscilan entre 15% y hasta un 45% **(Linares et al., 2011)**.

De manera general es sabido que ciertas características propias de la cerda y del lechón, son factores que pueden condicionar la supervivencia del neonato, comprometiendo su vitalidad. La medición de la vitalidad en neonatos ha sido una práctica que permite obtener beneficios en el bienestar, supervivencia y productividad de los lechones, es por lo que, con base en la valoración APGAR utilizada en neonatología humana, se han adecuado diferentes indicadores basados en las condiciones fisiológicas y morfológicas del lechón, lo que ha permitido realizar una evaluación objetiva y clara de la vitalidad neonatal en la especie porcina **(Trujillo et al., 2011; Roldán et al., 2019)**.

Aunado a ello, la morfología macroscópica y microscópica del **CU**, y la irrigación de este durante el periodo fetal pueden ser elementos importantes que comprometan esas características de vitalidad y con ello la supervivencia del lechón (**Hales et al., 2013, Sharony et al., 2015**).

Es por ello, que la presente investigación tiene como objetivo establecer la relación entre las características morfológicas del **CU** y los indicadores de vitalidad en neonatos porcinos criollos.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 Origen del cerdo y de la porcicultura

Se ha propuesto que el cerdo tuvo su origen hace aproximadamente seis millones de años, siendo descendientes directos de tres especies prehistóricas: *Sus scrofa ferus*, *Sus vittatus* y *Sus mediterraneus*. El inexistente control de los cruzamientos de los suidos prehistóricos dio origen a una variabilidad genética porcina, con lo que descendencia fue heredando características distintivas de cada una de estas especies **(Álvarez-Romero y Medellín, 2005; Germán et al., 2005)**.

En las antiguas ciudades de Grecia y Roma el cerdo era utilizado en ceremonias religiosas como sacrificio a los dioses. Se cree que la domesticación de este animal comienza debido a que los cerdos salvajes establecieron estrecho contacto con el hombre, al acercarse a los sitios donde este se encontraba para consumir los desperdicios producidos por la caza, la cocina y la agricultura **(Salas, 2012)**. A su vez, el cerdo fue evolucionando anatómicamente para adaptarse a las condiciones de cría y producción que el hombre le impuso al mantenerlo en cautiverio debido al cambio a la vida sedentaria de la población **(Pastoureau, 2015)**.

En la literatura se menciona que alrededor del año 1493, con la colonización del Nuevo mundo por parte de los españoles, llegaron los primeros cerdos a lo que hoy se conoce como América del sur, siendo la última especie animal que viajó con Cristóbal Colón, estableciéndose en Cuba y República Dominicana y expandiéndose a Colombia, Venezuela, Perú y Ecuador. No obstante, fue hasta la llegada de Hernán Cortés en 1519 cuando los cerdos llegaron y comenzaron a distribuirse en todo México **(Del Río, 1996)**.

En México, la actividad porcícola tiene su origen alrededor del siglo XVI, iniciando con la crianza de cerdos criollos o locales, a base del cruzamiento sin control de las distintas razas llegadas a México (cerdos ibéricos, asiáticos y célticos) **(INAES, 2018)**. Dichos cruzamientos esclarecen el panorama del porqué de la gran variabilidad fenotípica y genotípica porcina en América latina, derivado también de la adaptación de estos animales durante más de 500 años, así como a la

introducción y mezcla con otros genotipos **(Linares et al., 2011; Mireles et al., 2015)**.

Posteriormente, en el siglo XX se comienza la importación de razas mejoradas o también denominadas “razas comerciales”: Yorkshire, Landrace, Hampshire, Duroc-Jersey, Poland China y/o Pietrain, lo que produjo un mestizaje, y con ello la erosión genética de los animales criollos locales, acelerando el crecimiento de la producción porcina comercial, convirtiendo esta actividad en la segunda fuente de abastecimiento de carne en México **(Drucker y Anderson, 2004; INAES, 2018)**.

Con la introducción de razas porcinas mejoradas, la porcicultura en México ha cursado históricamente cuatro etapas, las cuales marcaron la pauta para la evolución de la actividad porcícola nacional.

- La primera etapa (1900-1972): En esta etapa se establece un programa de mejoramiento genético, el cual contó con la importación de líneas de cerdos mejoradas provenientes de Estados Unidos y China, produciendo un cruzamiento descontrolado y un aumento significativo en la producción de cerdo desde 1960 hasta 1972 **(Iglesias et al., 2017)**.
- La Segunda etapa (1973-1983): Debido al crecimiento de las producciones intensivas y al subsidio gubernamental que los productores recibían (hasta el 60% de insumos agrícolas), la porcicultura presentó las tasas más altas de crecimiento, con un aumento en la producción de carne de cerdo del 159% en tan solo 11 años, además, el consumo *per cápita* se incrementó de 11.2 a 21 kg **(Gómez-Tenorio et al., 2011; Zavala, 2014)**.
- La Tercera etapa (1984-1997): se considera una etapa de decadencia, debido a la crisis financiera por la que atravesaba el país. Como consecuencia, se retiraron todo tipo de subsidios hacia el campo, aumentaron los costos de producción y se redujo el poder adquisitivo de las personas, lo que condujo a una radical reducción del inventario, de la producción y del consumo de productos de origen porcino, dando como resultado mayor interés de los

consumidores por la carne de pollo, gracias a su bajo costo, y al cambio en el modelo de alimentación **(Moral et al., 2008)**.

- La Cuarta etapa (1998-actualidad): el tratado de libre comercio de América del Norte (TLCAN), mostró el estado real de las unidades de producción y la poca competitividad que estas podían tener, ejerciendo presión sobre los sistemas de producción de baja y mediana densidad, lo que generó el cierre de las estas granjas, orientando a la porcicultura nacional en los sistemas de alta densidad, estabilizando la economía y recuperándose de los daños causados en años anteriores **(SAGARPA, 2000)**.

2.2 Panorama actual de la porcicultura global

La porcicultura ha ido creciendo a un ritmo acelerado, tanto a nivel mundial como a nivel nacional, incrementándose el inventario animal, la producción y consumo *per cápita* de carne de cerdo **(AMVEC, 2018)**.

Con relación a la producción mundial de carne de cerdo, el principal país productor es China, con una producción anual de 1.77 millones de toneladas en 2024, seguida por la Unión Europea, Estados Unidos, Brasil, Rusia, Vietnam, Canadá y México. Nuestro país ocupa en 8° lugar, con una producción anual de 1.45 millones de toneladas, ocupando el 1.48% de producción de cerdo a nivel mundial **(COMECARNE, 2024)**.

A su vez, el consumo de carne de cerdo a nivel mundial es semejante respecto a la producción, siendo China el principal consumidor, seguido de la Unión Europea y Estados Unidos. De forma general, se calcula que, el nivel de demanda de carne de cerdo es mayor a la producción anual en países como China, Vietnam, Japón, Corea del Sur e inclusive México. Por ello, se tiene que importar carne de cerdo de países cuya producción sea mayor que el consumo para satisfacer las necesidades **(Alonso et al., 2020)**.

2.3 Situación de la porcicultura nacional

De manera general, la actividad porcícola nacional se ha localizado principalmente en seis zonas productoras: Noreste, Noroeste, Bajío, Centro, Sureste y la Península

de Yucatán. La zona con mayor producción es la del Bajío (**Trujillo et al., 2002**). Los principales estados productores de carne de cerdo son Jalisco, Sonora y Puebla, seguidos de Veracruz y Yucatán, los cuales representan hasta el 70% de la producción porcina nacional (**COMECARNE, 2024**).

En Sonora y Jalisco se concentra alrededor del 40% de la producción nacional, siendo Sonora el principal exportador a Japón, Corea y EE. UU, mientras que Jalisco se enfoca principalmente al abasto nacional, produciendo 399,562 toneladas de carne (**Zavala, 2014; SIAP, 2023**).

No obstante, la información antes señalada presenta un gran sesgo productivo, ya que únicamente se consideran a aquellos sistemas de producción de carácter industrializado, concentrados principalmente en el sector privado, en donde la producción se basa en el uso de razas comerciales, siendo las principales Duroc, Hampshire, Yorkshire y Landrace, dejando a un lado la producción de cerdos criollos (**Pérez, 1999; AMVEC, 2018; INTAGRI, 2019**). Lo anterior es importante ya que no existen datos precisos y actuales sobre la población de cerdos locales, nativos o criollos en México. **García et al. (2008)**, reportan que en los años 70 el 80% de la población en América Latina eran cerdos criollos.

2.4 Sistemas de producción en la industria porcícola

Para entender los sistemas de producción animal, se debe tener en cuenta que un sistema es un conjunto de elementos capaces de intercambiar información con su medio externo, que interaccionan entre sí y juntos buscan un fin en común (**Bravo, 2017**). Estos sistemas se organizan dentro de unidades de producción. La Ley Federal de Sanidad Animal define a la unidad de producción (UP) como un espacio físico en el que se alojan especies animales, para su cría, reproducción y engorde con el propósito de utilizarlas para autoconsumo, abasto o comercialización.

Organismos gubernamentales, nacionales e internacionales, tales como la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación), INEGI (Instituto Nacional de Estadística y geografía), FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura), entre otros, engloban a los

sistemas de producción porcina en tres estratos: tecnificada (46%), semitecnificada (20%) y de traspatio (34%) (**Zavala, 2014**).

Sin embargo, en México, los sistemas de producción porcina también pueden ser organizados con base en diferentes criterios de selección, los cuales se adaptan, se describen y se manejan dependiendo los requerimientos, formas, grados o modos de producción de cada UP, los cuales se enlistan a continuación (**Lemus y Alonso, 2005; García et al., 2011; Montero et al., 2015**):

- 1) Por modo de producción: Industrial, semi-industrial, familiar.
- 2) Por carga animal: Alta densidad, mediana densidad, baja densidad.
- 3) Por su grado de tecnificación: Tecnificado, semi-tecnificado, sin tecnificación.
- 4) Condición del sistema: Extensivo, intensivo.
- 5) Modelo de producción: Convencional, ecológico, orgánico.

2.4 Los cerdos criollos

De acuerdo con el Sistema de Información sobre Diversidad de Animales Domésticos (DAD-IS por sus siglas en inglés), el cerdo local, nativo o criollo de México incluye 3 genotipos: el cóscate o pata de mula, el cerdo pelón y el Ts'üdi xirgo, recientemente registrado. Lamentablemente, el cerdo cuino desapareció de la lista debido la falta de evidencia sobre su actual situación de crianza e inventario (**Lemus et al., 2003; Sierra et al., 2014; Mireles et al., 2015; Sierra-Vásquez et al., 2016**).

La función que se le ha impuesto a los cerdos criollos es la de servir como sustento económico para las familias que los producen, proveer de alimento de origen animal a la población humana, y a su vez, ser una de las fuentes proteicas con mayor valor biológico, además de una fuente energética de alto valor nutritivo para la salud de las personas (**Salas, 2012**). El desconocimiento de estas bondades ocasiona que pocas UP los críen y que se dificulte su comercialización a precios justos. No obstante, su capacidad de resiliencia y adaptación lo hacen un recurso importante

para el sector rural, ideales para sistemas de baja densidad que no cuentan con infraestructura cara y sofisticada, disminuyendo la prevalencia de enfermedades y dificultades para su crianza **(Sierra, 2000; Trujillo et al., 2002; Solís et al., 2018)**.

Los cerdos criollos suelen tener una particular calidad y versatilidad en su carne, presentando un alto grado de succulencia y capacidad de infiltración grasa en algunos ejemplares **(Lemus y Alonso, 2005; Perezgrovas et al., 2007; Lemus et al., 2005)**. Tanto la carne como la grasa de estos cerdos son ricos en sabores umami, representando para los pobladores rurales un producto de alta exquisitez, que lamentablemente no se pueden encontrar con facilidad. Los productos que se pueden elaborar con su carne se cotizan en los mercados locales, favoreciendo la conservación de la cocina tradicional y el arraigo a la cultura gastronómica local **(Martínez et al., 2016; Linares et al., 2017)**.

Respecto al comportamiento productivo y reproductivo, estos cerdos poseen un rendimiento menor que las líneas de cerdos comerciales, no obstante, la importancia del uso y la conservación de los recursos zoogenéticos criollos radica en la preservación de la riqueza genética nacional. Además, contender con un animal resiliente a los cambios del medio ambiente, con capacidad fisiológica para aprovechar los recursos que para otros pueden ser desechos, pueden producir de forma económica y eficiente. Además, la crianza de estos cerdos ha mostrado el arraigo a la tierra de personas que no encontraban un medio de vida en su lugar de origen, proveyendo identidad y conservación cultural, y el reconocimiento del trabajo y la independencia de mujeres productoras de cerdo criollo. **(Sierra-Vásquez et al., 2016; Berghof et al., 2018; Sánchez-Molano et al., 2019; Harlizius et al., 2020 García, 2021)**.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Embriogénesis y desarrollo del embrión porcino

La embriogénesis en los mamíferos se da posterior a una fecundación exitosa. Este proceso se divide en cuatro etapas principales: segmentación, morulación, blastulación y gastrulación.

En la segmentación se da la primera división celular, originando dos células o blastómeros con los cromosomas típicos de cada especie. Estas células continúan dividiéndose, formando un conjunto de células iguales en tamaño, denominado mórula (morulación). Los blastómeros más externos sufren un proceso de compactación asociado a la activación de moléculas de adhesión celular, mediado por el calcio (Ca^{++}), formándose una especie de epitelio o trofoectodermo que rodea al grupo de blastómeros centrales o masa celular interna (**Carlson, 2014; Salazar, 2016**).

Durante la blastulación, una bomba o ATPasa de Na^+ , K^+ , permite que Na^+ y agua atraviesen el trofoectodermo y se acumulen en el intersticio de la masa celular interna. El espacio lleno de líquido recibe el nombre de blastocelo, mientras que al embrión en conjunto blastocisto, formado por trofoectodermo, masa celular interna, blastocelo y membrana prelúcida (**Sadler, 2019**).

Las células del epitelio uterino comienzan a secretar citocinas y quimiocinas que atraen al blastocisto, los cuales se adhieren al epitelio endometrial a través de proteínas transmembranales del trofoblasto llamadas integrinas, dando como resultado la implantación uterina del producto. Las integrinas clave son la $\alpha 5 \beta 1$, que se une a fibronectina y adhiere el blastocito al endometrio; la $\alpha v \beta 3$, que interactúa con vitronectina y osteopontina promoviendo la adhesión e invasión trofoblástica; la $\alpha 6 \beta 4$ que se une a la laminina de la lámina basal del endometrio y las integrinas $\alpha 1 \beta 1$ y $\alpha 2 \beta 1$ que se une a colágeno tipo IV de la lámina basal endometrial. La implantación exitosa del blastocisto requiere de todas las integrinas mencionadas para asegurar que se adhiera y penetre en el endometrio (**Carlson, 2014; Johnson et al., 2022**).

Durante estos eventos secuenciales, las células de la periferia del trofoectodermo (citotrofoblasto) se fusionan para formar el sincitiotrofoblasto, el cual se va abriendo camino a través de las células del epitelio endometrial hasta entrar al estroma uterino. La ruptura celular del estroma uterino ocasiona que las células deciduales se junten unas con otras rodeando el embrión, al mismo tiempo que se realiza una reparación tisular a base de fibrina, dejando un área edematosa, rica en glucógeno y lípidos, ocasionando un proceso inflamatorio que atrae leucocitos cercanos, los cuales secretan interleucina 2, que evita el reconocimiento del embrión como un cuerpo extraño. A este proceso se le conoce como reacción decidual. Adicionalmente, se establecen varios mecanismos de tolerancia inmunológica activa, de modulación del sistema inmunológico materno y secreción de factores protectores que impiden el rechazo del embrión. En resumen, participan linfocitos T reguladores, células citotóxicas naturales (NK) uterinas (diferentes a las NK circulantes) y macrófagos M2, citocinas antiinflamatorias como IL-10 y TGF- β y hormona gonadotropina coriónica. Adicionalmente, el embrión no expresa las típicas moléculas clase I y clase II del Complejo Principal de Histocompatibilidad, con lo evita la actividad de las células NK **(Carlson, 2014; Salazar, 2016)**.

En el proceso de gastrulación, se forman las tres capas primordiales: **(Carlson, 2014; Sadler, 2019; Jonhson et al., 2022)**:

- El ectodermo: es la capa más superficial del embrión, se divide en dos: ectodermo neural, el cual dará origen al sistema nervioso central del feto, y el ectodermo superficial, quien formará los tejidos más superficiales como la epidermis, pezuñas, pelo, glándulas mamarias y los dientes.
- El mesodermo: es el tejido embrionario intermedio. La notocorda es un derivado mesodérmico que ejerce acciones inductoras para la diferenciación del neuroectodermo en tejido nervioso; el mesodermo paraxial, encargado de formar el tejido muscular, cartilaginoso, óseo y la dermis; el mesodermo intermedio, a partir del cual surgirán los riñones y el sistema urogenital del embrión; y el mesodermo lateral, da origen al sistema cardiovascular.

- El endodermo embrionario da lugar a los órganos que componen el sistema digestivo y respiratorio del embrión. A su vez, el endodermo extraembrionario da lugar al saco vitelino y, posteriormente, al cordón umbilical.

3.2 Desarrollo placentario en cerdos

La placenta es un órgano temporal presente en la etapa embrionaria y fetal, conformada por diferentes tipos de células y tejidos embrionarios y uterinos, es la encargada de producir y coordinar los cambios en la vascularización que permite la circulación sanguínea materno fetal a través de mecanismos de difusión pasiva, difusión facilitada y por gradiente de concentración **(Roa et al., 2012; Reyna-Villasmil, 2018)**.

Del mismo modo, la placenta posee funciones endócrinas, secretando progesterona y estradiol, ambos inhibidores de la luteólisis. Asimismo, la placenta tiene funciones inmunológicas, secretando moléculas inhibidoras de la acción inmunológica

local de la madre, sumado a la nula expresión de las dos principales clases de antígenos de histocompatibilidad en las células de las vellosidades placentarias, disminuyendo el riesgo de diferencia antigénica y de una reacción de rechazo **(Carlson, 2014)**.

La placentación da inicio una vez sucedida la implantación. Una masa sólida de citotrofoblastos recubierta por sincitiotrofoblastos comienza a formar pequeñas proyecciones o vellosidades alrededor de todo el embrión, que penetran el estroma uterino **(Croy et al., 2009; Carlsons, 2014)**. Las vellosidades erosionan el endotelio vascular de los vasos uterinos, ramificándose cada vez más, avanzando en el estroma uterino. Estas vellosidades formarán una parte importante de la placenta **(Reyna-Villasmil, 2018)**. La primera sangre que llega al embrión tiene muy poca presión vascular y una cantidad baja de oxígeno. Este estado de hipoxia estimula la actividad mitótica del citotrofoblasto favoreciendo la formación placentaria **(Wang y Zhao, 2010; Salazar, 2016)**.

Es importante mencionar que la densidad y el tamaño de las vellosidades no son constante, sino que se modifican respecto a la edad placentaria y condiciones

ambientales. Asimismo, el estado nutricional de la hembra es un factor importante ya que, en escasos de nutrientes, las vellosidades tienden a expandirse y de no recibir las sustancias requeridas por el feto, se puede ocasionar un bajo peso al nacimiento de los animales **(Roa et al., 2012; Boeta et al., 2018)**.

3.2.1 Angiogénesis placentaria

La circulación placentaria se origina durante la implantación uterina, cuando las células del sincitiotrofoblasto penetran por completo el estroma endometrial, degradando el endotelio vascular uterino, ocasionando el flujo sanguíneo hacia las lagunas del sincitiotrofoblasto **(Boeta et al., 2018; Salazar, 2018)**.

La funcionalidad de la placenta y la continuación de la gestación, son posibles gracias a la formación de una red vascular desde el endometrio hasta la placenta. El proceso de formación de nuevos vasos sanguíneos a partir de la diferenciación de células mesenquimales pluripotentes hemangiogénicas es denominado vasculogénesis. Por otro lado, la síntesis de vasos sanguíneos a partir de otros ya existentes se denomina angiogénesis **(Espinoza, 2011; Reyna-Villasmil, 2018)**.

Estos procesos están promovidos y regulados por factores vasculogénicos y angiogénicos, dentro de los cuales se encuentran: el factor de crecimiento vascular, angiopoyetinas, y el factor de crecimiento endotelial vascular (VEGF). Este último es uno de los más importantes en la generación de redes vasculares placentarias **(Merkis et al., 2006; Carlson, 2014)**.

El flujo sanguíneo en la placenta está directamente relacionado con el crecimiento fetal, con la sobrevivencia y el peso del neonato. Se ha establecido que el incremento exponencial del crecimiento fetal durante la última mitad de la gestación depende principalmente del crecimiento de la red vascular placentaria **(Espinoza, 2011; Boeta et al., 2018; Reyna-Villasmil, 2018)**.

3.2.2 Placenta en los cerdos

La placentación de los cerdos se clasifica como difusa ya que las vellosidades placentarias se encuentran distribuidas a lo largo de toda la superficie del corion. Con base en el número de capas de tejido, la placenta de los cerdos es epitelio-

corial, formada por tres capas embrionarias y tres capas maternas, manteniendo la circulación materno-fetal más separada (**Figura 1**), sirviendo como una barrera aislante y poco permeable (**Salazar, 2016; Boeta et al., 2018**).

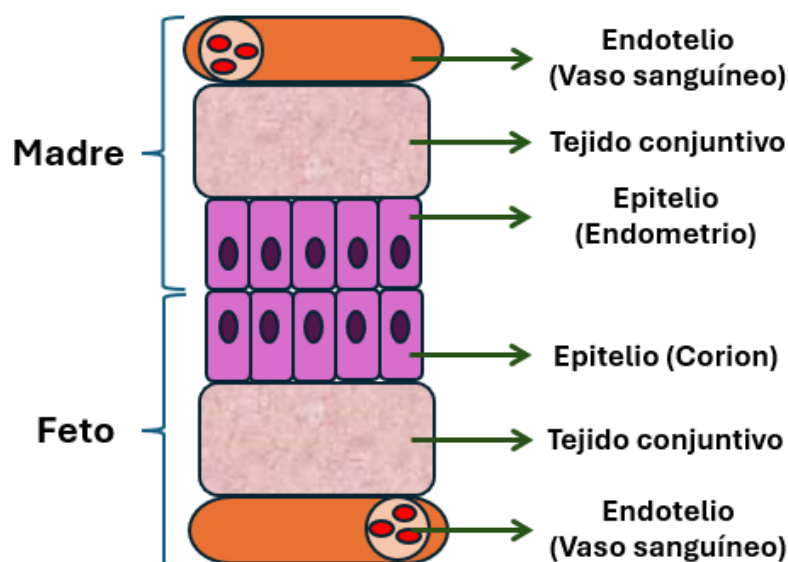


Figura 1. Composición tisular de la placenta porcina (Epitelio - Corion).
Adaptado de: **Salazar, 2016**.

3.5 El cordón umbilical

La formación del cordón umbilical (CU) ocurre después a la implantación uterina, cuando la cavidad amniótica crece a expensas de la cavidad coriónica, y el amnios comienza a envolver el pedículo de fijación del saco vitelino y del alantoides, adosándolos y dando origen al CU (**Olaya y Bernal, 2013; Carlson, 2014**).

El CU es la estructura embrionaria encargada de la circulación sanguínea bilateral entre la madre y el feto, asegurando una adecuada nutrición, oxigenación fetal, transporte de hormonas y eliminación de desechos, además de brindar protección inmunológica mediante el flujo de anticuerpos y de regular la temperatura del feto (**Barnwal et al., 2012; Pinheiro et al., 2024**).

Está constituido por un sistema vascular de una vena y dos arterias, y por el uraco (*Ductus allantois*), todo incluido dentro de un tejido conjuntivo mucoso rico en proteoglucanos, glucosaminoglucanos, agua y ácido hialurónico llamado gelatina de

Wharton, el cual brinda soporte y protección a estas estructuras, además de que se cree que regula la presión vascular fetal (**Neri et al., 2009; Blanco et al., 2011; Debebe et al., 2020**).

A nivel histológico, las arterias umbilicales muestran un lumen pequeño y paredes musculares densas, carentes de lámina elástica interna, por otro lado, la vena umbilical posee un lumen más grande y paredes musculares circulares menos prominentes y laxas que las arterias, además de tener lámina elástica interna (**Wang y Shao, 2010; Barrios-Arpi et al. 2017**). En la gelatina de Wharton se encuentran miofibroblastos y fibras de colágena y elastina que confieren resistencia y contractilidad al CU (**Di Naro et al., 2001; Olaya y Bernal, 2013**) (**Figura 2**).

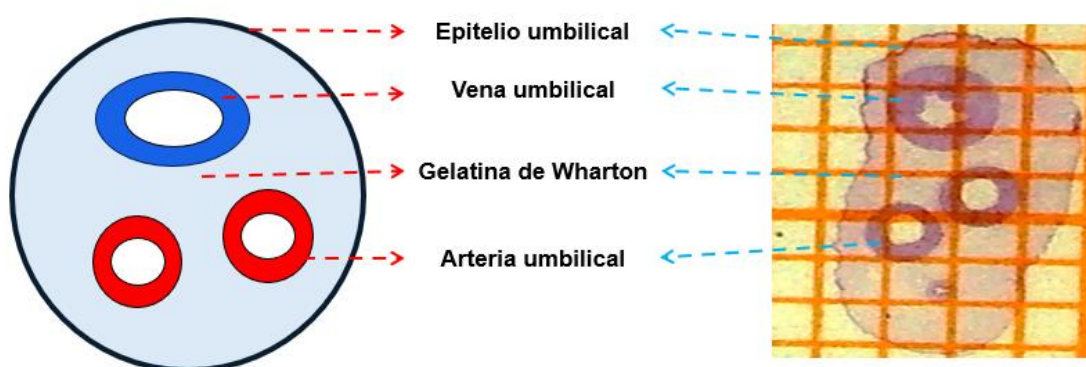


Figura 2. Representación histológica del Cordón umbilical.
Adaptado de: **Sharony et al., 2015**.

3.5.1 Circulación umbilical

El CU es una extensión del sistema cardiovascular fetal. Una de sus principales características es que lleva a cabo una circulación inversa, en la cual la vena umbilical se encarga de transportar la sangre rica en nutrientes y oxígeno de la madre hacia el feto, mientras que las arterias umbilicales se encargan de transportar la sangre rica en CO² y metabolitos de desecho del feto hacia la madre (**Barrios- Arpi et al., 2017; Hasegawa, 2018**).

Para una circulación sanguínea eficaz, el sistema vascular fetal cuenta con tres derivaciones, que son pequeños pasajes que permiten circunvalar ciertas partes del

cuerpo, principalmente los pulmones y el hígado, que aún no se han desarrollado completamente mientras el feto está dentro del útero. Las derivaciones son: *ductus venosus*, *ductus arteriosus* y el *foramen ovale* **(Carlson, 2014; Sánchez-Trujillo et al., 2022)**.

El flujo sanguíneo del CU comienza en la vena umbilical. Ésta conduce la sangre oxigenada hasta el hígado del feto, donde una pequeña porción de sangre provee de nutrientes a este órgano, mientras que el resto de la sangre fluye por el *ductus venosus* hasta la vena cava inferior, la cual desemboca en el atrio derecho. De aquí, poca cantidad de sangre fluye al ventrículo derecho y de aquí a los pulmones (ver adelante); la mayor cantidad de sangre fluye a través del foramen oval del septo interatrial hacia el atrio izquierdo y luego al ventrículo izquierdo. Durante la sístole ventricular la sangre pasa a la aorta, comenzando una circulación sistémica, priorizando irrigar el cerebro y los miembros superiores **(Barnwal et al., 2012; Pinheiro et al., 2024)**.

Una vez la sangre oxigenada es utilizada, regresa a la aurícula derecha a través de la vena cava superior, mezclándose en poca cantidad con sangre oxigenada. La sangre que llega al ventrículo derecho es bombeada hacia la arteria pulmonar y gracias al cortocircuito formado entre esta arteria y el arco aórtico por el *ductus arteriosus*, la sangre desoxigenada fluye por la aorta descendente. Las arterias ilíacas internas originan las arterias umbilicales, la cuales se dirigen hacia el ombligo y al salir integrarán, con la vena umbilical y la gelatina de Wharton, el CU. La sangre venosa fluye por las venas umbilicales hacia la placenta, donde comenzará el ciclo de la circulación fetoplacentaria **(Debebe et al., 2020; Sánchez-Trujillo et al., 2022)**

El estudio del CU es de gran importancia debido al rol que tiene en la vida intrauterina. Asimismo, el manejo adecuado de esta estructura al momento del parto puede ser un factor que afecte la vitalidad, el rendimiento productivo, el desarrollo posnatal y la mortalidad de los lechones **(Alzaree et al., 2018; Fordyce et al., 2021)**.

3.6 Mecanismo de parto

El parto se define como el mecanismo fisiológico de expulsión del feto y las membranas fetales, con lo cual se da el término de la gestación y comienza el momento en el que el feto es capaz de sobrevivir fuera del útero (**Vongsariyavanich, 2021**).

Este proceso tiene una duración aproximada de dos a cinco horas. Posteriormente, la expulsión placentaria dura alrededor de cuatro horas una vez nacido el último lechón. En algunos casos, en partos mayores a seis horas se presentan complicaciones que dan lugar a un mayor porcentaje de lechones nacidos muertos. Debido a esto, durante varios años se han utilizado diversos análogos de prostaglandinas para inducir y sincronizar el parto; sin embargo, en ocasiones esto resulta contraproducente por una incorrecta aplicación (**Neri et al., 2009; Roldán et al., 2019**).

El mecanismo de parto comienza con cambios estructurales en la placenta y de las hormonas maternas y fetales, así como factores físicos o mecánicos. Los niveles altos de progesterona lútea y placentaria durante la gestación, neutraliza o modula la acción de los estrógenos y las prostaglandinas placentarias. Lo anterior disminuye los efectos oxitócicos en el miometrio debido a la baja concentración de Ca^{++} intracelular (**Brito, 2009**). Al final de la gestación, la concentración de progesterona disminuye, permitiendo que se manifieste la acción de los estrógenos y prostaglandinas sobre las contracciones uterinas (**Boeta et al., 2018**).

El parto comienza con la liberación de hormonas esteroides de la corteza suprarrenal del feto. El aumento de corticoides por la activación del eje-hipófisis-suprarrenal está relacionado con la síntesis de prostaglandina $\text{F2}\alpha$ y de estrógenos en los placentomas. Un desequilibrio estrógeno-progesterona, junto con las hormonas relaxina y oxitocina, causante de relajación cérvix y vagina, factores que desencadenan el parto (**Brito, 2009; Björkman, 2018**).

Boeta et al., (2018) y **Laothong et al. (2024)** Mencionan que el parto se divide en tres etapas: dilatación cervical, expulsión fetal y expulsión de membranas fetales.

- a) Dilatación cervical: El inicio de las contracciones de las fibras musculares longitudinales y circulares del útero, debido al descenso en los niveles de progesterona y al incremento de estrógenos durante esta primera etapa, provocan la dilatación del cuello uterino. El pulso materno se acelera, el ritmo cardíaco fetal sea más lento y el útero presente una ligera isquemia.
- b) Expulsión fetal: Se caracteriza por la ruptura de la bolsa alantoidea, permitiendo la entrada del feto al canal de parto, seguido de la ruptura de la bolsa amniótica y expulsión a través de la vulva.
- c) Expulsión de la placenta: Durante esta etapa se realiza la separación de las vellosidades coriónicas debido a una vasoconstricción de las arterias.

3.8 Vitalidad del lechón recién nacido

A pesar de los avances tecnológicos, las mejoras en el manejo, diseño de instalaciones, selección genética y el estatus sanitario, la mortalidad de los lechones durante el parto y la lactancia es un problema económico que afecta a los porcicultores, pudiendo presentar índices de mortalidad desde 15% a 45% **(Alonso et al., 2007; Muns et al., 2016)**.

Indudablemente, el parto y el nacimiento desafían al recién nacido, ya que debe adaptarse a la vida extrauterina y sobrevivir al problemático período neonatal, experimentando cambios metabólicos, respiratorios, térmicos y circulatorios capaces de comprometer su vida. Aunado a ello, factores ambientales (exposoma) y de manejo impactan directamente en su bienestar, desarrollo y vitalidad, lo que determina la supervivencia de los lechones lactantes **(Muns et al., 2016; Islas-Fábila et al., 2018)**.

La vitalidad neonatal, se define como la fuerza o el vigor que el recién nacido tiene para afrontar los retos y desafíos que se le presenten, conservando la capacidad de desarrollarse, sobrevivir y recuperarse de cualquier desequilibrio causado por el estrés en el proceso de nacimiento **(Roldán et al., 2019; Scodl et al., 2019)**.

Cuando la vitalidad se ve afectada, los neonatos experimentan alteraciones en el metabolismo energético, el intercambio gaseoso, el equilibrio ácido-base y un adecuado estado de protección inmunológica, debido a una menor ingesta de

calostro. La baja vitalidad es un problema recurrente en la perinatología veterinaria y varios factores pueden culminar directa o indirectamente en la muerte neonatal. Por ello, la vitalidad puede servir como una alternativa para disminuir la mortalidad neonatal (**Mota et al., 2012**).

3.9 Indicadores de vitalidad neonatal

La evaluación de la vitalidad en neonatos es una práctica que permite obtener beneficios en el bienestar, la supervivencia y la productividad de los lechones, identificando tempranamente a los neonatos vulnerables, y así poder brindar el manejo adecuado a cada animal (**Scodl et al., 2019; Islas-Fábila et al., 2023**).

La vitalidad neonatal se evalúa en los primeros minutos posteriores al nacimiento. Son valorados indicadores fisis metabólicos (gases en sangre, lactato, glucosa, hematocrito), de comportamiento, indicadores del desarrollo neurológico (prueba APGAR), variables productivas (peso al nacimiento, intervalo entre expulsiones, tamaño de camada), así como características del cordón umbilical, para ello, se han adecuado diferentes indicadores que permiten realizar una cuantificación objetiva y clara de la vitalidad neonatal en la especie porcina. El objetivo final es conocer el estado físico, metabólico y neurológico del neonato (**Trujillo et al., 2011; Reverman et al., 2018; Roldán et al., 2019**).

3.9.1 Peso al nacimiento

La mortalidad durante la lactancia en las unidades de producción porcina ha ido incrementando a consecuencia de la gran variabilidad en el peso al nacimiento (**PN**) de los lechones, influenciada por factores como el genotipo materno, el incremento en el número de fetos, la desnutrición materna, la edad materna, el calor medioambiental o el estrés por frío, el tamaño de la placenta, la reducción en la tasa de saturación de oxígeno y disponibilidad de nutrientes fetales, el flujo sanguíneo en la placenta, entre otros (**Schmitt et al., 2019; Fordyce et al., 2021**).

El (**PN**) se ha considerado como un indicador que sirve como predictor de la productividad de los lechones, ya que los lechones de bajo peso (<1Kg) muestran un menor potencial de crecimiento debido al menor número de fibras musculares formadas en la etapa prenatal, aunado a ello tiene relación directa con la vitalidad y

la supervivencia, ya que neonatos son más propensos a la hipotermia, debido a la alta relación superficie/volumen, además de ser más sensibles a temperaturas ambientales menores a 28C° (**Muns et al., 2016; Mota-Rojas et al., 2018; Thongkhuy et al., 2020**).

Además, los lechones de bajo **PN** presentan problemas con la ingesta de leche, ya que suelen ser superados por sus contrapartes de mayor peso al momento de pelear y competir por alimento, resultando más lastimados en el proceso. La baja ingesta de calostro condiciona una protección inmunológica deficiente (**Declerk et al., 2016; Laothong et al., 2024**).

3.9.2 Tinción de meconio corporal

El meconio es una sustancia estéril, viscosa y con color verde-amarillento, compuesta por una mezcla de secreciones gastrointestinales, bilis, jugo pancreático, moco, detritos celulares, líquido amniótico, lanugo y sangre (**Mota et al., 2012**).

El mecanismo para la aparición de meconio en el parto comienza con una obstrucción o interrupción del transporte de oxígeno hacia el feto, que puede deberse a la ruptura, torsión, enredo o anomalías en el cordón umbilical. El estado de hipoxia ocasiona la redistribución de la sangre desde el intestino hacia los órganos vitales como el corazón y el cerebro, provocando un aumento del peristaltismo intestinal y relajación del esfínter anal. Estas dos respuestas inducidas por la hipoxia finalmente conducen a la liberación de meconio en el líquido amniótico. Si la hipoxia fetal persiste, el aumento de los movimientos respiratorios con la glotis abierta resulta en la aspiración de líquido amniótico, el cual está contaminado con meconio. La inhalación de meconio ocasiona en el lechón un proceso inflamatorio a nivel alveolar que dificulta el intercambio gaseoso en cuanto el lechón pueda inhalar aire. La consecuente deficiencia en la oxigenación tisular favorece la aparición de dificultades neuro motrices, baja la vitalidad y el rendimiento productivo y, posiblemente, la muerte (**Alonso et al., 2007; Mota et al., 2012; Roldán et al., 2019**).

La evaluación del meconio se apega a lo establecido en neonatología humana, en donde se evalúa el porcentaje de la superficie corporal teñida de meconio, así como la entrada de este en las vías respiratorias **(Fischer y Wanher, 2005)**.

3.9.3 Intervalo entre expulsiones

El intervalo entre expulsiones es un indicador que permite evaluar la vitalidad y el bienestar de los recién nacidos, debido a que si el tiempo que tarda el lechón en recorrer el canal uterino es mayor de 25min se puede ocasionar la ruptura del cordón umbilical por acción de las contracciones uterinas, generando problemas de hipoxia, con posible expulsión de meconio y los problemas que esto conlleva **(Muns et al., 2016)**.

Además, se ha encontrado una relación positiva entre la muerte fetal de los lechones y su intervalo de nacimiento, asimismo, se ha descrito que cuando el intervalo de nacimiento de un lechón es largo, puede afectar también la vitalidad de los lechones que vienen detrás de él **(Mota et al., 2018)**. Además, el orden de nacimiento puede servir como un indicador de vitalidad que sirva como predictor de la supervivencia antes del destete, debido a que los lechones que nacen al último tienen una mayor probabilidad de sufrir hipoxia y daños irreparables en órganos vitales **(Islas-Fábila et al., 2018; Gourley et al., 2020)**.

3.9.4 Temperatura corporal

Un factor por considerar en la vitalidad es la temperatura corporal de los recién nacidos, ya que pasan de un ambiente uterino altamente controlado, con temperaturas de 38 a 40 °C, a las condiciones menos controladas de la vida extrauterina, ocasionando que la temperatura corporal disminuya entre 2 y 4 °C en los primeros 20 minutos de vida **(Mota-Rojas et al., 2018; Schmid et al., 2021)**.

El descenso repentino de la temperatura corporal del lechón, se da en respuesta a una serie de factores: escaso tejido adiposo subcutáneo, bajas reservas de glucógeno, incompleta termorregulación, pelo escaso y delgado, convección (flujo de aire), aislamiento reducido, pérdida de calor por evaporación (debido a la piel húmeda), conducción (por contacto con superficies más frías) y rápida disipación de

calor debido a su alta relación superficie:volumen atribuible a su tamaño **(Roldán et al., 2019; Islas-Fábila et al., 2023)**.

La termorregulación es el principal mecanismo fisiológico para la conservación de la temperatura. Se logra principalmente mediante la ingesta de calostro y por la producción de calor metabólico resultado de contracciones musculares que se logran con el movimiento y la actividad física. Sin embargo, si el lechón presenta baja actividad, recurrirá a los temblores para generar calor, ocasionando agotar sus escasas y valiosas reservas, pudiendo generar hipoglucemia **(Herpin et al., 2002; Baxter et al., 2008; Mota-Rojas et al., 2012)**.

La calefacción en la sala de maternidad y el secado rápido del recién nacido en el momento del nacimiento también ayudan a prevenir la hipotermia, especialmente en lechones con bajo peso al nacer **(Panzardi et al., 2013; Schmid et al., 2021)**. La detección rápida de la hipotermia durante las primeras horas de vida, junto con prácticas de crianza adecuadas, ayudan a reducir la mortalidad en los lechones debido a la pérdida de calor, aplastamiento y desnutrición **(Mota-Rojas et al., 2018; Roldán et al., 2019)**.

3.9.5 Primera bipedestación y contacto con la glándula mamaria

Para evaluar el estado neurológico de los neonatos se hace uso de pruebas que permitan identificar sus capacidades motrices, así como la vitalidad mediante capacidades neurológicas las cuales se puede realizar al medir la latencia a la bipedestación, es decir, al tiempo que tarda el lechón en incorporarse en las 4 patas desde que es colocado en el suelo **(Muns et al., 2016, Islas-Fábila et al., 2023)**.

Los lechones recién nacidos deben alimentarse poco después del nacimiento, ya que la ingesta de calostro, además de brindar protección inmunológica mediante la transferencia de inmunoglobulinas maternas, es una fuente de energía y nutrientes que le ayudan a termoregularse y a afrontar condiciones adversas. Cualquier factor que impida o retrase esta función podría resultar en una baja vitalidad y comprometer la supervivencia neonatal **(Alonso et al., 2007; Proniewicz et al., 2021)**.

Evaluar la latencia entre el nacimiento y la primera alimentación efectiva en la teta de la madre refleja funciones neurológicas complejas en los lechones recién nacidos, ya que requieren integrar las funciones olfativas, visuales y neuromusculares para la búsqueda bien orientada del pezón materno. Para realizar esta medición, posterior al manejo de limpieza de membranas y pinzamiento del cordón umbilical, se coloca al lechón cerca de la vulva de la madre, simulando la zona de expulsión y se comienza a medir el tiempo desde que el lechón toca el suelo hasta que se alimenta efectivamente de la madre (**Mota et al., 2018; Roldán et al., 2019; Jahn et al., 2022**).

3.9.7 Índice de masa corporal, Índice ponderal y circunferencia abdominal

La selección de hembras con mejores tamaños de camada y el limitado espacio uterino de las cerdas criollas ha dado como resultados lechones con bajo **PN** o mayor variabilidad de peso en la camada, pudiendo tener impacto en la mortalidad durante los primeros siete días de lactancia, reduciendo la producción de las granjas y su desempeño financiero (**Hales et al., 2013; Huting et al., 2018**).

Al igual que en neonatología humana, en los cerdos se ha descrito que el bajo **PN** está relacionado con la mortalidad; sin embargo, las muertes también están relacionadas con su morfometría, ya que el desempeño de la camada también está influenciado por su uniformidad morfológica. Por lo tanto, además del **PN**, las características morfológicas como el Índice de Masa Corporal (**IMC**) y el Índice Ponderal (**IP**) son indicadores para la evaluación de la vitalidad neonatal (**Baxter et al., 2008; Tucker et al., 2022**).

La morfometría del lechón se encuentra relacionada con su capacidad de termorregulación, ya que los neonatos más pequeños son más propensos a sufrir hipotermia debido a la mayor superficie corporal en relación con su peso, aunque, lechones con peso similar pueden tener morfometría diferente (**Huting et al., 2018**). Estos indicadores se pueden utilizar para identificar animales vulnerables, pudiendo afirmar que los lechones con mejor IMC e IP tienen mejor vitalidad y una mayor capacidad de supervivencia (**Hales et al., 2013; Silva et al., 2021**).

Para obtener el valor del **IMC** y del **IP** en lechones se realiza una la evaluación previa de dos variables: peso al nacimiento (PN) y longitud corporal (LC). En el caso del IMC la fórmula utilizada es: **IMC = PN / (LC)²**; asimismo, para calcular el índice Ponderal, la fórmula es: **IMC = PN / (LC)³** (Douglas *et al.*, 2016; Tucker *et al.*, 2021).

Asimismo, otro indicador de restricción de crecimiento intrauterino (**RCIU**) utilizado en la producción porcina es el diámetro abdominal, el cual se obtiene midiendo la circunferencia de la región media del abdomen del lechón, justo por arriba (en dirección craneal) del nacimiento umbilical, utilizando una cinta métrica (Douglas *et al.*, 2016; Muns *et al.*, 2016; Huting *et al.*, 2018).

3.9.8 Forma y circunferencia de la cabeza

Se ha descrito que, en conjunto con el peso al nacimiento, el IMC, el IP y la circunferencia abdominal, así como la forma y el tamaño de la cabeza son buenos indicadores que brindan un panorama de la eficiencia placentaria, pudiendo identificar lechones con cierto grado de **RCIU** que no logran desarrollar de manera óptima la forma de su cráneo. Esto es un factor que puede influir en la vitalidad y la supervivencia debido a las restricciones neurológicas y motrices que esto conlleva (Islas-Fábila *et al.*, 2018).

Hales *et al.*, (2013) y Riddersholm *et al.*, (2021), propusieron el siguiente mecanismo de evaluación de Restricción de crecimiento intrauterino (RCIU), con respecto a la forma y características del cráneo (**Figura 3**).

- 1) Frente abultada/empinada, similar a la cabeza de un delfín.
- 2) Exoftalmia (ojos saltones).
- 3) Arrugas perpendiculares en la boca
- 4) Pelo del cráneo erizado/en punta.

La RCIU se relaciona de manera negativa con la vitalidad de los neonatos, debido a que sus capacidades neuromotrices y de supervivencia se ven mermadas,

comprometiendo su supervivencia (Hales *et al.*, 2013; Douglas *et al.*, 2016; Schmitt *et al.*, 2019).

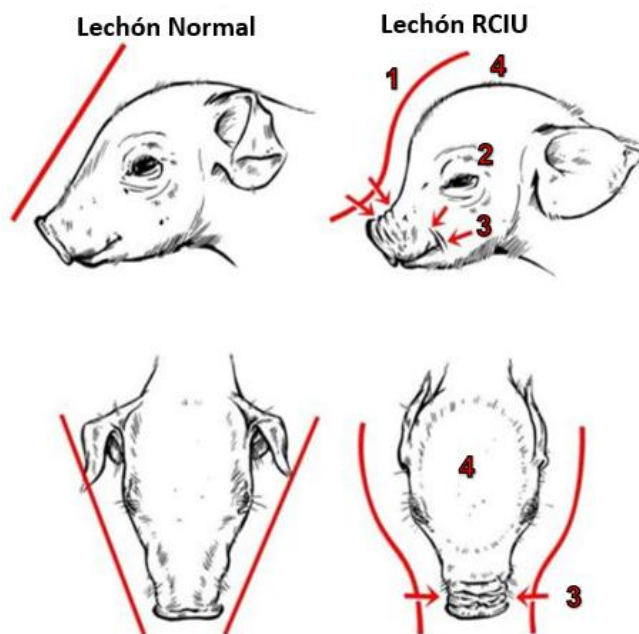


Figura 3. Criterios para la evaluación las características del cráneo: 1) frente pronunciada como la de un delfín; 2) Exoftalmia (ojos saltones); 3) arrugas perpendiculares a la boca y 4) pelo de punta.

Fuente: Hales *et al.*, 2013.

3.9.9 Coloración de membranas mucosas

La evaluación del color presente en la piel de los lechones permite dar un acercamiento sobre del grado de hipoxia por el que cursó el neonato, así como de su capacidad vascular para reponer sangre y oxígeno en los tejidos, de manera general, esta evaluación se realiza identificando la coloración de la piel de la región nasal del lechón, sin embargo, debido a la pigmentación oscura de los cerdos criollos, esta evaluación se realiza con base en el color de la mucosa oral de los neonatos (Sánchez-Salcedo *et al.*, 2019b; Gourley *et al.*, 2020).

3.10 Morfología del cordón umbilical

Cuando el tiempo de parto se prolonga o se complica, sea cual sea el motivo, el **CU** de los lechones puede romperse antes del nacimiento comprometiendo la oxigenación, una vez que el flujo sanguíneo a la placenta y el cordón umbilical está

comprometido, comienza la asfixia intrauterina, ya sea antes o durante el trabajo de parto, causando una cascada de anomalías fisiológicas en el recién nacido **(Barrios-Arpi et al., 2017; Hammad et al., 2020)**.

La presentación de un **CU** torcido, enredado, delgado o pequeño, tienen mayor probabilidad de romperse antes de tiempo. Se ha descrito que la ruptura umbilical cinco minutos antes del nacimiento genera un estado de hipoxia prolongada ocasionando daños irreparables en el sistema cardiovascular y el sistema nervioso central, comprometiendo el desarrollo neonatal y la supervivencia de los lechones. Debido a ello, las características morfológicas del cordón umbilical son excelentes indicadores de la vitalidad neonatal en los lechones, así como una herramienta predictora de la supervivencia de estos durante la lactancia **(Alonso et al., 2007; Mota et al., 2012; Zheng et al., 2017)**.

La evaluación de las características morfológicas del cordón umbilical se realiza inmediatamente después de la expulsión del lechón y de la limpieza corporal de las membranas fetales. La observación debe de ser cauta y realizada por una persona capacitada, en busca de indicadores de alteraciones tisulares correspondientes a hemorragias, necrosis, congestión o edema umbilical. Se debe realizar la medición de la longitud y la circunferencia del cordón, incluida la toma de muestra de tejido del CU para su posterior análisis histológico **(Hammad et al., 2020; Fordyce et al., 2021; Zhao et al., 2022)**.

4. JUSTIFICACIÓN

La tasa de mortalidad de los lechones puede ir desde el 15 hasta el 45%. En el caso de los lechones criollos, su supervivencia no sólo contribuye al sustento económico de las familias rurales, sino que también garantiza la seguridad alimentaria proveyendo proteína de alta calidad para autoconsumo o comercialización en estas comunidades. Asimismo, promueve y favorece la preservación biológica y cultural de una región y del país (**Linares et al., 2011; Sierra et al., 2016; García, 2021**).

Las características propias de la cerda y del lechón son factores que pueden condicionar la vitalidad del neonato, comprometiendo su supervivencia. La evaluación objetiva de la vitalidad en los lechones ayuda a identificar animales vulnerables a los que se les puede brindar las condiciones y manejo adecuado para promover su supervivencia (**Trujillo et al., 2011; Roldán et al., 2019**).

La morfología macroscópica y microscópica del **CU**, así como la irrigación y vascularización de éste durante el periodo fetal pueden ser elementos importantes que influyen en la vitalidad y, con ello, en la supervivencia de los lechones (**Hales et al., 2013, Sharony et al., 2015**). Por lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo establecer la relación entre las características morfológicas del **CU** y los indicadores de vitalidad neonatal en lechones criollos.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Establecer la relación entre las características morfológicas del cordón umbilical (CU) y los indicadores de vitalidad neonatal en lechones criollos.

5.2 Objetivos específicos

- Evaluar la morfología macroscópica (longitud, circunferencia e integridad) del CU.
- Evaluar la morfohistometría del CU de los lechones neonatos criollos.
- Evaluar la vitalidad neonatal de los lechones durante el parto y su relación con las características productivas de la camada (peso del lechón al nacimiento, ganancia de peso diario/lechón, mortalidad en lactancia, tamaño de camada al nacimiento y al destete).

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 Ubicación y animales

La presente investigación se desarrolló en una unidad de producción de Cerdos Criollos de baja densidad, localizada en el municipio de Francisco I. Madero, en el Estado de Hidalgo. Los datos fueron obtenidos de los registros de parto de 20 cerdas criollas de la raza *Ts'üdi xirgo* (**Figura 4**). La edad promedio de las hembras era de 14 meses, mientras que la paridad encontrada corresponde a 2.4 partos, de los cuales se incluyeron a todos los lechones nacidos vivos de cada camada (**LNV**), teniendo un total de 120 neonatos registrados.



Figura 4. Lechones de la raza Ts'üdi xirgo.

Durante la gestación, las cerdas fueron alojadas en corrales de confinamiento múltiple, donde la alimentación consistió en una dieta con 12% de proteína y 3250 Kcal de energía metabolizable, la cual fue suministrada en cantidades diferentes según el tercio de gestación (Primer tercio = 2Kg; Segundo tercio = 3 Kg; Tercer tercio = 3.5 Kg).

Al cumplir 108 días de gestación, las cerdas fueron reubicadas en los corrales de parto, los cuales tuvieron una superficie de 24 m², con piso de tierra y cama de paja (**Aparecida et al., 2021; Monteiro et al., 2023**). A partir del día 111 de gestación, se inició el monitoreo de los posibles signos de inicio de parto, revisando: la actividad de anidamiento de la cerda, la vulva, identificación de secreciones vaginales, mientras que en glándula mamaria se revisó la existencia de eyección de

leche, presencia de contracciones uterinas, intensidad, así como su frecuencia (Espejo *et al.*, 2022; Kjerulf *et al.*, 2022; Will *et al.*, 2023).

6.2 Manejo y mediciones

Para la obtención y organización de los datos se contó con un formato para realizar el registro del manejo de parto, el cual fue diseñado para esta investigación (**Anexo 1**). Se registró la hora exacta de inicio del parto y la duración total del mismo, considerando la expulsión del primer lechón como el inicio y la expulsión de la última placenta como el final del parto.

Una vez expulsado el lechón del canal uterino y expuesto en la vulva de la hembra, se procedió a tomarlo con delicadeza, realizando una revisión corporal completa (Bjorkman *et al.*, 2018). Utilizando papel de estraza, se retiraron los remanentes de las membranas fetales del cuerpo del lechón, prestando atención a la coloración del líquido amniótico restante que pudiera estar presente en la piel del neonato, revisando la presencia o ausencia de meconio. Una vez seco el lechón, se realizó la evaluación de las características morfológicas del neonato, el cual fue identificado mediante muesqueo auricular (Figura 5) (Trujillo *et al.*, 2011; Thongkhuy *et al.*, 2020).

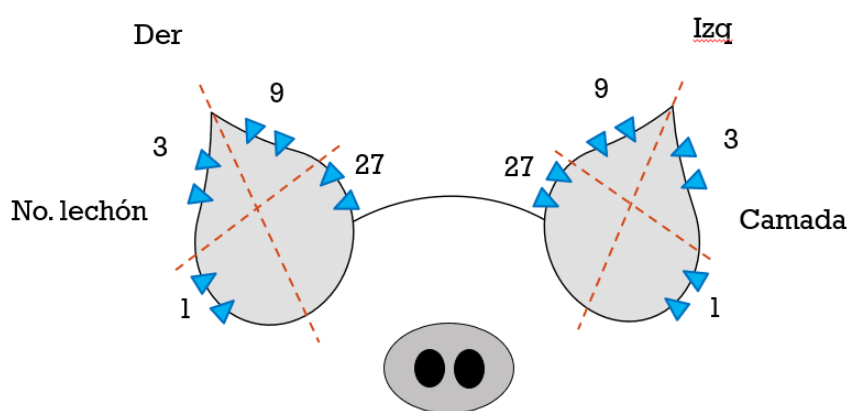


Figura 5. Valor numérico de las muescas auriculares utilizadas para la identificación animal.

6.3 Manejo del cordón umbilical

Al momento de la expulsión uterina, el lechón debería conservar intacto el **CU**, sin embargo, teniendo en cuenta que el extremo del **CU** unido a la placenta se retrae dentro de la cavidad uterina de la hembra después de romperse o cortarse, y esto dificulta la identificación del neonato al que corresponde la placenta y el **CU** restante, por ello, se utilizó la técnica de “hilos anudados” para la identificación umbilical. Los hilos utilizados para la identificación umbilical y placentaria se desinfectaron con solución de azul de metileno al 10% previo a su uso (**Baxter et al., 2008**).

La técnica del hilo anudado consistió en atar un trozo de hilo de algodón (a manera de ligadura) en el **CU** antes de su ruptura, identificando cada cordón con nudos previamente realizados en los extremos del hilo. El número de nudos realizados en el hilo es correspondiente al orden de nacimiento del lechón (ejemplo: lechón 1, hilo con un nudo; lechón 2, hilo con dos nudos; lechón 9, hilo con 9 nudos) (**Figura 6**).

Es importante señalar que, debido a la fragilidad del **CU**, el cuidado durante el parto fue realizado por dos personas previamente entrenadas, una de ellas encargada de sujetar al neonato, mientras que la otra procedía a realizar el anudado del cordón con la técnica del hilo anudado antes señalada.

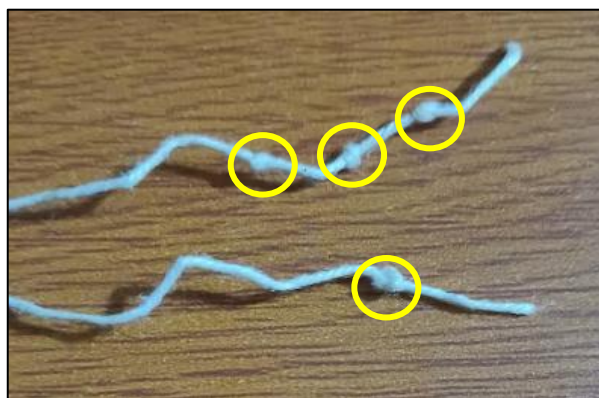


Figura 6. Hilos de algodón con nudos para la identificación umbilical.

Para evitar pérdida de sangre al momento de cortar el CU, se colocó una pinza de hemostasia 2 cm por debajo del hilo (en dirección al lechón). Hecho esto, se cortó el CU entre el hilo anudado y la pinza de hemostasia (**Figura 7**) permitiendo que el

extremo del CU que tenía el hilo de identificación se retrajera dentro del canal uterino de la cerda (**Baxter et al., 2008; Zhao et al., 2022**).

Si al momento de la expulsión uterina del neonato, el CU se rompió, se omitió el anudado de identificación.

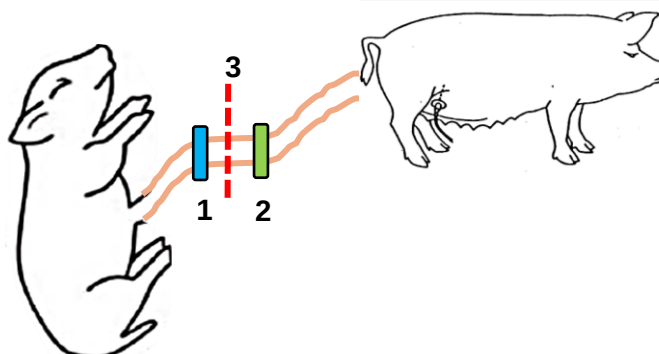


Figura 7. Zona de corte del cordón umbilical (CU) en el proceso de anudado de identificación. 1) Pinza de hemostasia, 2) Hilo de algodón, 3) región del corte del CU.

6.4 Evaluación del cordón umbilical

La evaluación del CU se realizó al momento del parto, inmediatamente después al anudado y corte del CU. Para ello, se sujetó al lechón de los miembros posteriores a manera que quede boca abajo, facilitando la inspección y la manipulación del **CU**. Las medidas se realizaron utilizando una cinta métrica, midiendo su longitud desde el nacimiento umbilical en el vientre del lechón hasta la zona de ruptura del **CU** (**Jaiswal et al., 2015**).

La integridad umbilical (**INT**) se evaluó con una variable de dos categorías (Roto o Íntegro), utilizando los siguientes criterios (**Alzaree et al., 2018; Janh et al., 2022; Islas-Fábila et al., 2023**):

- a. Íntegro: Cordón umbilical que no se rompió durante el proceso de expulsión. Asimismo, se incluyó dentro de esta clasificación el CU que se rompió durante la expulsión, pero el segmento umbilical unido al lechón midió más de 15 centímetros.
- b. Roto: Cordón umbilical roto durante el proceso de expulsión, cuya longitud umbilical unida al lechón midió menos de 15 centímetros.

La longitud del cordón umbilical (**LCU**) se obtuvo utilizando una cinta métrica, midiendo desde el nacimiento umbilical en la región ventral del lechón hasta la zona de ruptura del **CU**. Sólo si al **CU** se le logró realizar el anudado de identificación, se procedió a realizar una segunda medida umbilical desde la zona de ruptura hasta la zona de nacimiento umbilical en la placenta. Para obtener la longitud del cordón umbilical total, se sumaron los valores de las dos medidas realizadas (**Baxter et al., 2008; Jaiswal et al., 2015**).

El diámetro del cordón umbilical (**DCU**) se obtuvo extendiendo el **CU** completo sobre una superficie plana evitando estirarlo demasiado y posteriormente con un calibrador Vernier se realizaron las mediciones en tres zonas diferentes del **CU**, la primera a 15 cm de distancia del nacimiento umbilical en el vientre del lechón (Medida intermedia), y las otras dos medidas se realizaron en los extremos del **CU**, a 2 cm de distancia del nacimiento umbilical placentario (Medida distal) y a 2 cm de distancia del nacimiento umbilical en la región ventral del lechón (Medida proximal). Fue calculada la media de estas medidas, obteniendo el valor del DCU (**Figura 8**) (**Rootwelt et al., 2013; Gama et al., 2018; Fordyce et al., 2020**).

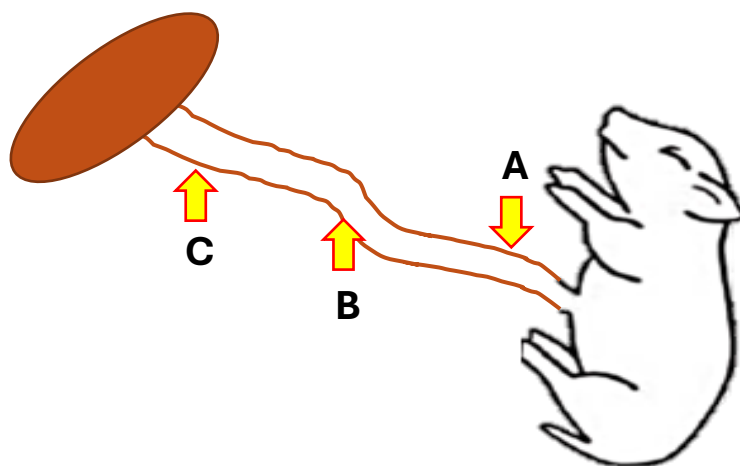


Figura 8. Zonas de medición del Diámetro umbilical (DCU). A) A 2 cm del nacimiento umbilical yuxtafetal; B) A 15 cm del nacimiento umbilical yuxtafetal; C) A 2 cm del nacimiento umbilical placentario.

6.4.3 Toma de muestras del cordón umbilical

Se colectaron muestras de 6 centímetros de longitud de **CU**, obtenidas de la zona de la medida proximal del **CU** (a 2 centímetros de distancia del nacimiento umbilical en el abdomen del lechón). El borde de la muestra del **CU** más cercano al lechón se marcó con tinta china. Las muestras fueron fijadas por inmersión en una solución de formol al 10% amortiguado, guardando una relación de 10:1 (formol:tejido) (Barrios-Arpi *et al.*, 2016; Pinheiro *et al.*, 2024).

6.5 Evaluación de la vitalidad neonatal

La evaluación de la vitalidad neonatal se realizó de manera individual al momento de la expulsión del lechón. Para ello se incluyó la evaluación de características zoométricas **PN, CC, CA, IMC, IP y TC** que tienen efecto sobre la vitalidad (Fischer *et al.*, 2005; Hales *et al.*, 2013; Muns *et al.*, 2013; Jahn *et al.*, 2022).

Por otra parte, la cuantificación de la vitalidad neonatal se realizó mediante la evaluación de los indicadores de vitalidad **MM, IE, MC, NT, NB y FC** que permiten conocer las características neurológicas y fisiológicas del lechón (Trujillo *et al.*, 2011; Sánchez-Salcedo *et al.*, 2019; Islas-Fábila *et al.*, 2023; Sadeghi *et al.*, 2023). Para ello, se utilizó una escala numérica con puntuaciones de 0 (puntuación mínima) a 2 (puntuación máxima) para cada indicador de vitalidad evaluado. El rango de puntuación fue de 0 a 12 para cada lechón.

La suma de la puntuación reflejó de manera general la vitalidad neonatal, clasificando las puntuaciones en tres categorías:

- 1) Vitalidad baja (L) para puntuaciones inferiores a 5.
- 2) Vitalidad media (M) para puntuaciones de 5 - 8.
- 3) Vitalidad alta (H) para puntuaciones de 9 - 12.

6.5.1 Peso al nacimiento

El peso al nacimiento (**PN**) se obtuvo inmediatamente después de retirar las membranas fetales del cuerpo de cada lechón, utilizando una báscula digital Torrey LPCR^{MR}. Posterior a la tara del peso de un recipiente plástico se colocó al lechón dentro del recipiente (**Figura 9**) y se registró el peso del lechón al momento de la estabilidad de la báscula (Fordyce *et al.*, 2021; Tucker *et al.*, 2021).



Figura 9. Obtención del peso al nacimiento de los lechones.

6.5.2 Temperatura corporal

La TC se obtuvo utilizando un termómetro óptico, colocando el sensor infrarrojo en el canal auditivo de los neonatos, inmediatamente después de la limpieza corporal del lechón, para evitar variaciones de la temperatura corporal del lechón ocasionadas por tardanza en el manejo (**Schmid et al., 2021**).

6.5.3 Índice de masa corporal, Índice ponderal y circunferencia abdominal

El Índice de Masa Corporal (**IMC**) y el Índice Ponderal (**IP**) de los lechones, se obtuvo mediante la evaluación previa de dos variables: Peso nacimiento (**PN**) y Longitud corporal (**LC**) (**Figura 10**) (**Hales et al., 2013; Douglas et al., 2016**).



Figura 10. Medición de la longitud corporal del lechón, desde el nacimiento de la base de la cola (a), hasta la punta del hueso occipital (b).

El **IMC** y el **IP** de cada lechón se calcularon utilizando las siguientes fórmulas (Douglas *et al.*, 2016; Tucker *et al.*, 2021):

$$IMC = \frac{PN}{LC^2}$$

$$IP = \frac{PN}{LC^3}$$

Donde: IMC = Índice de masa corporal

IP = Índice Ponderal

PN = Peso al nacimiento (Kg)

LC = Longitud corporal (m)

Otro indicador de vitalidad utilizado en la producción porcina es la circunferencia abdominal (**CA**), misma que se obtuvo midiendo el perímetro de la región media del abdomen del lechón, justo por delante (en dirección craneal) del nacimiento umbilical (**Figura 11**) (Douglas *et al.*, 2016; Muns *et al.*, 2016).



Figura 11. A) Medición de la circunferencia abdominal en lechones. B) Posición de la cinta métrica por arriba del cordón umbilical para la obtención de la circunferencia abdominal.

6.5.4 Circunferencia cefálica y forma de la cabeza

La medida de la circunferencia cefálica (**CC**), se obtuvo con una cinta métrica, con la cual se midió el perímetro craneal de los lechones tomando como punto de inicio la región submandibular, rodeando con la cinta toda la periferia de la cabeza, hasta llegar nuevamente al punto de partida (**Figura 12**) (**Hales et al., 2013**).



Figura 12. Medición de la circunferencia cefálica de un lechón neonato.

Para la evaluación de la forma del cráneo (**FC**) de los neonatos, se utilizaron los criterios de evaluación descritos por **Hales et al., (2013)** y **Riddersholm et al., (2016)** (**Figura 13**):

- 1) Frente abultada/empinada, similar a la cabeza de un delfín.
- 2) Exoftalmia (ojos saltones).
- 3) Arrugas perpendiculares en la boca.
- 4) Pelo del cráneo erizado/en punta.

La escala de evaluación de vitalidad, definida por las características zoométricas de la cabeza del lechón fue la siguiente:

- 1) Si los 4 o 3 de los criterios se aplicaron a un lechón = 0 puntos.
- 2) Si se aplicaron 1 o 2 características = 1 punto.
- 3) Si no se aplicó ninguno de los 4 criterios = 2 puntos.

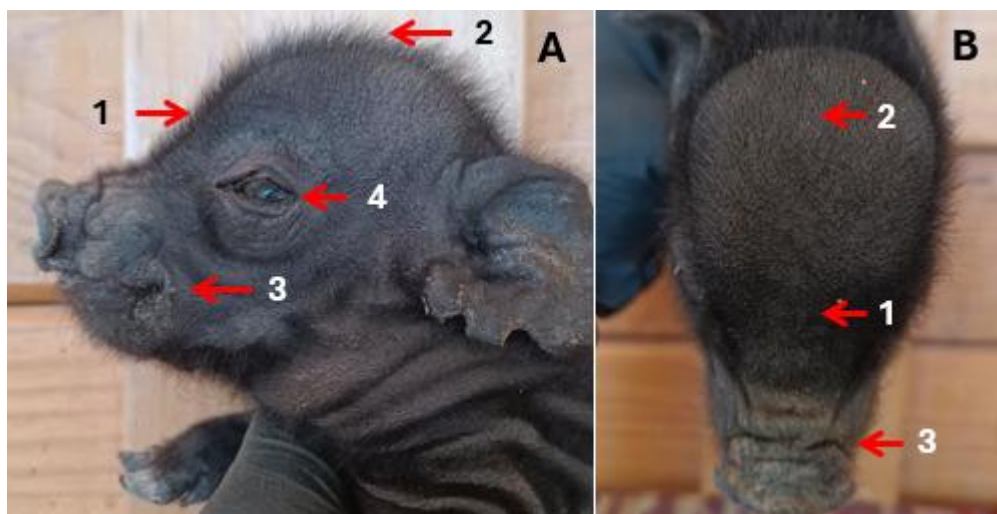


Figura 13. Lechón con características de restricción de crecimiento intrauterino: 1. Cabeza de delfín, 2. Pelo erizado, 3. Arrugas en la boca, 4. (Exoftalmia) Ojos saltones. A) Vista lateral. B) Vista frontal.

6.5.5 Meconio corporal

Para medir el grado de tinción de meconio corporal (**MC**), se utilizó una escala de evaluación adaptada de **Islas-Fábila et al., (2023)**, la cual consistió en evaluar el

porcentaje de superficie corporal teñida con esta sustancia. La escala de puntuación de vitalidad usada fue la siguiente:

- 1) Grave (más del 50% de superficie corporal con meconio) = 0 puntos.
- 2) Moderada (menos del 50% de superficie corporal con meconio) = 1 punto.
- 3) Nula (ausencia de meconio corporal) = 2 puntos.

6.5.6 Primera bipedestación y contacto con la teta

Posterior al manejo completo del neonato al momento del parto, se colocó al lechón en el suelo cerca de la vulva de la madre, simulando la zona en la que naturalmente se encontraría después de la expulsión uterina. Fue medido el tiempo transcurrido desde que el lechón es colocado en el piso del corral y hasta que es capaz de incorporarse en sus 4 patas (bipedestación) **(NB)**.

La escala de puntuación de vitalidad utilizada para evaluar el **NB** fue la siguiente:

- 1) > 5 minutos = 0 puntos.
- 2) 1 – 5 minutos = 1 punto.
- 3) < 1 minuto = 2 puntos.

Del mismo modo, fue medido el tiempo desde que el lechón tocó el suelo hasta que tuvo el primer contacto con la glándula mamaria de la madre **(Figura 14) (NT) (Mota et al., 2012; Gourley et al., 2020)**.

La escala de puntuación de la vitalidad en función del **NT** se adaptó de lo descrito por **Islas-Fábila et al. (2023)** y **Quesnel et al., (2023)**, quedando de la siguiente manera:

- 1) > 30 minutos = 0 puntos.
- 2) 10 – 30 minutos = 1 punto.

3) < 10 minutos = 2 puntos.



Figura 14. Lechón Ts'üdi en contacto con la glándula mamaria de la hembra luego de realizar su primera bipedestación (evaluación de NB y NT).

6.5.8 Intervalo entre expulsiones

El intervalo de tiempo entre expulsiones (**IE**) fue medido con un cronómetro digital, considerando en inicio a la salida uterina de un lechón hasta la expulsión uterina del siguiente lechón. Este intervalo de tiempo entre expulsiones también se conoce como latencia (**Trujillo et al., 2011**).

6.5.9 Coloración de membranas mucosas

Para la evaluación de las membranas mucosas (**MM**), se identificó la coloración presente en la mucosa oral de los lechones a nivel de la encía superior. La escala de coloración utilizada fue adaptada de **Proniewicz et al., (2021)**, asignando la siguiente puntuación numérica a la escala colorimétrica:

- 1) Rosa = 2 puntos.
- 2) Pálida = 1 punto.
- 3) Cianótica = 0 puntos.

6.5.9 Evaluación histológica

De las muestras de **CU** fijadas en formol al 10% se obtuvieron 5 fragmentos de 1 cm de largo, los cuales fueron procesadas con la técnica histológica ordinaria descrita por **Prophet et al. (1995)** en los 15 días posteriores a la colecta.

En resumen, los fragmentos de **CU** se lavaron con agua corriente y luego se deshidrataron utilizando una serie de concentraciones crecientes de etanol: 60%, 70% y 80% durante 1 hora cada una, seguidas de dos cambios sucesivos de 30 minutos en etanol al 96% y al 100%. Para eliminar completamente el etanol, las muestras se sometieron a dos tratamientos sucesivos de xileno de 20 minutos (aclaramiento). La infiltración se realizó utilizando dos cambios histológicos de parafina a 56 °C, el primero durante 90 minutos y el segundo durante 1 hora. La orientación de los fragmentos de **CU** en el bloque de parafina se hizo de tal manera que la superficie de corte fuera la más proximal al extremo marcado con tinta china (**Figura 15**).

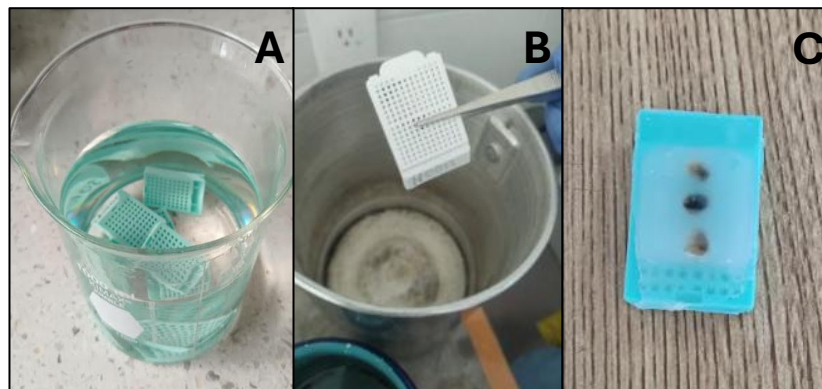


Figura 15. Procesamiento histológico de las muestras. A) Deshidratación; B) Inmersión en parafina líquida; C) Inclusión en bloque de parafina.

Se utilizó un microtomo (Leyca SM200) para obtener cortes de 4 μm de grosor, montados en portaobjetos para ser rehidratados en etanol de gradación decreciente hasta agua corriente. Finalmente fueron teñidos con Hematoxilina y Eosina (H&E), Acido peryódico-Schiff (PAS), Azul Alcian a pH 2.5 (AA 2.5), Tricrómico de Masson (TM) y Hierro coloidal (HC). La tinción con **H&E** identifica las estructuras ácidas o aniónicas (basófilas) tiñéndolas de azul-magenta, así como los componentes básicos (acidófilos), generalmente proteínas, que se tiñen de color naranja-rosado (**Prophet et al. 1994**). Con el método de PAS (histoquímica no enzimática) se detectan polisacáridos neutros, tiñéndolos de púrpura; el AA 2.5 identifica polisacáridos y proteoglicanos ácidos, sulfatados o carboxilatos, teñiéndolos de azul

claro; el método (TM) destaca las fibras de colágeno, pero también las proteínas catiónicas y aniónicas en azul y rojo, respectivamente; y la técnica de HC demuestra mucinas, moléculas similares a mucinas y mucosustancias ácidas (incluidos polisacáridos, proteoglicanos y glicoproteínas), que se tiñen de azul oscuro (Prophet *et al.* 1994; Kiernan, 2010).

El análisis de los cortes de cordón umbilical se realizó con un microscopio óptico Olympus BX50 y el software de procesamiento y análisis histológico Infinity Analyze 6.5. Fueron evaluadas las siguientes variables histológicas (Figura 16) (Barnwal *et al.*, 2012; Barrios-Arpi *et al.*, 2016; Merlin *et al.*, 2020):

- 1) Área total del corte transversal (**AT**).
- 2) Área de la luz de la vena umbilical (**LV**).
- 3) Área de la luz de las arterias umbilicales (**LA**).
- 4) Espesor de la pared de cada vaso sanguíneo: Arterias (**PA**), Vena (**PV**).
- 5) Distancia más corta entre el epitelio y la arteria más cercana (**EA**).
- 6) Área de la gelatina de Wharton (**GW**)

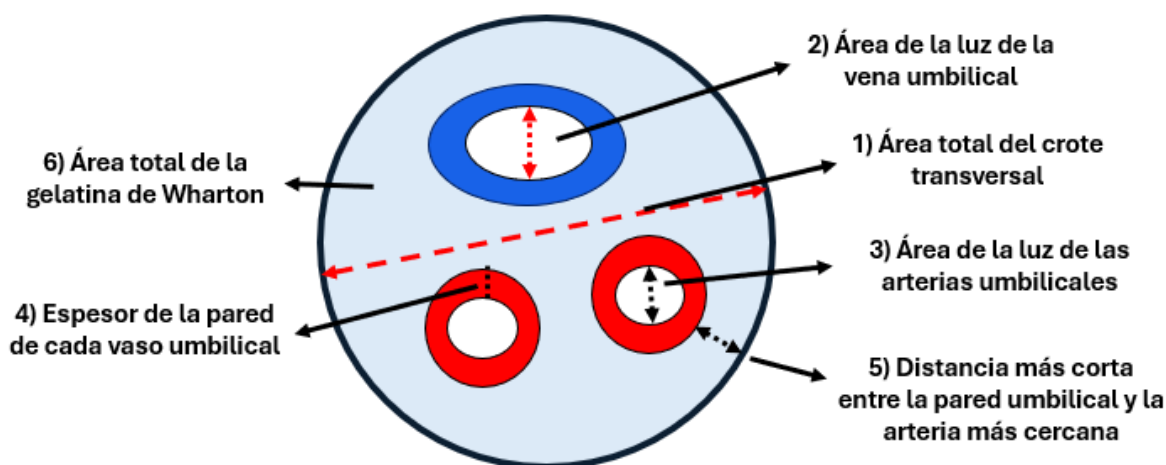


Figura 16. Representación de las zonas de medición morfohistológica del Cordón umbilical.

Las medidas microscópicas del **CU** se evaluaron en cada uno de los 5 fragmentos del **CU** de cada lechón, procurando la comparación de zonas de evaluación a distancias tisulares homogéneas. El valor total de cada variable histológica se obtuvo al calcular la media de los valores de los fragmentos de **CU** analizados.

6.9.10 Análisis estadístico

Las variables referentes a las medidas umbilicales se organizaron en dos grupos, las características macroscópicas: **LCU**, **DCU** y **INT**; y las características histológicas: **LV**, **PV**, **LA**, **PA**, **EA**, **AT** y **GW**. Debido a que la mayor parte de los lechones evaluados tuvieron ruptura umbilical, fue imposible identificar a que lechón correspondía el fragmento de cada **CU** que se recuperó de las placentas, por lo que la variable **LCU** se evaluó con la longitud existente desde el nacimiento umbilical en el vientre del lechón hasta la zona de ruptura del **CU**. La **INT** se categorizó en una variable de dos niveles (**CU** íntegro y **CU** roto). Asimismo, para obtener el **GW** se restaron los valores de las medidas vasculares del CU al valor de **AT** utilizando la siguiente fórmula:

$$GW = AT - LV - PV - LA - PA$$

Donde:

GW = Área total de la gelatina de Wharton

AT = Área total del corte transversal

LV = Área de la luz de la vena umbilical

PV = Espesor de la pared de la vena umbilical

LA = Área total de la luz de las arterias umbilicales

PA = Espesor de la pared de las arterias umbilicales

Los indicadores de vitalidad neonatal evaluados fueron: Coloración de las membranas mucosas (**MM**), Intervalo entre expulsiones (**IE**), Porcentaje de meconio (**MC**), Intervalo nacimiento bipedestación (**NB**), Intervalo nacimiento contacto con la teta (**NT**), Forma de la cabeza (**FC**).

Con base en la información colectada, se asignó un valor de puntuación numérico a cada indicador, obteniendo una calificación de vitalidad general (**VG**), la cual se categorizó en una variable de tres niveles: vitalidad baja, vitalidad media y vitalidad alta.

Se evaluaron características zoométricas propias de cada lechón, las variables utilizadas fueron: **PN**, **IMC**, **IP**, **CA** y **CC**. El **IMC** se agrupó en una variable categórica de tres niveles (IMC alto, medio y bajo). Asimismo, los valores de **IP** se dividieron en quintiles y se analizaron como una variable de tres categorías: bajo (1er quintil); Medio (2do a 4to quintil); alto (5to quintil).

Se realizó un análisis descriptivo a cada variable evaluada en todos los lechones nacidos vivos ($n=120$). Del mismo modo, se evaluó la distribución de los datos y los supuestos de normalidad con la prueba Shapiro-Wilk. Las variables que no mostraron comportarse bajo una distribución normal se transformaron a escala logarítmica para su análisis.

Para conocer la relación de las características macroscópicas (**LCU**, **DCU**) e histológicas (**LV**, **PV**, **LA**, **PA**, **AT** y **GW**) del **CU** sobre las variables zoométricas (**PN**, **CA** y **CC**) se realizó una matriz de correlación a partir de un análisis de regresión univariable para identificar la relación individual entre las variables. Para las variables que no mostraron comportarse bajo una distribución normal (**LCU**, **DCU**, **LV**, **PV**, **LA**, **PA**, **AT** y **GW**) se empleó una correlación de Spearman, mientras que para las variables con distribución normal (**PN**, **CA**, **CC** y **EA**) se utilizó la correlación de Pearson. Ambos análisis se incluyeron en la misma matriz de correlación.

La evaluación del efecto de las características umbilicales (**LCU**, **DCU**, **LV**, **PV**, **LA** y **PA**) sobre la **VG**, se realizó según el procedimiento de mínimos cuadrados (GLIMMIX), asimismo, el efecto de las variables **PN**, **CC**, **CA**, **EA**, **AT** y **GW** sobre la **VG** se obtuvo con un modelo ANOVA con los criterios de GLM; ambos modelos se realizaron con los grupos de vitalidad general establecidos. La asociación estadística entre las variables categóricas **IMC**, **IP**, **INT** sobre la **VG** se calculó con un modelo de χ^2 cuadrada.

Para las pruebas estadísticas en las que se incluyeron valores de las características del **CU**, se utilizaron solo los datos de los lechones de quienes se logró obtener muestras de tejido umbilical ($n=65$).

El efecto de la paridad de la cerda sobre la **VG** de los lechones se calculó mediante un análisis de xi cuadrada, para ello, la paridad se clasificó en una variable de dos grupos: Primerizas y multíparas.

Los datos fueron tratados con el paquete estadístico JMP Pro 18 (JMP Institute, Marlow, Buckinghamshire, Reino Unido).

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Características zoométricas de los lechones evaluados

Con base en los resultados obtenidos de las características zoométricas evaluadas en los lechones, se observó que el promedio del peso al nacimiento (**PN**) de los cerdos Ts'üdi xirgo fue de 0.90 ± 0.19 Kg. **Galiot et al. (2017)** identificaron el PN de neonatos de cerdas comerciales en 1.450 Kg. Por su parte, **Ángel et al. (2022)** registró **PN** de 0.900 Kg en cerdos de raza Pelón Mexicano; en tanto que **Valarezo (2023)** observó que en cerdos criollos ecuatorianos el **PN** fue de 0.89 a 0.90 Kg. Así, el **PN** de los cerdos criollos sólo está por debajo de los **PN** de los cerdos comerciales. No obstante, en los cerdos comerciales la mortalidad neonatal es superior a 15-20% en lechones de bajo peso al nacer <1.1 Kg, asociado con reservas energéticas limitadas, hipotermia, anoxia, así como baja vitalidad y movilidad durante las primeras horas posteriores al nacimiento (**Romero et al., 2022**).

Es importante señalar que las variaciones de los **PN** reportadas en cerdos criollos está relacionado con la capacidad ventral de la cerda, el tamaño de la camada, las condiciones genéticas, ambientales y nutricionales, inclusive por el sexo de los lechones (**Feldspauch et al., 2019; Roelofs et al., 2023**). Respecto a este último, no se encontró dimorfismo sexual en la variación del **PN** en los neonatos Ts'üdi evaluados ($P=0.049$), siendo las hembras menos pesadas (0.90 Kg) que los machos (0.97Kg).

Respecto a los valores de circunferencia craneal (**CC**) (19.45 ± 2.30 cm) y de circunferencia abdominal (**CA**) (21.24 ± 1.84 cm), resultando ser significativamente proporcionales con el **PN** ($P= 0.0001$ y $P= 0.0034$, respectivamente), lo cual coincide

con lo sugerido por **Salazar (2018)**, quien menciona que los valores de las tallas corporales se encuentran íntimamente relacionadas con el **PN** de lechones comerciales, lo cual podría considerarse como un comportamiento de uniformidad racial en los neonatos *Ts'üdi xirgo* de acuerdo con su peso.

Por otro lado, los valores correspondientes a las tallas corporales de cerdos criollos de la región centro de México, no muestran dimorfismo sexual significativo, de manera similar a lo descrito en cerdos criollos colombianos (**Salamanca-Carreño et al., 2018; Ángel et al., 2022**). Basado en ello, los lechones *Ts'üdi xirgo* muestran seguir la tendencia identificada en cerdos criollos de otras regiones de América, ya que el sexo no afecta en la proporcionalidad del cuerpo del neonato **CC** ($P = 0.50$) y **CA** ($P = 0.87$).

Debido a que los lechones criollos presentan un **PN** menor a sus contrapartes comerciales, pero una longitud corporal similar, la asociación de estas medidas es menor, reflejando valores menores de Índice de masa corporal (**IMC**) (**Quesnel et al., 2023**). Los lechones *Ts'üdi xirgo* del presente estudio mostraron tener un **IMC** promedio de 18.40 ± 2.78 , siendo valores similares a lo reportado por **Douglas et al. (2016)**, quienes identificaron valores de **IMC** de 17.1 ± 4.7 en lechones comerciales.

Por otro lado, se encontró que los neonatos *Ts'üdi xirgo* tienen un Índice ponderal (**IP**) de 84.90 ± 19.21 , el cual es más alto que el **IP** de 63.3 reportado por **Nguyen y Peerapol (2020)** en lechones comerciales. Esta diferencia se atribuye a que los lechones criollos tienen una mayor deposición de grasa dorsal y abdominal que los lechones comerciales, pudiendo ser éste un indicador de supervivencia, vitalidad y resiliencia (**Hansen et al., 2018; Suescun-Ospina et al., 2022**) y no sólo para calcular la corpulencia animal a través de la grasa corporal.

En neonatología humana, se ha descrito que el **IP** no varía respecto al sexo de los recién nacidos, por otra parte, se ha reportado que si hay dimorfismo sexual de los lechones de razas comerciales influye en la expresión de genes relacionados con la vascularización y la eficiencia placentaria, reflejada en el peso y las medidas de conformación corporal de los neonatos (**Mohajan y Kumar, 2023; Bonnet et al.**

2024). En este sentido, se observó que los lechones Ts'üdi xirgo no muestran diferencia entre sexo en las variables **IMC** ($P=0.102$) ni en **IP** ($P=0.240$).

7.2 Morfología e histomorfometría del CU

Existen reportes de histomorfometría del **CU** en mamíferos, pero pocos son los estudios que abordan una descripción detallada de los componentes del **CU** en cerdos. En el caso concreto de razas de cerdos criollos, la información es inexistente. Los datos obtenidos mediante la evaluación de las características macroscópicas del **CU** en esta investigación muestran que los neonatos de la raza Ts'üdi xirgo tienen una Longitud umbilical (**LCU**) de 21.31 ± 10.01 cm y un Diámetro umbilical (**DCU**) de 0.69 ± 0.15 cm. Estos últimos valores muy similares respecto al diámetro umbilical encontrado en cerdos comerciales (0.62 a 1.6 cm) (**Gama et al., 2018; Fordyce et al., 2020**).

Si bien, la mayor parte de los lechones evaluados tuvieron ruptura umbilical, con base en los criterios de evaluación de la integridad del cordón umbilical (**INT**), se encontró que los **CU** rotos tienen una frecuencia de 25% frente a los **CU** íntegros con frecuencia del 75%. La **INT** no se vio afectada por el **DCU** ($P=0.052$).

Histológicamente, el **CU** de los lechones Ts'üdi, posee un epitelio amniótico superficial plano estratificado sin estrato córneo, que limita a un tipo de tejido conjuntivo laxo colágeno o mucoide, la llamada Gelatina de Wharton (**GW**), con una superficie promedio de 19.13 ± 6.17 mm². La **GW** mostró mayor laxitud en las zonas perivasculares, pero mayor densidad de en las regiones periféricas del CU cercanas al epitelio amniótico. Además de los fibroblastos, formadores de la matriz extracelular, fue identificada una notable vascularización de la **GW** (**Figura 17**), formada por arteria de pequeño calibre, arteriolas, capilar, vénulas y venos de pequeño calibre, coincidiendo con la descripción histológica del **CU** en cerdos comerciales realizada por **Chruściel et al. (2008)**, y en jabalíes realizada por **Normando et al. (2023)**, lo cual contrasta con el **CU** humano.

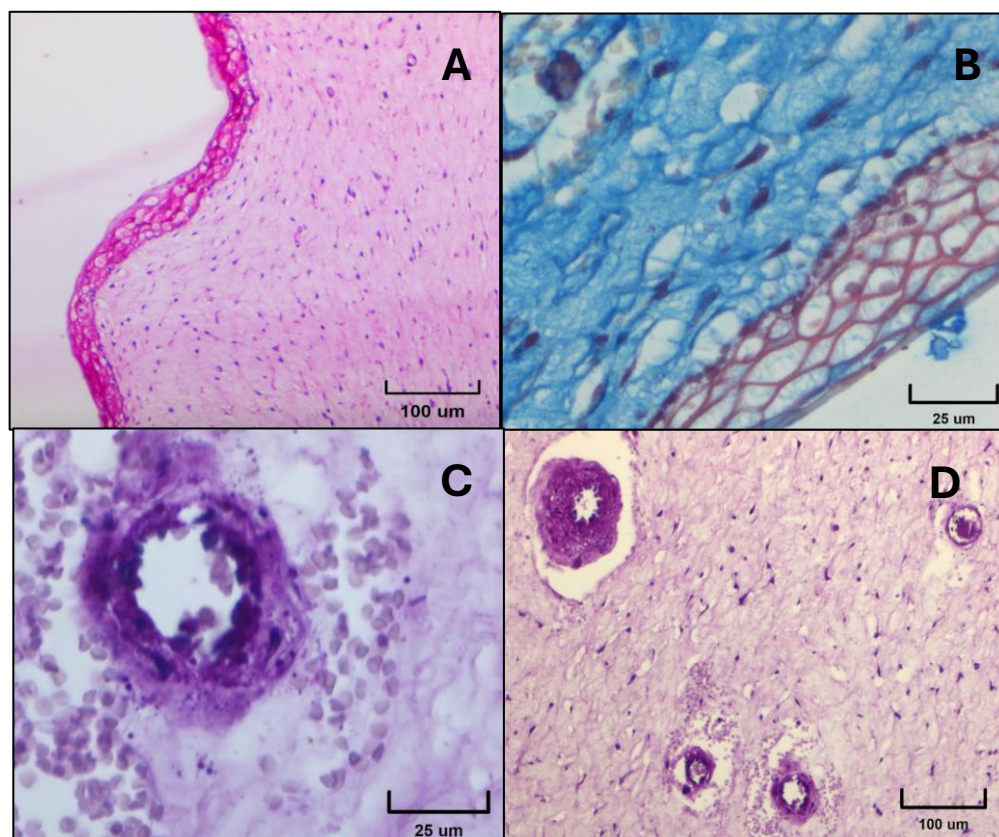


Figura 17. A) Integridad del epitelio umbilical y tejido conjuntivo (gelatina de Wharton). PAS, 10x; B) Gelatina de Wharton y epitelio umbilical. Hierro coloidal, 40x; C) Vaso sanguíneo de la gelatina de Wharton. Azul Alcian, 40x; D) Tejido conjuntivo vascularizado. H&E, 10x.

El sistema vascular umbilical de los neonatos Ts'üdi xirgo estuvo formado por una vena y dos arterias umbilicales, cuyos lúmenes vasculares se encontraban bien revestidos de endotelio vascular, mostrando una composición vascular umbilical igual a los jabalíes evaluados por **Normando et al. (2023)**. Asimismo, en todas las muestras evaluadas, no se encontró presencia de *vasa vassorum*. La vena umbilical se puede observar la presencia de un lumen grande, de forma circular, y en algunos casos irregular, con paredes vasculares delgadas, el valor del Área de la luz de la vena umbilical (**LV**) fue de $0.13 \pm 0.18 \text{ mm}^2$, mientras que el Espesor de la pared de la vena umbilical (**PV**) fue de $2.21 \pm 1.74 \text{ mm}^2$. Por su parte, el lumen de las arterias se muestra mucho más pequeño, de forma ramificada irregular con un Área total de la luz de las arterias umbilicales (**LA**) de $0.05 \pm 0.07 \text{ mm}^2$, la pared de las arterias

umbilicales es más densa y muscular que la pared de la vena, con un valor de Espesor de la pared arterial umbilical **(PA)** de $0.94 \pm 0.26 \text{ mm}^2$ **(Figura 18)**.

Estructuralmente, las arterias umbilicales mostraron tres capas o tunicas bien definidas: íntima, media y adventicia. La túnica media es particularmente más gruesa, mostrando una subcapa más interna con disposición longitudinal de células musculares lisas, mientras que la subcapa más externa posee células musculares lisas dispuestas circularmente y también longitudinales, lo cual es muy similar a las arterias del **CU** de jabalí y de humanos **(Blanco et al., 2011; Normando et al., 2023)**.

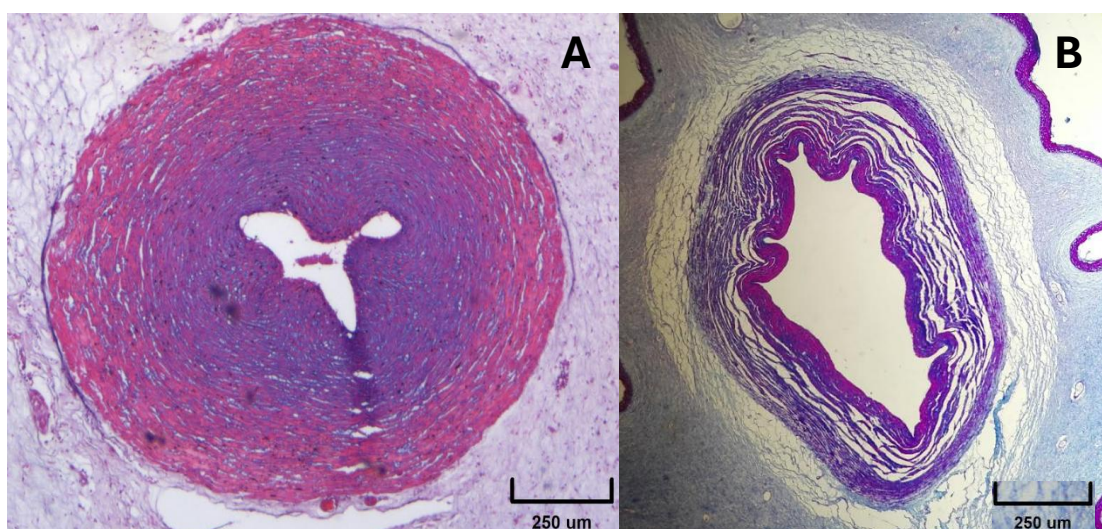


Figura 18. A) Lumen y pared vascular de una Arteria umbilical. 4x, H&E. B) Lumen y pared vascular de la Vena umbilical. 4x, Hierro coloidal.

Una de las características más importantes dentro de la evaluación histológica es el área total en el corte transversal, puesto que se ha señalado que los **CU** delgados suelen estar en mayor riesgo de torsión, engrosamiento de la pared vascular y ruptura umbilical, sin embargo, en el caso de los lechones Ts'üdi xirgo es al Área total del corte **AT** encontrada fue de $23.61 \pm 6.52 \text{ mm}^2$, significativamente más pequeño al área umbilical total encontrada en de neonatos humanos, la cual es 51.56 mm^2 **(Barnwal et al., 2012)**.

Del mismo modo, la distancia más corta entre el epitelio y la arteria más cercana (**EA**) (**Figura 19**) que muestran los **CU** evaluados es de 0.26 ± 0.12 mm. Este valor permite identificar **CU** vulnerables a lesiones vasculares, ya que una menor distancia entre arterias y epitelio implica la disminución de la cantidad de **GW** que recubre y protege los vasos umbilicales. Los **CU** con **EA** menores incrementa la posibilidad de compresión mecánica, inflamación y vasoconstricción, lo que compromete el flujo sanguíneo y, con ello el desarrollo y supervivencia de los fetos in útero y durante el trabajo de parto o a la expulsión (**Debebe et al., 2020**).

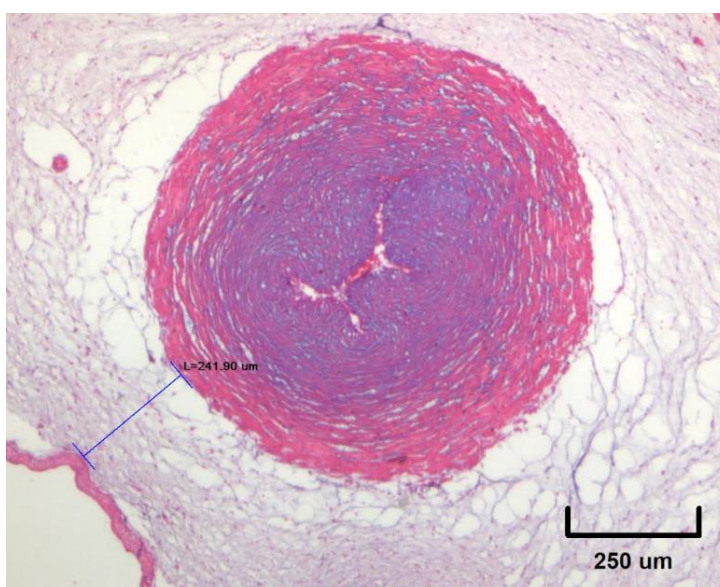


Figura 19. Evaluación de la distancia entre la arteria más próxima y el epitelio umbilical. 4x, H&E.

En estudios de neonatología humana, se ha descrito que las características morfológicas del **CU** influyen directamente en la incidencia de ruptura prematura del mismo, en el **Cuadro 1** se enlistan los valores de las medidas umbilicales de los lechones Ts'üdi xirgo respecto a la integridad umbilical (**INT**).

De acuerdo con la morfología umbilical evaluada, se encontró que los **CU** rotos presentaban un Área total de corte transversal **AT** (28.00 ± 6.85 mm²; $P= 0.0019$) y un Área de la gelatina de Wharton (**GW**) (22.92 ± 1.68 mm²; $P= 0.0058$) mayor a los **CU** clasificados como íntegros, los cuales obtuvieron valores de 22.15 ± 5.79 mm² y 17.87 ± 0.97 mm² respectivamente, para esas variables. Esta información resulta

opuesta a lo encontrado en lechones comerciales por **Sinha et al. (2015)** y **Sharony et al. (2016)**, quienes en su investigación observaron que los **CU** con menor área total y menor cantidad de **GW** son más propensos a la romperse y, por tanto, a tener complicaciones durante la gestación, además de promover en los fetos restricción de crecimiento intrauterino. Vale la pena señalar que el 90% de los cordones presento ruptura y separación con la placenta derivado del manejo realizado con los lechones al momento de la expulsión uterina.

Cuadro 1. Morfometría del cordón umbilical de acuerdo con su integridad.

Medidas Umbilicales	CU Íntegro (n=36)	CU Roto (n=29)	Valor de P
LV (mm ²)	0.081 ± 0.08	0.154 ± 0.20	0.551
PV (mm ²)	2.01 ± 0.66	2.80 ± 3.33	0.793
LA (mm ²)	0.054 ± 0.07	0.059 ± 0.08	0.784
PA (mm ²)	0.941 ± 0.28	0.958 ± 0.15	0.378
EA (mm)	0.236 ± 0.10	0.362 ± 0.12	0.0019*
AT (mm ²)	22.15 ± 5.79	28.00 ± 6.85	0.0058*
GW (mm ²)	17.87 ± 0.97	22.92 ± 1.68	0.0125*
LCU (cm)	26.18 ± 5.75	6.70 ± 3.53	<.0001*
DCU (cm)	0.70 ± 0.16	0.66 ± 0.13	0.558

*Variables con significancia estadística (P<0.005)

LV= Luz de la vena umbilical; PV= Pared de la vena umbilical; LA= Luz de las arterias umbilicales; PA= Pared de las arterias umbilicales; EA= Distancia epitelio – arteria cercana; AT= Área de corte transversal; GW= Área gelatina de Wharton; LCU= Longitud cordón umbilical; DCU= Diámetro cordón umbilical.

7.3 Evaluación de los indicadores de vitalidad

Al evaluar los indicadores de vitalidad neonatal de los lechones, se observó que el porcentaje de Meconio corporal (**MC**) en los Ts'üdi xirgo se presenta de 0 a 40%, lo cual se puede considerar como bajo, en comparación con lo reportado por **Sánchez-Salcedo et al., (2019)**, quienes señalan porcentajes de meconio corporal entre 48 a 70% en cerdos comerciales.

Respecto a los valores de Intervalo nacimiento-bipedestación (**NB**) (10.29 ± 8.68 min) e Intervalo nacimiento contacto con la teta (**NT**) (15.56 ± 8.38 min), se encontró que los lechones Ts'üdi xirgo emplean mayor cantidad de tiempo que los lechones

comerciales en incorporarse en sus cuatro miembros y en llegar a tener contacto con la glándula mamaria. Una posible explicación a esta observación es el tipo de sustrato del corral de maternidad de los cerdos criollos, por lo general, son de piso de tierra, paja, hojas o papel, representando un desafío mayor para incorporarse y caminar, mientras que los cerdos comerciales son criados regularmente en maternidades con piso elevado con slat plástico (**Trujillo et al., 2011; Vanden et al., 2018; Vanden et al. 2019**).

Respecto al Intervalo entre expulsiones (**IE**), los neonatos Ts'üdi xirgo presentaron un promedio de 12.21 ± 12.33 min, tiempo menor a los intervalos de 17.33 min observados por **Islas-Fabila et al. (2023)** en lechones comerciales, sin embargo, ambos resultados se encuentran dentro del rango considerado óptimo (12 – 18 min). En el desarrollo de esta investigación se observó gran variabilidad en los valores de **IE** (1 a 60 min), por lo que se sugiere que debe mantenerse un estricto control e identificación en el incremento de estos valores, puesto que si los lechones que tardan más de 25 minutos en nacer aumenta la probabilidad de que mueran por asfixia intrauterina (**Laothong et al., 2024**).

La coloración de las membranas mucosas (**MM**), indica que el 62.5% de los lechones evaluados presenta una coloración de mucosas rosas, sin embargo, en trabajos reportados por **Islas-Fábila, et al., (2023)**, se señala que en los lechones de una línea comercial la coloración de mucosas (rosas) es de 86 – 97%, y solo 37.5% de los neonatos presentaban palidez en la mucosa oral.

Al considerar la Forma de la cabeza (**FC**) como un indicador importante indicador de vitalidad, permite identificar o clasificar con mayor facilidad a aquellos lechones con mayor riesgo a morir, en el caso de los lechones Ts'üdi xirgo evaluados, se encontró que el 64.6% no presenta anomalías o alteraciones en la cabeza que indiquen una restricción de crecimiento intrauterino, no obstante, el 35.4% de los lechones presentaron alguna anomalía en la **FC** en diferente grado.

7.4 Efecto de la morfometría umbilical sobre la zoometría y la vitalidad

Como se ha descrito, el **CU** tiene alta influencia sobre los indicadores de vitalidad, medidas corporales y crecimiento fetal. En el **Cuadro 2** se muestra la relación entre

las características umbilicales y las variables zoométricas de los lechones evaluados.

Sharony et al., (2016) y **Gama et al. (2018)** observaron **CU** significativamente más delgados en neonatos humanos provenientes de embarazos con complicaciones, mientras que los neonatos que cursaron una gestación y parto de manera normal, presentaron cordones umbilicales más gruesos, en ese tenor, los lechones Ts'üdi xirgo mostraron que el **PN** se ve influenciado por el **DCU** ($P= 0.0001$), encontrando que los neonatos de menor peso tienen un **CU** más delgado.

En el caso del diámetro umbilical (**DCU**), mostró un efecto sobre las características de Circunferencia craneal (**CC**) $P=0.001$ y de Circunferencia abdominal (**CA**) $P=0.006$, y a su vez, estas variables se asocian directamente con el **PN** ($P=0.0001$), teniendo similitud con lo reportado por **Proctor et al., (2012)** y **Sabdia et al., (2015)** quienes han descrito que los **CU** delgados de bebés humanos pueden estar relacionados al espectro de insuficiencia placentaria que conduce a la posible restricción de crecimiento fetal, pudiendo presentarse neonatos con anomalías en las características corporales.

Por su parte, se encontró que la longitud del cordón umbilical (**LCU**) tiene una correlación negativa con la **CC** ($P= 0.038$), entendiendo que mientras más corto sea el **CU** (hasta la zona de ruptura) mayor fragilidad demuestra, lo que compromete a su correcta función (**Fordyce et al., 2020; Gourley et al., 2020**).

Cuadro 2. Matriz de correlación entre las medidas umbilicales y las características zoométricas de los lechones Ts'üdi xirgo.

	LV	PV	LA	PA	EA	AT	GW	LCU	DCU	PN	CC	CA
LV	1	0.239	0.337	0.178	-0.175	0.257	0.172	0.013	0.066	0.124	0.238	-0.039
PV	0.239	1	0.298	0.401	0.049	0.439	0.224	-0.138	-0.159	-0.068	-0.005	-0.197
LA	0.337	0.298	1	0.393	-0.212	0.257	0.091	-0.026	0.053	0.083	0.045	0.096
PA	0.178	0.401	0.393	1	-0.058	0.669	0.580	-0.079	-0.094	0.083	0.111	-0.004
EA	-0.175	0.049	-0.212	-0.058	1	0.371	0.405*	-0.482*	-0.023	-0.008	0.240	-0.149
AT	0.257	0.439	0.257	0.669	0.371	1	0.922	-0.258*	-0.106	-0.017	0.091	-0.004
GW	0.172	0.224	0.091	0.580	0.405	0.922	1	-0.211	-0.148	-0.122	0.021	-0.056

LCU	0.013	-0.138	-0.026	-0.079	-0.482	-0.258	-0.211	1	0.180	-0.124	-0.283	0.030
DCU	0.066	-0.159	0.053	-0.094	-0.023	-0.106	-0.148	0.180	1	0.702*	0.569*	0.517*
PN	0.124	-0.068	0.083	0.083	-0.008	-0.017	-0.122	-0.124	0.702	1	0.765*	0.748*
CC	0.238	-0.005	0.045	0.111	0.240	0.091	0.021	-0.283	0.569	0.765	1	0.486*
CA	-0.039	-0.197	0.096	-0.004	-0.149	-0.004	-0.056	0.030	0.517	0.748	0.486	1

*Variables con significancia estadística (P<0.05)

PN = Peso al nacimiento; CC = Circunferencia cefálica; CA = Circunferencia abdominal; LV = Área luz vena umbilical; PV = Área pared vena umbilical; LA = Área luz arterias umbilicales; PA = Área pares arterias umbilicales; EA = Distancia epitelio arteria cercana; AT = Área total del corte; GW = Área de la gelatina de Wharton; LCU = Longitud del CU; DCU = Diámetro del CU.

La integridad umbilical (**INT**), umbilical es considerada una variable de amplio interés dentro de la evaluación neonatal, puesto que refleja la capacidad de resistencia a la torsión y a la ruptura del cordón, teniendo repercusión directa sobre la vitalidad y supervivencia de los neonatos, se ha descrito que un **CU** delgado, además de ser frágil y propenso a romperse, también ocasiona restricción de crecimiento intrauterino debido a que es menor el volumen de sangre y nutrientes que es capaz de transportar, a lo cual, el feto prioriza el desarrollo de su sistema nervioso central utilizando en ello gran parte de los nutrientes disponibles, dando como resultado lechones pequeños y con un tamaño de cabeza desproporcionado a su cuerpo (**Amdi et al., 2013; Hansen et al., 2018**).

En ese sentido, se encontró que la **INT** umbilical de los Ts'üdi evaluados no presenta efecto sobre las características zoométricas **PN** ($P=0.078$) y **CA** ($P=0.113$), pero si se observó diferencia entre **INT** con respecto a circunferencia cefálica (**CC**) $P=0.012$, encontrando que los lechones con **CU** presentan una **CC** mayor (20.9 ± 1.31 cm) que los lechones con **CU** Íntegro (19.88 ± 1.13 cm).

De manera general, se ha descrito que la tasa de supervivencia de los lechones pequeños (<700 gr) es del 30%, los lechones con bajo **PN** son más vulnerables a las condiciones extrauterinas, experimentando complicaciones en su comportamiento y desarrollo, lo cual se ve reflejado en la vitalidad, siendo a menudo incapaces de recuperarse de estas situaciones culminando en su muerte (**Sadeghi et al., 2023**). Además, las características corporales de los neonatos están

íntimamente ligada al **PN**. La vitalidad de los neonatos evaluados respecto a la zoometría neonatal se muestra en el **Cuadro 3**.

Cuadro 3. Zoometría neonatal de los Ts'üdi respecto a su vitalidad general.

Zoometría Neonatal	Vitalidad Baja	Vitalidad Media	Vitalidad Alta	Valor de P
PN (Kg)	0.668 ± 0.07	0.853 ± 0.15	1.046 ± 0.17	<.0001*
CA (cm)	15.50 ± 0.84	19.36 ± 0.36	22.34 ± 0.47	<.0001*
CC (cm)	18.86 ± 0.64	19.99 ± 1.17	20.76 ± 1.18	0.005*

*Variables con significancia estadística (P<0.05)

PN = Peso al nacimiento; CC = Circunferencia cefálica; CA = Circunferencia abdominal.

La vitalidad neonatal de los lechones Ts'üdi xirgo evaluados mostró una estrecha relación con el **PN** ($P = <.0001$). Los lechones más pesados tuvieron mejor puntuación en la valoración de vitalidad general (**VG**), mientras que sus contrapartes de menor peso obtuvieron calificaciones de vitalidad menor. **Islas-Fábila et al. (2023)** reportaron en un estudio con lechones comerciales que el **PN** no mostraba tener efecto en la vitalidad general de los neonatos, mientras que **Sánchez-Salcedo et al. (2019)** reportaron diferencias en los pesos al nacer respecto a la vitalidad en lechones comerciales.

Del mismo modo, en los Ts'üdi xirgo se encontró que la circunferencia (**CC**) $P = <.0001$ y la abdominal (**CA**) $P = 0.005$, tienen efecto sobre la **VG**, dichas medidas corporales se encuentran estrechamente influenciadas por el **PN** ($P = <.0001$), un indicador que, como se mencionó anteriormente, ha mostrado afectar la **VG**. Estos hallazgos son similares a lo reportado por **Salazar (2018)**, quien menciona que los valores de las medidas corporales se encuentran íntimamente relacionadas con el **PN** de los neonatos, mismos que a su vez, afectan la vitalidad y la supervivencia de los lechones (**Hales et al., 2013**).

La evaluación de las características umbilicales como un indicador de vitalidad neonatal y de bienestar intrauterino se ha popularizado ampliamente en la neonatología humana y veterinaria. En el caso de la presente investigación, la

relación de las medidas umbilicales con la vitalidad de los neonatos Ts'üdi xirgo se presenta en el **Cuadro 4**.

Proctor et al. (2012) reportan que el diámetro umbilical en humanos puede proporcionar una estimación indirecta de la eficiencia placentaria, encontrando que los recién nacidos con mayor peso al nacer muestran un diámetro umbilical mayor, también obtienen mejores puntuaciones en la prueba APGAR. En ese sentido, las variables evaluadas referentes a la morfología umbilical, solamente el diámetro **(DCU)** tuvo efecto sobre la **VG** ($P= 0.0056$), los lechones con baja vitalidad tuvieron **CU** más delgados (0.56 ± 0.11 cm) en comparación de los lechones con baja vitalidad en comparación con los **CU** de los lechones con vitalidad alta (0.78 ± 0.11 cm), este comportamiento es similar a lo descrito por **Fordyce et al. (2020)** e **Islas-Fábila et al. (2023)**, quienes reportaron que los lechones comerciales mostraron mejor vitalidad y supervivencia cuando tenían **CU** con un diámetro mayor, no obstante, **Barnwal et al., (2012)** observaron que el área y el diámetro del **CU** disminuye en embarazos con restricción de crecimiento fetal.

Por otro lado, los valores de área total de corte **(AT)** $P=0.852$, área de la gelatina de Wharton **(GW)** $P=0.692$ y distancia epitelio arteria cercana **(EA)** $P=0.858$, no tuvieron efecto sobre la vitalidad general **(VG)** de los lechones, resultados opuestos a lo descrito por **Merlin et al. (2020)** y **Di Pasquo et al. (2025)**, quienes reportaron que la disminución del área **GW** representa mayor índice de complicaciones durante la gestación, probablemente debido a que los vasos umbilicales sean más susceptibles a la compresión. Con ello, el crecimiento fetal es bajo y, a su vez, al momento del parto estos **CU** delgados y con poca **GW** presentan mayor riesgo de ruptura a causa de las contracciones uterinas, ocasionando compromiso hipóxico y bajo desempeño neonatal.

Del mismo modo, se ha reportado que la disminución en el área de la luz y la alteración de las paredes de los vasos umbilicales comprometen la hemodinámica umbilical, lo que puede resultar en retraso del crecimiento fetal, hipogénesis de órganos, bajo rendimiento posnatal y mayor tasa de mortalidad en los recién nacidos **(Sinha et al., 2015)**. Los resultados de la presente investigación son diferentes a

los antes mencionados, ya que las características vasculares de los **CU** de los lechones Ts'üdi xirgo no tuvieron influencia sobre la **VG**.

Cuadro 4. Efecto de la morfometría umbilical sobre la vitalidad neonatal.

Medidas Umbilicales	Vitalidad Baja	Vitalidad Media	Vitalidad Alta	Valor P
LV (mm ²)	0.246 ± 0.32	0.090 ± 0.08	0.177 ± 0.22	0.392
PV (mm ²)	2.43 ± 1.13	1.98 ± 0.55	2.53 ± 2.90	0.739
LA (mm ²)	0.083 ± 0.03	0.035 ± 0.01	0.080 ± 0.10	0.293
PA (mm ²)	0.974 ± 0.11	0.979 ± 0.05	0.878 ± 0.16	0.503
EA (mm)	0.28 ± 0.05	0.27 ± 0.02	0.25 ± 0.03	0.858
AT (mm ²)	25.26 ± 2.96	23.57 ± 1.27	23.17 ± 1.66	0.852
GW (mm ²)	20.06 ± 2.80	19.45 ± 1.20	18.31 ± 1.57	0.692
LCU (cm)	20.60 ± 6.83	22.22 ± 10.26	20.00 ± 10.75	0.892
DCU (cm)	0.56 ± 0.11	0.66 ± 0.16	0.78 ± 0.11	0.0056*

*Variables con significancia estadística (P<0.05)

LV = Área luz vena umbilical; PV = Área pared vena umbilical; LA = Área luz arterias umbilicales; PA = Área pares arterias umbilicales; EA = Distancia epitelio arteria cercana; AT = Área total del corte; GW = Área de la gelatina de Wharton; LCU = Longitud del CU; DCU = Diámetro del CU.

Respecto a la **INT** umbilical, se ha descrito que tiene influencia sobre la puntuación de vitalidad neonatal en lechones comerciales, debido a que la ruptura prematura del **CU** interrumpe la oxigenación del lechón dentro del útero. Esto estimula su respiración y, con ello, es posible la broncoaspiración de líquido amniótico y meconio (indicadores de sufrimiento fetal en humanos), ocasionando daños pulmonares de carácter inflamatorio. Además, el estado de hipoxia disminuye las capacidades neuromotrices del lechón, dando como resultado baja actividad de los neonatos (**Amdi et al., 2013; Islas-Fábila et al., 2023**). Sin embargo, los resultados de esta investigación difieren de lo antes descrito, puesto que se encontró que la **INT** de los **CU** de los Ts'üdi xirgo no tuvo efecto sobre la **VG** (P=0.195).

En el **Gráfico 1** se muestra, de manera general, la puntuación de vitalidad obtenida de acuerdo con las categorías de índice de masa corporal (**IMC**) e índice ponderal (**IP**).

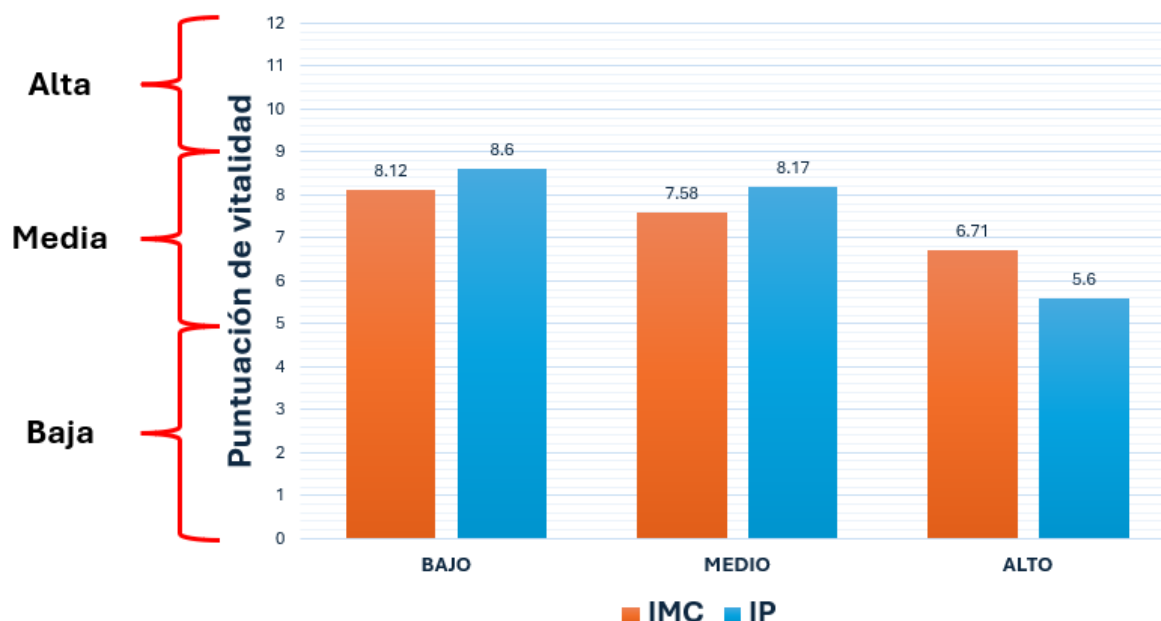


Gráfico 1. Valores de Vitalidad promedio respecto al Índice de masa corporal (IMC) y al Índice ponderal (IP).

Se ha comprobado que el índice de masa corporal (**IMC**) es un buen indicador de vitalidad neonatal, puesto que lechones con buen **IMC** tienen una mejor capacidad de termorregulación y de consumir calostro, lo cual es esencial para su supervivencia, reportando que los lechones con bajo **IMC** que murieron durante el periparto tenían el estómago vacío (**Herpin et al., 2002; Baxter et al., 2008**).

En esta investigación se encontró que el **IMC** de los neonatos Ts'üdi xirgo no afectó la **VG** ($P= 0.163$), lo cual fue contrario a lo descrito por **Hales et al. (2013)** quienes encontraron que, a pesar de tener un peso similar, los lechones con mayor **IMC** presentaron mejor capacidad de supervivencia.

El índice ponderal (**IP**) como característica zoométrica ha permitido identificar recién nacidos en situación de riesgo durante el proceso de parto y la vida posnatal, siendo utilizado como un buen indicador de vitalidad (**Silva et al., 2021**). **Amdi et al (2013)** encontraron que el valor de **IP** en lechones comerciales influía en la vitalidad y

supervivencia de estos, ya que los neonatos con **IP** medio y alto fueron capaces de lograr una mayor absorción nutricional y no fueron sometidos a desafíos fisiológicos, como la hipotermia. De manera similar, en esta investigación se encontró que el **IP** ($P = <.0001$) sí tuvo efecto en la puntuación de vitalidad y con ello en la **VG**, mostrando que los lechones con un **IP** medio y bajo obtuvieron mejores puntuaciones de vitalidad que los lechones con **IP** alto.

Son diversas las investigaciones que sugieren que los lechones seleccionados para mayor producción de tejido magro presentan una madurez tardía, ya que nacen con menor porcentaje de grasa corporal, por el contrario, los lechones no sometidos a esta selección tienen mayores concentraciones de glucógeno muscular y hepático, además de mayor porcentaje de grasa corporal. Lo anterior sugiere que tal vez el **IP** de los lechones esté asociado con ese porcentaje de grasa corporal, y esto podría explicar por qué es importante en relación con su capacidad de supervivencia (**Leenhouders et al 1999; Langendijk et al., 2018; Muro et al., 2021; Carnevale et al., 2024**).

Al no haber sido sometidos a un programa de selección genética, los lechones criollos Ts'üdi xirgo presentan mayor cantidad de grasa corporal, robustez y corpulencia que los lechones comerciales (**García et al., 2021**). Adicional a ello, el pequeño tamaño del cuerpo y del conducto uterino de las cerdas criollas podrían complicar la expulsión uterina de lechones robustos, esto podría explicar por qué los neonatos Ts'üdi con **IP** alto tuvieron menor vitalidad.

Los valores de **INT** umbilical no mostraron efecto sobre la **VG** de los lechones criollos evaluados en este estudio, difiriendo a lo reportado por **Islas-Fábila et al. 2023**, quienes encontraron que los lechones comerciales con **CU** rotos presentaban mayores complicaciones posnatales y menor vitalidad.

Por otro lado, la paridad de las hembras criollas no influyó en la **VG** de los neonatos Ts'üdi xirgo, esto contrasta con lo descrito por **Roldán et al. (2019)**, quienes evaluaron a cerdas comerciales de diferente paridad, demostrando que las hembras primíparas tenían lechones que mostraban menor vitalidad en comparación con los lechones de las hembras multíparas. Estos autores concluyeron que la menor

vitalidad de los lechones está asociada a los bajos pesos al nacer, lo cual es frecuente en las cerdas primíparas, y como consecuencia a complicaciones en la termorregulación, la alimentación y en el desempeño posnatal de los lechones.

8. CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos en esta investigación son los primeros pasos hacia la caracterización de la morfología del cordón umbilical en cerdos criollos, y a la importancia de la cuantificación de la vitalidad neonatal en estos animales, con la finalidad de poder brindar las condiciones y el manejo adecuado que favorezca la sobrevivencia de los neonatos en los primeros días de vida.

Se encontró que el Peso al nacimiento (**PN**), la Circunferencia abdominal (**CA**) y la circunferencia cefálica (**CC**) son buenos indicadores para estimar la vitalidad de los neonatos criollos. Asimismo, el diámetro umbilical (**DCU**) si presentó un efecto directo sobre la vitalidad, ya que los lechones con **CU** gruesos están relacionados a lechones con mayor peso, lo que se puede asociar a una mejor vitalidad neonatal.

Por otro lado, se observó que las características histológicas del **CU**, así como la integridad de éste, no afectaron directamente la vitalidad de los lechones. Del mismo modo, el **IMC** no mostró tener efecto en la vitalidad, mientras que los neonatos con **IP** bajo y medio, tuvieron un mejor desempeño neonatal, estos resultados podrían servir como las primeras evidencias de la capacidad de resiliencia que los lechones criollos de la raza Ts'üdi xirgo presentan desde el nacimiento.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alonso M., Ramírez R., González M., Mota D., Trujillo M. Piglet survival in early lactation: a review. *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 2007;6(1):76-86.
2. Alonso F., Rodríguez E. La carne de cerdo en el mundo y las importaciones y exportaciones del producto por México. *Los porcicultores y su entorno*. 2020;13:115-122. ISSN: 2395-8545
3. Álvarez-Romero J., Medellín R. 2005. *Sus scrofa* (doméstica). Vertebrados superiores exóticos en México: diversidad, distribución y efectos potenciales. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto U020. México. D.F. Doi: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.1820.6163>
4. Alzaree F, Elbohoty A, Abdellatif M. Early. Versus Delayed Umbilical Cord Clamping on Physiologic Anemia of the Term Newborn Infant. *Journal of Medical Science*. 2018;15(8):1399-1404. Doi: <https://doi.org/10.3889/oamjms.2018.286>
5. Amdi C., Krogh U., Flummer U., Oksbjerg N., Hansen C., Theil C. Intrauterine Growth restricted piglets defined by their head shape ingest insufficient amounts of colostrum. *Journal of Animal Science*. 2013;91(12):5605-5613. Doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6824>
6. AMVEC. Producción de carne de cerdo. Ficha de información general. Asociación Mexicana de Veterinarios Especialistas en Cerdos A.C. 2018.
7. Ángel HA, García MC, García MA, Gutiérrez CA, Valencia PM, García MA, et al. Reproductive potential of the female productive parameters of the suckling piglet of the Cerdo pelón mexicano. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 2022; 8(3): 2776. Doi: <https://doi.org/10.19136/era.a8n3.2776>
8. Aparecida R., Ribeiro F., Crone C., Markiy A., Bevilacqua A., Oliveira V., Aparecida G., Pereira A., Sousa L., Garófallo R., De Castro I. Strategic use of Straw as environmental enrichment for prepartum sows in farrowing crates. *Applied Animal Behaviour Science*. 2021;234: 105194. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2020.105194>
9. Barnwal M., Rath S., Chhabra S., Nanda S. Histomorphometry of umbilical cord and its vessels in preclampsia as compared to normal pregnancies. *Nepal Journal of Obstetrics and Gynaecology*. 2013;7(1):8-32. Doi: <http://dx.doi.org/10.3126/njog.v7i1.8832>
10. Barrios-Arpi L., Rodríguez J., López-Torres B. Histological characterization of umbilical cord in alpaca (*Vicugna pacos*). *Anatomia Histología Embryologia*. 2017;46(6):533-538. Doi: <https://doi.org/10.1111/ahe.12298>
11. Baxter E., Jarvis S., D'Eath R., Ross D., Robson S., Farish M., Nevison I., Lawrence A., Edwards S. Investigating the behavioral and physiological

- indicators of neonatal survival in pigs. *Theriogenology*. 2008;69(6):773-783. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2007.12.007>
12. Berghof T., Poppe M., Mulder H. Opportunities to Improve Resilience in Animal Breeding Programs. *Frontiers in Genetics*. 2018;9:692. Doi: <https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00692>
 13. Blanco M., Vega H., Giuliano R., Grana D., Azzato F., Lerman J., Milei J. Histomorphometry of umbilical cord blood vessels in preclampsia. *The Journal of Clinical Hypertension*. 2011;13:30-34. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1751-7176.2010.00384.x>
 14. Bravo M. Diagnóstico general de sistemas productivos porcinos en el municipio de Concepción (Antioquia). Tesis. Facultad de Ciencias Administrativas y Agropecuarias Zootecnia, Corporación Universitaria Lasallista. 2017;1:1-4.
 15. Brito R. Fisiología de la reproducción animal con elementos de biotecnología. Félix Varela. 2da edición. La Habana, Cuba. 2009.
 16. Boeta M., Balcázar A., Cerbón J., Hernández J., Hernández J., Páramo R., Porras A., Rangel L., Salgado B., Valencia J., Zarco L. Fisiología Reproductiva de los Animales Domésticos. 1ra edición. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México. 2018
 17. Björkman S., Oliviero C., Kauffold J., Soede N., Peltoniemi O. Prolonged parturition and impaired placenta expulsion increase the risk of postpartum metritis and delay uterine involution in sows. *Theriogenology*. 2018;106:87-92. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.10.003>
 18. Carlson B. Embriología humana y biología del desarrollo. 5ta edición. Elsevier. España. 2014.
 19. Carnevale R., Muro B., Leal D., Alves L., Monteiro M., Gomes N., Pereira F., Ferreira F., Neta C., Watanabe T., Almond G., Garbossa C. The effects on feeding sows at onset of farrowing supplemental energy (blend of carbohydrates and glycerol) on farrowing kinetics and piglet vitality. *Animal*. 2024;18(3):101104. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101104>
 20. Chrusciel, Marcin & Postek, A. & Andronowska, Aneta. Histological analyses of the porcine umbilical cord. *Medycyna Weterynaryjna*. 2008;64. 602-607.
 21. COMECARNE. Compendio Estadístico 2024. Consejo Mexicano de la Carne. México. 2024.
 22. Croy B., Wesselsb J., Linton B., N., Tayadeb C. Comparison of Immune Cell Recruitment and Function in Endometrium During Development of Epitheliochorial (Pig) and Hemochorial (Mouse and Human) Placentas. *Placenta*. 2009;30: 26-31. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.placenta.2008.09.019>

23. DAD-IS. Sistema de Información sobre la Diversidad de los Animales Domésticos, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2023. <https://www.fao.org/dad-is/en/>
24. Debebe S., Cahill L., Kingdom J., Whitehead C., Chandran A., Parks T., Serghides L., Baschat A., Macgowan C., Sled J. Wharton's jelly area and its association with placental morphometry and pathology. *Placenta*. 2020;94:34-38. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.placenta.2020.03.008>
25. Declerk I., Dewulf J., Decauwe R., Maes D. Effects of energy supplementation to neonatal (very) low birth weight piglets on mortality, weaning weight gain and colostrum intake. *Livestock Science*. 2016;183:48-53. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2015.11.015>
26. Del Río J. El cerdo. Historia de un elemento esencial de la cultura castellana en la conquista y colonización de América (siglo XVI). *Anuario de Estudios Americanos*. 1996;53(1):13-35. Doi: <https://doi.org/10.3989/aeamer.1996.v53.i1.430>
27. Di Naro E., Ghezzi F., Raio L., Franchi M., D'Addario V. Umbilical cord morphology and pregnancy outcome. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*. 2001;96:150-157. Doi: [https://doi.org/10.1016/s0301-2115\(00\)00470-x](https://doi.org/10.1016/s0301-2115(00)00470-x)
28. Di Pasquo E., Dall'Asta A., Volpe N., Corno E., Di Ilio C., Bettinelli M., Ghi T. Ultrasound evaluation of the size of the umbilical cord vessels and Wharton's jelly and correlation with intrapartum CTG findings. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*. 2025;305:42-47. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejogrb.2024.11.048>
29. Douglas S., Edwards S., Kyriazakis I. Are all piglets born lightweight alike? Morphological measurements as predictors of postnatal performance. *Journal of Animal Science*. 2016;94(8): 3510–3518. Doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2015-0142>
30. Drucker A., Anderson S. Economic analysis of animal genetic resources and the use of rural appraisal methods: lessons from Southeast Mexico. *International Journal of Agricultural Sustainability*. 2004;2(2):77-97. Doi: <https://doi.org/10.1080/14735903.2004.9684569>
31. Espejo-Beristain G., Ahuja-Aguirre C., Carrasco-García A., Hernández-Cruz B., Paredes-Ramos B. Environmental enrichment for primiparous and multiparous pregnant sows and its effect on cortisol and behavior at farrowing and production parameters and weaning. *Livestock Science*. 2022;265: 105103. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.105103>
32. Espinoza R. Angiogénesis en la placenta de los animales domésticos. *Revista Veterinaria*. 2011;22(2):131-138. Doi: <https://doi.org/10.30972/vet.2221840>

33. Feldpausch JA., Jourquin J., Bergstorm JR., Bargon JL., Bokenkroger CD., Davis DL., González JM., Nelssen JL., Puls CL., Trout WE., Ritter MJ. Birth weight threshold for identifying piglets at risk for preweaning mortality. *Translational Animal Science*. 2019; 3(2):633-640. Doi: <https://doi.org/10.1093/tas/txz076>
34. Fischer K., Brussow K., Wahner M. The Influence of the Condition of the Umbilical cord at Birth on the Vitality of a Newborn Piglets. *Biotechnology in Animal Husbandry*. 2005;21(5-6): 191-194. ISSN: 1450.9156
35. Fordyce A., Hines E., Edwards E., Plaengkaeo S., Stalder K., Colpoys J., Bundy J., Johnson A., Tyler H. Measuring birth weight and umbilical cord diameter at birth to predict subsequent performance in swine. *Translational Animal Science*. 2021;5(1):214. Doi: [doi: 10.1093/tas/txaa214](https://doi.org/10.1093/tas/txaa214). PMID: 33426477
36. Galiot L., Iachance I., Laforest J., Guay F. Modelling piglet growth and mortality on commercial hog farms using variables describing individual animals, litters, sows and management factors. *Animal Reproduction Science*. 2018;(188):57-65. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2017.11.009>
37. Gama F., Gamage S., Ranmonhottige S., Weerakkody I., Abeyruwan H., Parakrama H. Relationship between the tensile strengths and diameter of human umbilical cords. *Journal of Forensic and Legal Medicine*. 2018;56: 48-50. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2018.03.008>
38. García A., De Loera Y., Guevara J., Rodríguez J., Medina C., Rivera U., Segura M., Martínez Y. Recuperación de la población del cerdo negro peludo (Ts'udi xirgo) del valle del mezquital. *Revista de la Academia Veterinaria Mexicana*. 2021;(57):91-104.
39. García G., Santana I., Rico C., Pérez E., Ly J., Diéguez F., Agüero L., García A., Roque R., Velázquez F., Arias T., Macías M., Tosar M. Conservación, evaluación, mejora y uso del cerdo Criollo Cubano. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*. 2008;15:85-89.
40. García-Torres S., Tejerina D., Ortega E. Innate immune response of blood neutrophils in Iberian pigs under different production systems. *Livestock Science*. 2011;138(1-3):304-307. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.01.002>
41. García A. Programa de recuperación de la población del cerdo negro peludo del Valle del Mezquital (Ts'udi Xirgo). Trabajo presentado en Seminario del LVII Año Académico. Academia Veterinaria Mexicana. Ciudad de México, México. 2021.
42. Germán C., Camacho J., Gallegos J. Producción de cerdos. Colegio de Postgraduados. 2005; 83 pp.
43. Gómez-Tenorio G., Rebollar-Rebollar S., Hernández-Martínez J., Guzmán-Soria E. Efecto de los aranceles en la competitividad de la porcicultura

- mexicana. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 2011;14(2):537-542. ISSN 1870-0462
44. Gourley K., DeRouchey J., Tokach M, Dritz S., Goodband R., Woodworth J. Associations between piglet umbilical blood hematological criteria, birth order, birth interval, colostrum intake, and piglet survival. *Journal of Animal Science*. 2020;98(10). Doi: <https://doi.org/10.1093/jas/skaa329>
45. Hales J., Moustsen V., Nielsen M., Hansen C. Individual physical characteristics of neonatal piglets affect preweaning survival of piglets born in a noncrated system. *Journal of Animal Science*. 2013;91(10): 4991–5003. Doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5740>
46. Hammad I., Blue N., Allshouse A., Silver R., Gibbins K., Page J., Goldenberg R., Reddy U., Saade G., Dudley D., Thorsten V., Conway D., Pinar H., Pysheer T. Stillbirth Collaborative Research Network Group. Umbilical Cord Abnormalities and Stillbirth. *Obstet Gynecol*. 2020;135(3):644-652. Doi: <https://doi.org/10.1097/AOG.0000000000003676>
47. Hansen C., Hales J., Amdi C., Moustsen V. Intrauterine growth-restricted piglets defined by their head shape have impaired survival and growth during the suckling period. *Animal Production Science*. 2018;59(6):1056-1062. Doi: <https://doi.org/10.1071/AN17581>
48. Harlizius B., Mathur P., Knol E. Breeding for resilience: new opportunities in a modern pig breeding program. *Journal of Animal Science*. 2020;98(1):150-154. Doi: <https://doi.org/10.1093/jas/skaa141>
49. Hasegawa J. Ultrasound screening of umbilical cord abnormalities and delivery management. *Placenta*. 2018;62:66-78. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.placenta.2017.12.003>
50. Herpin, P., M. Damon, and J. Le Dividich. Development of thermoregulation and neonatal survival in pigs. *Livestock Production Science*. 2002;78:25–45. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(02\)00183-5](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00183-5)
51. Huting AM, Sakkas P, Wellock I, Almendra K, Kyriazakis I. Once small always small? To what extent morphometric characteristics and post-weaning starter regime affect pig lifetime growth performance. *Porcine Health Management*. 2018; 4(21). Doi: <https://doi.org/10.1186/s40813-018-0098-1>
52. INTAGRI. *Sistemas de Producción Porcina*. Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura. 2019.
53. Islas-Fabila P., Mota-Rojas D., Martínez-Burnes J., Mora-Medina P., González-Lozano M., Roldán-Santiago P., Greenwell-Beare V., González-Hernández M., Vega-Manríquez X., Orozco-Gregorio H. Physiological and metabolic responses in newborn piglets associated with the birth order. *Animal Reproduction Science*. 2018;197: 247-256. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2018.08.037>

54. Islas-Fabila P., Bonilla H., González-Hernández M., Vega-Manríquez X., Jiménez-Collado C., Ballesteros-Rodea G., De la Cruz L., Orozco-Gregorio H., Roldán P. Effect of pyrophosphate on the characteristics of farrowing and piglet vitality. *Theriogenology*. 2023;200: 49-59. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2023.01.029>
55. Jahn L., Schuepbach-Regula G., Nathues H., Grahofer A. Effect of 1,25-Dihydroxyvitamin D3-Glycosides on the Farrowing Process and Piglet Vitality in a Free Farrowing System. *Animals*. 2022;12(5): 611. Doi: <https://doi.org/10.3390/ani12050611>
56. Jaiswal P., Upadhyay A., Gothwal S., Singh D., Dubey K., Garg A., Vishnubhatala S. Comparision of two types of intervention to enhance placental redistribution in term infants: randomized control trial. *European Journal of Pediatrics*. 2015;174:1159-1167. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00431-015-2511-y>
57. Johnson G., Seo H., bazer F., Wu G., Kramer A., McLendon B., Cain J. Metabolic pathways utilized by the porcine conceptus, uterus, and placenta. *Molecular Reproduction and Development*. 2022;90(7):673-683. Doi: <https://doi.org/10.1002/mrd.23570>
58. Kiernan J. Histological and histochemistry methods. Quinta edición. Departamento of anatomy and cell biology, University of western Ontario. Ontario, Canadá.2015.
59. Kjerulff D., Halesb J., Ringgard A., Aarestrup V. Comparison of management strategies for confinement of sows around farrowing in sow welfare and piglets protection pens. *Livestock Science*. 2022;263:105026. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.105026>
60. Langendijk P., Bolhuis J., Laurensen B. Effects of pre-and postnatal exposure to garlic and anised flavour on pre- and postweaning feed intake in pigs. *Livestock Science*. 2007;108(1-3):284-287. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.01.083>
61. Langendijk P., Fleuren M., Va Hees H., Van Kempen T. The course of parturition affects piglet condition at birth and survival and growth through the nursery phase. *Animals*. 2018;8(5):60. Doi: <https://doi.org/10.3390/ani8050060>
62. Laothong K., Kamlangsaeng S., Laipasas K., Tirakarn K., Tummaruk P. Colostrum intake and neonatal characteristics in piglets experiencing varying lengths of expulsión pase. *Theriogenology*. 2024;227:128-137. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2024.07.018>
63. Leenhouwers J., Van der Lende T., Knol E. Analysis of stillbirth in different lines of pig. *Livestock Production Science*. 199;57(3):243-253. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(98\)00171-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(98)00171-7)

64. Lemus C., Alonso M. El cerdo Pelón Mexicano y otros cerdos criollos. Universidad Autónoma de Nayarit. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. 2005; 254 pp.
65. Lemus C., Alonso R., Alonso-Spilsbury M., Ramírez R. Morphologic characteristics in mexican native pigs. Archivos de Zootecnia. 2003;52(197):105-108. ISSN: 0004-0592
66. Ley Federal de Sanidad Animal. Diario Oficial de la Federación, México. 2018.
67. Linares, V., Linares, L., Mendoza, G. Caracterización etnozootécnica y potencial carnicero de *Sus scrofa* " cerdo criollo" en Latinoamérica. Scientia Agropecuaria. 2011;2(2): 97-110. Doi: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2011.02.05>
68. Martínez VG, Román PS, Vélez IA, Cabrera TC, Cantú CA, De la Cruz CL, et al. Morfometría del cerdo de traspatio en áreas rurales en México. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. 2016; 7(4):431-440.
69. Merkis C., Cristofolini A., Franchino M., Sanchis E., Moschetti E., Koncurat M. Placentaria angiogenesis during the pig gestation. Revista Electrónica de Veterinaria. 2006;4(8): 1-4. E-ISSN: 1695-7504
70. Mireles S., Guerrero L., Ly J. Cerdos locales mexicanos: Presencia y perspectivas del cerdo cuino. Revista Computadorizada de Producción Porcina. 2015;22(3):115-125.
71. Mohajan D., Kumar H. Ponderal index: an important anthropometric indicator for physical growth. Journal of Innovations in Medical Research. 2023;2(6):15-19. Doi: <http://dx.doi.org/10.56397/JIMR/2023.06.03>
72. Monteiro M., Muro B., Carnevale R., Poor A., Araújo K., Viana C., Almond G., Moreno A., Garbossa C., Leal D. The beneficial effects of providing prepartum shows nesting material on farrowing traits, piglet performance and maternal behavior: A systematic review and meta-analysis. Applied Animal Behavior Science. 2023;259: 105795. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applanim.2022.105795>
73. Montero E., Martínez R., Herradora M., Ramírez G., Espinosa S., Sánchez M., Martínez R. Alternativas para la producción porcina a pequeña escala. 1ra edición, México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México. 2015;208. ISBN: 978-607-02-6915-8
74. Moral L., Ramírez B., Muñoz A. Crecimiento regional de la producción de carne de cerdo en México, 1980-2005. Análisis Económico. 2008;(52):271-290. ISSN: 0185-3937
75. Mota D., Villanueva D., Hernández R., Roldán P., Martínez M., Mora P., González B., Sánchez M., Trujillo M. Assessment of the vitality of the

- newborn: An overview. *Scientific Research and Essays*. 2012;7(7): 712-718. Doi: <http://dx.doi.org/10.5897/SRE11.869>
76. Mota D., Villanueva D., Hernández R., Roldán P., Martínez M., Mora P., González B., Sánchez M., Trujillo M. Invited review: Is vitality assessment important in neonatal animals?. *CABI Reviews*. 2018;13(36): 1-13. Doi: <http://dx.doi.org/10.1079/PAVSNNR13036>
 77. Muns R., Manzanilla E., Sol C., Manteca X., Gasa J. Piglet behavior as a measure of vitality and its influence on piglet survival and growth during lactation. *Journal of Animal Science*. 2013;99(4): 1838-1843. Doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5501>
 78. Muro B., Carnevale R., Andretta I., Leal D., Monteiro M. Effects of uterotonics on farrowing traits and piglet vitality: A systematic review and meta-analysis. *Theriogenology*. 2021;161:151-160. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.12.003>
 79. Neri M., D'Errico S., Fiore C., Pomara C., Rabozzi R., Riezzo I., Turillazzi E., Greco P., Fineschi V. Stillborn or liveborn? Comparing umbilical cord immunohistochemical expression of vitality markers (tryptase, $\alpha 1$ antichymotrypsin and CD68) by quantitative analysis and confocal laser scanning microscopy. *Pathology – Research and Practice*. 2009;205(8): 534-541. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.prp.2009.01.011>
 80. Nguyen HN., Peerapol S. Risk factors associated with stillbirth of piglets born from oxytocin-assisted. *Veterinary world*. 2020; 13-10:2172-2177. Doi: <https://doi.org/10.14202/vetworld.2020.2172-2177>
 81. Normando J., Dos Santos R., Ribeiro R., Ferguson T. Fetal external features and morphology of umbilical cord of wild boars. *Anatomia Histología Embryologia*. 2023;53:e13041 Doi: <https://doi.org/10.1111/ahe.13041>
 82. Olaya M., Bernal J. Comprender el cordón umbilical. *Revista latinoamericana de patología*. 2013;51:200-205.
 83. Panzardi A., Bernardi M., Mellagi A., Bierhals T., Bortolozzo F., Wentz I. Newborn piglets traits associated with survival and growth performance until weaning. *Preventive Veterinary Medicine*. 2013;110(2):206-213. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2012.11.016>
 84. Pastoureau M. El cerdo - Historia de un primo malquerido. Editorial Confluencias. 2015;145 pp. ISBN: 9788494329821.
 85. Perezgrovas R., Pérez R., Galdámez D. Caracterización del sistema de cría de cerdos criollos en el contexto social de Aguacatenango, Chiapas. *Quehacer Científico*. 2007;1(3):5-12.
 86. Pinheiro J., Dos Santos R., Ribeiro M., Ferguson T. Fetal external features and morphology of the umbilical cord of wild boars. *Anatomia Histologia Embryologia*. 2024;53e13041. Doi: <https://doi.org/10.1111/ahe.13041>

87. Proctor L., Fitzgerald B., Whittle W., Mokhtari N., Lee E., Machin G., Kingdom J., Keating S. Umbilical cord diameter percentile curves and their correlation to birth weight and placental pathology. *Placenta*. 2013;34(1):62-66. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.placenta.2012.10.015>
88. Proniewicz J., Nedel S., De Almeida F., Constantino T., Tavares S., Lorenzetti E., Cohelo L. Prediction of vitality and survival of newborn lambs using a modified Apgar score. *Applied Animal Behaviour Science*. 2021;238:105281. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2021.105281>
89. Prophet E., Mills B., Arrington J., Sobin L. Laboratory methods ins histology. 2da edición. American Registry of pathology. Washington DC. 1994.
90. Prophet E., Mills B., Arrington J., Sobin L. Métodos histotecnológicos. 1ra edición. Instituto de patología de las fuerzas armadas de los Estados Unidos de América (AFIP). Washington. 1995.
91. Quesnel H., Resmond R., Merlot E., Pere M., Gondret F., Louveau I. Physiological traits of newborn piglets associated with colostrum intake, neonatal survival and preweaning growth. *Animal*. 2023;17(6):100843.
92. Reyna-Villasmil E. Factore anti-angiogénicos y preclampsia. *Avances en Biomedicina*. 2018;1(7): 22-39. ISSN: 2477-9369
93. Reverman R., Winckler C., Fuerst B., Leeb C., Pfeiffer C. Assessment of viability of new born piglets using an adjusted APGAR score. *Journal of Central European Agriculture*. 2018;19(4): 829-833. Doi: <https://doi.org/10.5513/JCEA01/19.4.2332>
94. Riddersholm K., Bahnsen I., Bruun T., de Knecht L., Amdi C. Identifying Risk Factors for Low Piglet Birth Weight, High Within-Litter Variation and Occurrence of Intrauterine Growth-Restricted Piglets in Hyperprolific Sows. *Animals*. 2021;11(9):2731. Doi: <https://doi.org/10.3390/ani11092731>
95. Roa I., Smok C., Prieto R. Placenta; Anatomía e Histología comparada. *International Journal of Morphology*. 2012;30(40), 1490-1496. Doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022012000400036>
96. Roelofs S., Meijera E., Baas V., Dobrovolski M., Van der Staay FJ., Nordquist RE. Neurological functioning and fear responses in low and normal birth weight Piglets. *Applied Animal Behaviour Science*. 2019; 220:104853. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2019.104853>
97. Roldán P., Martínez-Burnes J., López Mayagoitia A., Ramírez-Necoechea R., Mota-Rojas D. Relationship of vitality and weight with the temperature of newborn piglets born to sows of different parity. *Livestock Science*. 2019;220:26-31. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.12.011>
98. Romero, M., Calvo, L., Morales, J. I., Rodríguez, A. I., Escudero, R. M., Olivares, Á., López-Bote, C. (2022). Short-and long-term effects of birth weight and neonatal care in pigs. *Animals*, 12(21), 2936. Doi: <https://doi.org/10.3390/ani12212936>

99. Rootwelt V., Reksen O., Farstad W., Framstad T. Postpartum deaths: Piglet, placental, and umbilical characteristics. *Journal of Animal Science*. 2013;91(6):2647–2656. Doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5531>
100. Sabdia S., Greer R., Prior T., Kumar S. Predicting intrapartum feta compromise using the fetal cerebro-umbilical ratio. *Placenta*. 2015;36(5):594-598. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.placenta.2015.01.200>
101. Sadler T. *Embriología médica*. 14va edición. Editorial Wolters Kluwer. Philadelphia. 2019.
102. Sadeghi E., Kappers C., Chiumento A., Derks M., Havinga P. Improving piglets health and well-being: A review of piglets health indicators and related sensin technologies. *Smart Agricultural Technology*. 2023;64: 100246. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100246>
103. SAGARPA. Acción conjunta Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural con la Asociación de Porcicultores del Estado de Sonora, México para la erradicación del cólera porcino hoy llamada fiebre porcina clásica. México. 2000.
104. Salamanca-Carreño A., Parés-Casanova PM., Vélez-Terranova OM., Castro RC., Jáuregui R. Valoración morfométrica de una población de cerdos araucanos (Colombia). *Rev Inv Vet Perú*. 2022; 33(5): e23795. Doi: <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v33i5.23794>.
105. Salas C. Características, distribución y perspectivas del cerdo criollo en América Latina. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. 2012; 47 pp.
106. Salazar V. Factores que afectan la vitalidad de los lechones al momento del nacimiento. *Nutrición Animal Tropical*. 2018; 12(1):40-58.
107. Sánchez-Molano E., Kapsona V., Ilska J., Desire S., Conington J., Banos G. Genetic analysis of novel phenotypes for farm animal resilience to weather variability. *BMC Genetics*. 2019;20(84):1-10. Doi: <https://doi.org/10.1186/s12863-019-0787-z>
108. Sánchez-Salcedo J., Bonilla-Jaime H., González-Lozano M., Hernández-Arteaga S., Greenwell V., Vega-Manríquez X., González-Hernández M., Orozco-Gregorio H. Therapeutics of neonatal asphyxia in production animals: a review. *Veterinari Medicina*. 2019;64(5):191–203. Doi: 10.17221/86/2018-VETMED
109. Sánchez-Salcedo J., Orozco-Gregorio H., González-Lozano M., Roldán-Santiago P., González-Hernández M., Ballesteros-Rodea G., Bonilla-Jaime H. Caffeine administered to pregnant sows improves piglet vitality, gas exchange and body weight gain. *Animal Reproduction Science*. 2019b;208: 0378-4320. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2019.106120>
110. Sánchez-Trujillo L., Garcí-Montero C., Fraile-Martínez O., Guijarro L., Bravo C., De León L., Saez J., Bujan J., Álvarez-Mon M., García-Honduvilla

- N., Saez M., Ortega M. Considering of effects and maternofetal implications of vascular disorders and the umbilical cord. *Medicina*. 2022;58(12):1754. Doi: <https://doi.org/10.3390/medicina58121754>
111. Schmitt O., Baxter E., Lawlor P., Boyle L., O'Driscoll K. A Single Dose of Fat-Based Energy Supplement to Light Birth Weight Pigs Shortly After Birth Does Not Increase Their Survival and Growth. *Animals*. 2019;9(5):227. Doi: <https://doi.org/10.3390/ani9050227>
 112. Schmid S., Büscher W., Steinhoff-Wagner J. Suitability of Different Thermometers for Measuring Body Core and Skin Temperatures in Suckling Piglets. *Animals*. 2021;11(4):1004. Doi: <https://doi.org/10.3390/ani11041004>
 113. Schold K., Reverman R., Winckler C., Furst B., Leeb C., William A., Knapp P., Pfeiffer C. Assessment of Piglet Vitality by Farmers—Validation of A Scoring Scheme and Estimation of Associated Genetic Parameters. *Animals*. 2019;9(6):317. Doi: <https://doi.org/10.3390/ani9060317>
 114. Sharony R., Keltzb E., Biron T., Kidron D. Morphometric characteristics of the umbilical cord and vessels in fetal growth restriction and preclamsia. *Early Human Development*. 2016;92: 57-62. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2015.11.006>
 115. SIAP. Información estadística de la producción pecuaria nacional. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. México. 2023.
 116. Sierra A. Conservación genética del cerdo pelón en Yucatán y su integración a un sistema de producción sostenible: Primera aproximación. *Archivos de Zootecnia*. 2000;49(187):415-421. ISSN: 0004-0592
 117. Sierra-Vázquez A., Ortiz O.J., Bojórquez J., Canul M., Tamayo J., Rodríguez J., Sanjinés R., Magaña M., Montes R., Segura J. Conservación y uso sustentable del cerdo pelón en Yucatán. *Quehacer científico en Chiapas*. 2016;11(1): 13-28.
 118. Silva L., Fidelis P., Gomes L., Santos G., Oliveira A., Medeiros E., Araújo M., Moreira R. Morphometry of newborn piglets its relevance at weaning. *BioRxiv*. 2021;03(15):435415. Doi: <https://doi.org/10.1101/2021.03.15.435415>
 119. Sinha M., Suresh R., Gupta C. The cross-sectional área of umbilical cord and Wharton's jelly in pre-clampsia. *International Journal of Healthcare and Biomedical Research*. 2015;4(1):44-54.
 120. Solís J., García C., Robles F. Parámetros hematológicos del Cerdo Pelón Mexicano. *Jóvenes en la Ciencia*. 2018;4(1):80-85.
 121. Suescun-Ospina ST., Bolívar-Sierra AF., Colmenares-Ayala A. Desempeño productivo, características de la canal y calidad de la carne de cerdos mestizos Casco de Mula en ceba. *Orinoquia*. 2022;26(2):e779, <https://doi.org/10.22579/20112629.779>

122. Thongkhuy S., Chuaychu S., Burarnrak P., Ruangjoy P., Juthamanee P., Nuntapaitoon M., Tummaruk P. Effect of backfat thickness during late gestation on farrowing duration, piglet birth weight, colostrum yield, milk yield and reproductive performance of sows. *Livestock Science*. 2020;234, 103983. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.103983>
123. Trujillo M., Martínez R., Herradora M. La piara reproductora. Mundi-Prensa México. México. 2002; 255 pp.
124. Trujillo-Ortega M., Mota-Rojas D., Juárez O., Villanueva-García D., Roldán-Santiago P., Becerril-Herrera M., Hernández-González R., Mora-Medina P., Alonso-Spilsbury M., Rosales A., Martínez-Rodríguez R., Ramírez-Necoechea R. 2011. Porcine neonates failing vitality score: physiometabolic profile and latency to the first teat contact. *Czech Journal of Animal Science*. 2011;56 (11): 499–508. Doi: 10.17221/3839-CJAS
125. Tucker BS, Petrovski KR, Craig J, Morrison R, Smits RJ, Kirkwood RN. Piglet morphology: Indicators of Neonatal Viability?. *Animals*. 2022;(12)5:658. Doi: <https://doi.org/10.3390/ani12050658>
126. Valarezo FS. Evaluación de parámetros productivos y reproductivos en cerdos criollos de diferentes biotipos, en la quinta experimental punzara. Tesis. Universidad Nacional de la Loja. Ecuador. 2021;1-38.
127. Vanden S., Aerts P., Prims S., Ayuso M., Van Cruchten S. Does intrauterine crowding affect locomotor development? A comparative study of motor performance, neuromotor maturation and gait variability among piglets that differ in birth weight and vitality. *Plosone*. 2018;13(4):e0195961. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195961>
128. Vanden S., Ayuso M., Aerts P., Prims S., Van Cruchten S., Van Ginneken C. Glucose and glycogen levels in piglets that differ in birth weight and vitality. *Heliyon*. 2019;5(9): e02510. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02510>
129. Vongsariyavanich S., Sundaraketu P., Sakulsirajit R., Suriyapornchaikul C., Therarachataamongkol S., Boonraungrod N., Pearodewong P., Tummaruk P. Effect of carbetocin administration during the mid-period of parturition on farrowing duration, newborn piglet characteristics, calostrum yield and milk yield in hyperprolific sows. *Theriogenology*. 2021;172:150-159. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2021.06.012>
130. Wang Y., Zhao S. Vascular Biology of the Placenta. San Rafael (CA): Morgan & Claypool Life Sciences. 2010; PMID: 21452443. Doi: <https://doi.org/10.4199/c00016ed1v01y201008isp009>
131. Will K., Magoga J., Rigo E., Da Rosa R., Goncalves A., Pandolfo F. Relationship between dexamethasone treatment around parturition of primiparous sows and farrowing performance and newborn piglet traits.

- Theriogenology. 2023;198: 256-263. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2022.12.044>
132. Zavala A. Propuesta de innovación tecnológica para la industria porcina en el estado de Jalisco. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. México. 2014;146 pp.
133. Zhao W., Artaiz O., Iqbal Y., Le H., DiGiacomo K., Leury B., Fothergill L., Furness J., Liu F., Green M., Finger B., Navarro M., Roura E., D'Souza D., Dunshea F., Plush K., Cottrell J. Heat stress of gilts around farrowing causes oxygen insufficiency in the umbilical cord and reduces piglet survival. *Animal*. 2022;16(11). Doi: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100668>
134. Zheng A., Liu D., Zhao C., Yue Z., Shi J., Zhou R., Cai G., Zheng E., Li Z., Wu Z. Birth weight, umbilical and placental traits in relation to neonatal lost in cloned pigs. *Placenta*. 2017;57:94-101. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.placenta.2017.06.010>

REGISTRO DE VITALIDAD NEONATAL

ID Cerdá:	Paridad:	GD:	CC:	Hora de inicio de parto:		Hora de término de parto:		Fecha de parto:	
ID padre:	Camada:	Días de gest:	Corral:	Tipo piso:	Cama:	Hora inicio secr láctea:		Hora inicio secr vulvar:	

No	Hora nacim	Peso	Sexo	Meco -nio	T°	Muco -sas	Long Corpor	Circ Cefal	Circ Abdom	Circ torac	Intervalo Nac - teta	Intervalo nac-biped	Long CU	Diam CU	RCIU	Int CU
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																

RCIU = Restricción de crecimiento Intrauterino (puntuación de 1-3)