



UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

Facultad de Ciencias Agropecuarias Recursos Naturales y del Ambiente

Carrera de Medicina Veterinaria

Tema:

**“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE CARBOXIMALTOSA FÉRRICA Y
HIERRO DEXTRANO EN LOS VALORES HEMATOLÓGICO DE
LECHONES ANTES Y DESPUÉS DEL DESTETE”**

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Médica Veterinario.

Otorgado por la Universidad Estatal de Bolívar a través de la Facultad de
Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, Carrera de
Medicina Veterinaria.

Autora:

Carmen Lisbeth Guamán Chica

Tutor:

Dr. Edison Rivieliño Ramón Curay MS.c

Guaranda – Ecuador

2025

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE CARBOXIMALTOSA FÉRRICA Y
HIERRO DEXTRANO EN LOS VALORES HEMATOLÓGICO DE
LECHONES ANTES Y DESPUÉS DEL DESTETE

REVISADO Y APROBADO POR



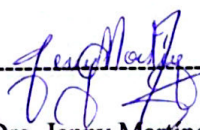
Dr. Edison Riviño Ramón Curay M.Sc.

TUTOR



Dr. Jagger Segura Ochoa Ph.D.

PAR LECTOR



Dra. Jenny Martínez M.Sc.

PAR LECTORA

CERTIFICACIÓN DE AUTORIA

Yo, Carmen Lisbeth Guamán Chica, con CI 0202348397, declaro que el trabajo y los resultados presentados en este informe, no han sido previamente presentados para ningún grado o calificación profesional; y, que las referencias bibliográficas que se incluyen han sido consultadas y citadas con su respectivo autor(es).

La Universidad Estatal de Bolívar, puede hacer uso de los derechos de publicación correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, su Reglamentación y la Normativa Institucional vigente.



Carmen Lisbeth Guamán Chica

CI 0202348397



Dr. Edison Rivelino Ramón Curay MS.c

TUTOR





DOCTORA MSc. GINA CLAVIJO CARRION
Notaria Cuarta del Cantón Guaranda.

ESCRITURA N° 20250201004P00517

DECLARACIÓN JURAMENTADA
OTORGAN:
CARMEN LISBETH GUAMAN CHICA
CUANTÍA: INDETERMINADA
Di 2 COPIAS

En el Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, República del Ecuador, hoy lunes a los dieciséis días del mes de junio del año dos mil veinticinco, ante mí **DOCTORA MSc. GINA LUCIA CLAVIJO CARRIÓN, NOTARIA CUARTA DEL CANTÓN GUARANDA**, comparece con plena capacidad, libertad y conocimiento, la señorita **CARMEN LISBETH GUAMAN CHICA**, de estado civil soltera, por sus propios y personales derechos en calidad de OTORGANTE. La compareciente declara ser de nacionalidad ecuatoriana, mayor de edad, de estado civil como se deja expresado, de ocupación estudiante, domiciliada en la parroquia Chaves, Cantón Guaranda, provincia Bolívar, con teléfono celular número cero nueve seis siete tres tres dos ocho nueve tres; y, con correo electrónico calisguachi21@gmail.com, hábil en derecho para contratar y contraer obligaciones, a quien de conocerle doy fe, en virtud de haberme exhibido sus documentos de identificación, en base lo cual obtengo la certificación biométrica del Registro Civil, además por petición expresa de la compareciente me pide se adjunte sus documentos personales como es la cedula y el certificado de votación, como documentos habilitantes a esta escritura. Advertida la compareciente por mí la Notaria de los efectos y resultados de esta escritura, así como examinada que fue en forma aislada y separada de que comparece al otorgamiento de esta escritura sin coacción, amenazas, temor reverencial, ni promesa o seducción instruida por mí de la obligación que tiene de decir la verdad con claridad y exactitud; y, advertida sobre la gravedad del juramento y de las penas de perjurio, me solicita que recepte su declaración juramentada: Yo, **CARMEN LISBETH GUAMAN CHICA**, de estado civil soltera, declaro que los criterios e ideas emitidos en el presente Proyecto de investigación de titulación es de mi absoluta autoría, titulado **EVALUACIÓN DEL EFECTO DE CARBOXIMALTOSA FÉRRICA Y HIERRO DEXTRANO EN LOS VALORES HEMATOLÓGICO DE LECHONES ANTES Y DESPUÉS DEL DESTETE**, previo a la obtención del título de Médico Veterinario, otorgado por la Universidad Estatal de Bolívar, a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, carrera de Medicina Veterinaria.- Es todo cuanto puedo declarar en honor a la verdad.- Para su otorgamiento se observaron los preceptos de ley y leída que le fue a la compareciente íntegramente por mí la Notaria, aquella se afirma y ratifica en todas sus partes y firma junto conmigo en unidad de acto, incorporando al protocolo de esta Notaria la presente escritura de Declaración Juramentada, de todo cuanto doy Fe.-----

SRTA. CARMEN LISBETH GUAMAN CHICA.
C.C. 0202348397


DOCTORA MSc. GINA LUCIA CLAVIJO CARRION
NOTARIA CUARTA DEL CANTÓN GUARANDA

Carmen Lisbeth Guamán Chica

BORRADOR HIERRO EN LECHONES LISBETH GUAMAÑ.pdf

 2025

 2025

 Universidad Estatal de Bolívar

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:467564245

Fecha de entrega

16 jun 2025, 4:34 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

16 jun 2025, 5:27 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

BORRADOR HIERRO EN LECHONES LISBETH GUAMAÑ.pdf

Tamaño de archivo

21.7 MB

94 Páginas

21.023 Palabras

108.132 Caracteres



Dr. Edison Riveleño Ramón Curay MS.c

TUTOR




10% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Dr. Edison Raveliño Ramón Curay MS.c

TUTOR

DEDICATORIA

Esta tesis dedico a los seres más importantes de mi vida en especial a mis padres, Danilo Guamán y Yohana Chica, quienes han sido el pilar fundamental de mi vida. Su amor incondicional, su apoyo constante y sus sacrificios han sido la base para que alcance cada uno de mis logros. Gracias por enseñarme que los sueños se alcanza por el esfuerzo y la perseverancia de las personas, pero también con el corazón. Sin su guía y motivación, este camino no hubiese sido posible.

A mi hermano, Daniel Guamán, por ser mi compañero de vida, mi apoyo inquebrantable, y por siempre estar allí, en los momentos de alegría y también en los de dificultad. Su presencia ha sido esencial para que nunca pierda la esperanza ni la fuerza para seguir adelante.

Y a Sebastián Coloma, por ser mi refugio, mi calma, mi compañero en los días mas complicados y mi fuente de energía en los momentos de incertidumbre. Gracias por su amor, su paciencia y por ser el mejor compañero en este viaje, siempre alentándome a seguir mis sueños y dar lo mejor de mí.

Esta tesis no es solo mía, es un reflejo del esfuerzo, el amor y la dedicación de todos ustedes. Con todo mi corazón, ¡Gracias!.

CARMEN LISBETH GUAMÁN CHICA

AGRADECIMIENTO

Primero agradezco a Dios, por ser la fuente de fortaleza, sabiduría y esperanza en cada etapa de mi vida, por darme la oportunidad de llegar hasta aquí, por iluminar mi camino y por brindarme paz en momentos de incertidumbre. Sin su guía y bendiciones, este logro no habría sido posible.

También quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todos los docentes de la Universidad Estatal de Bolívar (UEB), quienes con su conocimiento, dedicación y apoyo constante han sido fundamentales en mi formación académica. Cada uno de ustedes a dejado una huella en mi vida y en mi proceso de crecimiento, no solo como estudiante, sino como persona.

Gracias por su paciencia, por compartir su sabiduría y por motivarme alcanzar nuevas alturas. Mi más profundo reconocimiento a cada uno de ustedes por su compromiso y por siempre estar dispuestos a brindar su apoyo.

CARMEN LISBETH GUAMÁN CHICA

ÍNDICE DE CONTENIDO

CONTENIDO	PAG
CAPÍTULO I.	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. PROBLEMA	3
1.3. OBJETIVOS	4
1.4. HIPÓTESIS	5
CAPÍTULO II	6
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. El hierro en la nutrición del lechón	6
2.2. Metabolismo celular del hierro	6
2.2.1. Translocación de hierro a las células eritroides.	8
2.2.2. Utilización celular del hierro.	9
2.2.3. Exportación del hierro	10
2.2.4. Almacenamiento del hierro	10
2.2.5. Absorción del hierro	11
2.2.6. Relación de la inflamación con las ferropenias	12
2.3. Hematología del lechón	13
2.3.1. Eritrocitos	13
2.3.2. Leucocitos	13
2.3.3. Plaquetas	14
2.4. Factores que afectan en el hemograma	15
2.5. Referenciales hematológicos en cerdos	18
2.6. Influencia del hierro sobre los valores hematológicos	20
2.7. Anemia ferropénica.	20

2.7.1. Fisiopatología de la anemia por deficiencia de hierro	21
2.8. Diagnóstico de la deficiencia de hierro (ID)	23
2.9. Tratamiento	23
2.10. Hierro dextrano	25
2.10.1. Posología	26
2.10.2. Farmacodinamia	26
2.10.3. Farmacocinética	26
2.11. Carboximaltosa de hierro	27
2.11.1. Farmacocinética y farmacodinamia	28
2.11.2. Reacciones de hipersensibilidad	28
2.11.3. Dosis	29
CAPÍTULO III	30
3. MARCO METODOLÓGICO	30
3.1. Ubicación de la investigación	30
• Localización de la investigación	30
• Situación geográfica y edafoclimática	30
• Zona de vida	30
3.2. Metodología	31
3.2.1. Material en estudio	31
3.2.2. Factores en estudio	31
3.2.3. Tratamientos	31
3.2.4. Descripción técnica del ensayo	31
3.2.5. Tipo de diseño experimental o estadístico	32
3.2.6. Manejo de la investigación	32
3.2.7. Métodos de evaluación y datos a tomarse	34

3.2.8. Análisis de datos	34
CAPÍTULO IV	35
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
4.1. Interpretación de resultados	35
4.1.1. Peso al nacimiento	35
4.1.2. Sexo de los neonatos	37
4.1.3. Determinación hematológica antes del destete	39
4.1.4. Determinación hematológica posterior al destete (28 días)	41
4.1.5. Determinación hematológica posterior al destete (52 días)	43
4.1.6. Curva de crecimiento	45
4.1.7. Ganancia de pesos	47
4.1.8. Hierro sérico en lechones	49
4.2. COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS	51
CAPÍTULO V	52
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
5.1. Conclusiones	52
5.2. Recomendaciones	53
BIBLIOGRAFÍA	54

ÍNDICE DE TABLAS

Nº	DETALLE	PAG
1.	Referenciales hematológicos en lechones de acuerdo a los días de vida	18
2.	Valores hematológicos en lechones en los días 1 al 21.	19
3.	Tratamientos en estudio.	31
4.	Características del experimento.	31
5.	Aplicación de los tratamientos.	33
6.	Análisis del peso al nacimiento	35
7.	Análisis estadístico del sexo de los neonatos.	37
8.	Estudio hematológico antes del destete (14 días de edad)	39
9.	Estudio hematológico después del destete (28 días de edad)	41
10.	Estudio hematológico después del destete (52 días de edad)	43
11.	Estimación de la curva de crecimiento en base al peso de los neonatos	45
12.	Estimación de la ganancia de peso de los lechones	47
13.	Análisis del hierro sérico de los lechones.	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Nº	DETALLE	PAG.
1.	Promedios del peso al nacimiento.	35
2.	Proporcionalidad de machos y hembras.	37
3.	Estudio hematológico antes del destete (14 días de edad).	39
4.	Estudio hematológico después del destete (28 días de edad).	41
5.	Estudio hematológico después del destete (52 días de edad).	43
6.	Estudio de la dinámica de crecimiento de los lechones.	45
7.	Estudio de la ganancia de peso de los lechones.	47
8.	Estudio del hierro sérico de los lechones.	49

ÍNDICE DE ANEXOS

N°

DETALLE

1. Lugar de investigación
2. Resultados hematológicos.
3. Base de datos
4. Fotografía de la investigación
5. Glosario de términos.

RESUMEN

La aplicación de hierro exógeno en lechones recién nacidos es una estrategia de manejo productiva que previene la aparición de anemias ferropénicas. Aunque, la aplicación convencional puede limitar la biodisponibilidad de este mineral durante el destete del neonato, de tal modo, la presente investigación determinó el efecto de carboximaltosa férrica y hierro dextrano en los valores hematológicos de lechones antes y después del destete. Este experimento se llevó a cabo en la granja porcina “La Pampa”, la misma que está ubicada en la provincia de Manabí, en el cantón Jama, con un total de 18 lechones de edades contemporáneas se desarrolló la aplicación de 200mg de hierro dextrano al grupo T0, dos dosis de 200mg de hierro dextrano con un intervalo de aplicación de 7 días entre la primera y segunda dosis al grupo T1 y 15 mg/kg de carboximaltosa férrica el día del nacimiento al grupo T2. En este experimento se midió el efecto de estas fuentes de hierro, sobre variables productivas, variables hematológicas antes y después del destete y la cantidad de hierro sérico de cada grupo investigativo, aplicando un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con la ayuda del software SAS 9,4. El análisis de la biometría hemática antes del destete, a los 14 días de edad, determinó que los neonatos del T0 cursaron un cuadro de anemia de tipo normocítica normocrómica, con hallazgos de $3,58 \times 10^{12}/L$ en el RBC, 62,50 g/L en la HGB, 0,2493 de HCT, 55,00 fL de VCM y 19,50 pg de MCH, siendo valores inferiores a los promedios de los otros grupos. La biometría hemática después del destete, en los lechones de 28 días, determinó que el impacto del destete afectó a los valores hematológicos de los tres grupos experimentales, sin embargo, el grupo que incurrió en la presentación de anemias fue el grupo T2, con criterios de microcitosis e hipocromía los que se relaciona con la deficiencia en la asimilación de hierro. Los neonatos de 52 días de edad, exhibieron en el estudio hematológico valores por debajo del dato referencial en los parámetros RBC y HCT, sin embargo, no se logró categorizar la presencia de anemia en ninguno de los tres tratamientos, demostrando una mayor compensación eritrocitaria en este periodo. En la curva crecimiento en relación con el peso vivo de los lechones, se observaron diferencias estadísticas significativas a partir de la cuarta semana de vida por efecto de los tratamientos aplicados, además, se determinó que la carboximaltosa férrica propició mayor biodisponibilidad de hierro a nivel sérico.

Palabras clave: Hierro, carboximaltosa férrica, hematología, lechones, crecimiento.

SUMMARY

The administration of exogenous iron to newborn piglets is a productive management strategy that prevents the onset of iron deficiency anemia. However, conventional administration can limit the bioavailability of this mineral during weaning of the newborn. Therefore, this study determined the effect of ferric carboxymaltose and iron dextran on the hematological values of piglets before and after weaning. This experiment was carried out at the “La Pampa” pig farm, located in the province of Manabí, in the canton of Jama. A total of 18 piglets of the same age were used. The T0 group was given 200 mg of iron dextran, the T1 group was given two doses of 200 mg of iron dextran with a 7-day interval between the first and second doses, and the T2 group was given 15 mg/kg of ferric carboxymaltose on the day of birth. In this experiment, the effect of these iron sources on productive variables, hematological variables before and after weaning, and the amount of serum iron in each research group was measured, applying a completely randomized block design (CRBD) with the help of SAS 9.4 software. Analysis of blood biometry before weaning, at 14 days of age, determined that the T0 neonates had normocytic normochromic anemia, with findings of $3.58 \times 10^{12}/L$ in RBC, 62.50 g/L in HGB, 0.2493 in HCT, 55.00 fL in VCM, and 19.50 pg in MCH, which were lower than the averages of the other groups. Blood counts after weaning in 28-day-old piglets determined that weaning affected the hematological values of the three experimental groups. However, the group that developed anemia was group T2, with criteria of microcytosis and hypochromia, which are related to iron assimilation deficiency. The 52-day-old neonates showed hematological values below the reference data in the RBC and HCT parameters in the study. However, it was not possible to categorize the presence of anemia in any of the three treatments, demonstrating greater erythrocyte compensation in this period. In the growth curve in relation to the live weight of the piglets, statistically significant differences were observed from the fourth week of life due to the effect of the treatments applied. In addition, it was determined that ferric carboxymaltose promoted greater iron bioavailability at the serum level.

Key words: Iron, ferric carboxymaltose, hematology, piglets, growth.

CAPÍTULO I.

1.1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la carne de cerdo es la proteína de origen animal que ocupa el segundo lugar en cuanto a consumo por habitante, siendo unas de las más consumida después de la carne de pollo, existen estimaciones aproximadas de que en un año se llegan a procesar 101 millones de toneladas, representando un 30% de la totalidad de carne total independientemente de la especie o su origen. En este contexto el continente de mayor producción de esta proteína animal es Asia con 45% de la producción total, seguido por Europa con un 27,1% y el continente norteamericano con un 18,5% la proporción restante es producida por países latinoamericanos (Cabras *et al.*, 2021).

A nivel Latinoamericano se reconoció 185 millones de cabezas porcinas, siendo Brasil, México, Colombia, Argentina y Perú los países de mayor concentración poblacional de animales, quienes suplieron el 81% del inventario en la región latinoamericana, se prevé que para el 2050 la demanda de carne porcina se duplicará o al menos crecerá en un 50%, por lo que es importante ser más eficientes en los sistemas de producción porcina, considerando puntos críticos en los procesos intensivos como el manejo en las fases de cría y recría (Bautista *et al.*, 2023).

En el Ecuador, la producción porcina es limitada a sistemas convencionales de tipo familiar, con pocas empresas registradas en actividad de producción intensiva, la distribución población es de 2.8 millones de cabezas registradas según los datos de los programas de vacunación de la fiebre aftosa, sin embargo, se ha observado aproximadamente 1 millón de animales en la región sierra cuyas zonas de mayor producción son las provincias de Cotopaxi, Chimborazo, Azuay, Loja. (Llangarí, 2021).

En las explotaciones porcinas el suministro de hierro exógeno en la pira joven es crucial ya que este es un micronutriente de suma importancia para el desenvolvimiento de diversas rutas metabólicas para mantener un balance entre los procesos homeoréticos y homeostáticos en una amplia gama de actividades biológicas (Sawhney *et al.*, 2023).

Este elemento se encuentra asociado a muchos procesos importantes como en el caso de la función de las células del sistema inmunitario. Las inmunoglobulinas, una clase de glicoproteínas producidas por células plasmáticas, desempeñan un papel crucial en la respuesta inmunitaria al reconocer y unirse a antígenos específicos. Así como las encargadas de regular su absorción, transporte, metabolismo y almacenamiento como la ferritina la cual destaca como la proteína primordial de almacenamiento de hierro (Männer *et al.*, 2021).

Los neonatos porcinos destetados experimentan un rápido crecimiento y necesitan una cantidad significativa de hierro para satisfacer las demandas del aumento en el volumen sanguíneo y la producción de glóbulos rojos (RBC). Dada la escasez de reservas corporales de hierro y el aumento de las necesidades de este mineral, los cerdos jóvenes son propensos a sufrir ferropenia (Ribeiro *et al.*, 2019).

Los porcinos deficientes en hierro pueden desarrollar anemia microcítica hipocrómica en las etapas iniciales de su vida, siendo particularmente sensibles a esta deficiencia por diversas razones. En primer lugar, durante la gestación, hay una mínima transferencia de hierro desde la cerda a su descendencia, lo que resulta en animales que nacen con reservas hepáticas muy bajas de este mineral. En segundo lugar, la leche de cerda contiene una cantidad insuficiente de hierro (aproximadamente 0,2 mg/100 ml) para satisfacer las necesidades diarias de los lechones (aproximadamente 10 mg/día) (Friendship *et al.*, 2021).

El hierro es absorbido en el intestino delgado, en la porción del duodeno, por dos mecanismos, bajo la acción de la reductasa de hierro unida a la membrana, la otra parte a través de proteína transportadora del hemo 1 (HCP1), por lo que la suplementación con hierro en los cerdos puede mejorar el desarrollo intestinal (Xing, et al., 2023).

La suplementación con hierro resultará en una reducción del número de cerdos que presentan signos subclínicos de anemia, tales como niveles bajos de hemoglobina (Hb), niveles bajos de hematocrito (Ht) y niveles bajos de hierro sérico libre. Además, los cerdos con anemia subclínica pueden exhibir una alta capacidad de unión del hierro (IBC) a la transferrina sérica, junto con una baja saturación de hierro (Dong *et al.*, 2020).

1.2. PROBLEMA

En las explotaciones porcinas existen diversas problemáticas vinculadas a las primeras fases de vida concernientes a la biodisponibilidad del hierro ya que durante el periodo postnatal en la pira joven este micronutriente es crucial debido a la alta demanda ocasionada por el rápido y exponencial crecimiento y desarrollo, este problema posee diversas causas de tipo multifactorial, en donde, la leche materna de la cerda proporciona cantidades insuficientes de hierro para satisfacer las necesidades diarias de los lechones en crecimiento, lo que los deja dependiendo de las escasas reservas de hierro al nacer. Sin un suplemento de hierro externo, los neonatos porcinos sufren rápidamente deficiencia de hierro, un trastorno nutricional grave en sistemas modernos de cría intensiva.

La deficiencia de hierro es una de las principales causas de anemia por deficiencia de hierro, también denominada anemia microcítica hipocrómica o ferropénica, que en porcinos lactantes provoca diversos problemas metabólicos, como el deterioro de la respuesta inmunitaria lo que podría conducir a un aumento en la susceptibilidad a infecciones, retraso en el crecimiento en cerdos, que aumenta de forma significativa los índices de morbilidad y por ende de mortalidad.

La eficacia del hierro se ve obstaculizada por la expresión baja de transportadores duodenales en los neonatos, asimismo, el tratamiento oral con hierro puede estar limitado por efectos secundarios gastrointestinales, tales como, vómitos, dolor abdominal, desequilibrio en el microbioma intestinal que conlleva a diarrea en los lechones, adicionalmente, existe el riesgo de reacciones de hipersensibilidad el cual es un factor importante al elegir la formulación de hierro. Estas reacciones pueden incluir síntomas cardiovasculares, respiratorios, gastrointestinales y cutáneos.

La preocupación por la deficiencia de hierro y las repercusiones subyacentes en la biodisponibilidad, resalta la importancia de investigar el impacto de las diferentes fuentes exógenas de hierro en la caracterización de las alteraciones metabólicas, así como su efecto sobre la salud y rendimiento productivo en suinos lactantes, por lo que en el presente estudio se evaluó la administración de carboximaltosa férrica y hierro dextrano sobre los valores hematológicos en lechones antes y después del destete.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Determinar el efecto de carboximaltosa férrica y hierro dextrano en los valores hematológicos de lechones antes y después del destete.

1.3.2. Objetivos específicos

Aplicar 15 mg/kg de carboximaltosa férrica y un esquema de una y dos dosis de 200 mg de hierro dextrano en lechones.

Medir el efecto de los diferentes tratamientos sobre los valores hematológicos en lechones antes y después del destete.

Evaluar la curva de crecimiento de los lechones hasta los 60 días de experimentación en cada uno de los tratamientos planteados.

1.4. HIPÓTESIS

Ho: No existe efecto de la administración de carboximaltosa férrica y hierro dextrano sobre los valores hematológicos en lechones antes y después del destete.

Hi: Existe efecto de la administración de carboximaltosa férrica y hierro dextrano sobre los valores hematológicos en lechones antes y después del destete.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. El hierro en la nutrición del lechón

El hierro es un micronutriente sumamente importante, el cual se encuentra niveles bajos afecta gravemente algunas funciones vitales, entre las destacan su crecimiento normal entre otros síntomas indeseables, principalmente afecta al cerdo reduciendo la capacidad de resistir diversas patologías, este compromiso radica en fallos a nivel de la inmunidad celular, inmunidad humoral e inespecífica (Gao *et al.*, 2025).

La falta de este mineral es prevalentemente la principal etiología de anemias de tipo ferropénicas en los lechones, en donde es común encontrar bajos recuentos de glóbulos rojos y la deficiente síntesis y agregación de hemoglobina con características celulares microcíticas e hipocrómicas, la consecuencia de esta carencia mineral además conlleva a otras repercusiones relacionadas con las funciones mitocondriales necesarias para síntesis, reparación y transcripción del ADN entre otras reacciones enzimáticas necesarias para las diversas divisiones celulares. La cantidad de hierro en la leche materna de la cerda es limitada, así como las reservas propias del hígado de los neonatos por lo que conlleva a la necesidad de la administración de hierro de forma exógena (Ma *et al.*, 2022).

Las aplicaciones empíricas pueden ocasionar disturbios relacionados con aplicaciones con niveles séricos excedentes de hierro generalmente inducen daños histológicos principalmente en órganos de parénquima activo como el hígado, corazón y páncreas, en cerdos con hemocromatosis es común observar disturbios sistémicos por causa de daño orgánico específico. La mayoría de condiciones que sobrecargan el hierro derivan en procesos eritropoyéticos ineficientes y acumulación secundaria de hierro como las talasemias y otros trastornos de tipo metabólico a razón de los eritrocitos (Sawhney *et al.*, 2023).

2.2. Metabolismo celular del hierro

El hierro es reconocido nutricionalmente como un componente mineral indispensable ya que interviene directamente sobre la regulación de algunos procesos biológicos de importancia, la principal actividad conocida y relacionada

con el hierro es la conformación de algunas proteínas como la hemoglobina y mioglobina que sustentan el transporte de oxígeno y dióxido de carbono para un adecuado intercambio gaseoso y buenos niveles de nutrición celular. Los eritrocitos son reconocidos como las células más abundantes en circulación sanguínea, su renovación es una de las producciones celulares más importantes a nivel orgánico, su generación involucra la síntesis de sustancias funcionales como la hemoglobina cuya cantidad sintetizada dependerá en gran parte a los estímulos eritropoyético y la generación de glóbulos rojos por parte de las células madres eritroides a nivel de la médula ósea (Perng , et al., 2020).

Los glóbulos rojos (RBC) se originan a partir de progenitores comprometidos con el linaje durante la eritropoyesis, un proceso altamente regulado. Durante la fase definitiva de la eritropoyesis, las células madre hematopoyéticas dan origen a progenitores de unidades eritroides formadoras de estallidos (BFU-E), los cuales se desarrollan hacia células eritroides formadoras de colonias (CFU-E). Estos progenitores CFU-E generan proeritroblastos que, a su vez, evolucionan a formas basófilas, policromatófilas y ortocromáticas alrededor de un "macrófago nodriza" central dentro de un nicho extravascular llamado isla eritroblástica (Qui *et al.*, 2020).

En el proceso de formación y generación eritrocitaria existen diversas eventualidades críticas, clásicamente en los estadios preformados o inmaduros de los eritrocitos ocurre la pérdida del núcleo, su consecuencia es el paso de fase a reticulocitos conocido como un estadio temprano de un eritrocito funcionalmente activo y maduro, este evento es extremadamente dependiente del hierro biodisponible almacenado o reciclado de la apoptosis y fagocitosis eritrocitos no funcionales o a su vez, de eritrocitos senescentes (Kopec *et al.*, 2024).

La suplementación de hierro en la alimentación equilibra las pérdidas de hierro, causadas por el aumento de la demanda en el organismo, a su vez, por causas patológicas o traumáticas como una hemorragia, la demanda de este nutriente durante la gestación de la cerda, las etapas tempranas del neonato, bajas reservas corporales, las condiciones ambientales como el estrés oxidativo, son condiciones contraproducentes en el estado de salud general del lechón (Lindhholm *et al.*, 2021).

2.2.1. Translocación de hierro a las células eritroides.

La adquisición de cantidades significativas de hierro por parte de las células eritroides depende en gran medida de la transferrina (Tf). La Transferrina es una glicoproteína que cuenta con dos sitios de alta afinidad por el hierro (Fe III), lo que facilita la disponibilidad del metal en la circulación al tiempo que previene la formación de radicales tóxicos y restringe el acceso del hierro a patógenos invasores, los cuales también requieren hierro para sobrevivir. En individuos sanos, la Transferrina suele estar saturada con hierro con un 30% (Rydal *et al.*, 2021).

Componentes activos en el metabolismo del hierro pueden constituirse de esta molécula mineral, estos a su vez pueden servir como una fuente de reciclaje de hierro, y servir funcionalmente en la incorporación de este micronutriente a los eritroblastos a nivel de la médula ósea, una cadena de eventos orquestan el metabolismo y asimilación del hierro, en donde, la transferrina con incorporación de 2 moléculas férricas son sensibles y extremadamente específicas al sitio de unión TFR1 o CD71 eritrocítica, que promueve su incorporación intracelular en los glóbulos rojos, donde se induce una reducción de la forma férrica a ferrosa para poder disponibilizarse en el citosol y cumplir su función a posterior en la biología eritroblástica (Caverzan & Ibarra, 2024).

Además de la transferrina, las células eritroides también pueden adquirir hierro de otras maneras. Por ejemplo, la ferritina liberada por los macrófagos puede ser captada por los eritroblastos mediante pinocitosis y promover su diferenciación, incluso en ausencia de transferrina. Sin embargo, la adquisición de hierro eritroide *in vivo* requiere el ciclo de la transferrina, ya que se desarrolla una anemia profunda por deficiencia de hierro en cerdos con atransferrinemia. La importancia de la absorción de hierro a través de la Transferrina diférrica (Tf-Fe₂) para la eritropoyesis se subraya aún más por el hecho de que la deficiencia parcial o total de otras moléculas implicadas en el ciclo endocítico de la Transferrina también puede provocar anemia (Candelaria *et al.*, 2021).

Además de su papel en la captación de hierro, el receptor TFR1 también desempeña funciones en la señalización intracelular. Se ha observado que mutaciones en TFR1 pueden afectar selectivamente a células B y T en comparación con células

eritroides, o pueden tener un impacto independiente de su función habitual de unión a Tf-Fe²⁺. En los eritroblastos, la unión de inmunoglobulinas del isotipo A1 a TFR1 puede potenciar los efectos de la eritropoyetina (EPO) sobre el desarrollo eritroide. (Candelaria *et al.*, 2021).

Las funciones de señalización de TFR1 también pueden ser importantes para mantener la integridad del epitelio intestinal y pueden explicar por qué los ratones sin TFR1 tienen un fenotipo más grave que los animales atranferrinémicos. TFR2, un homólogo de TFR1, tiene una menor afinidad por la Tf y no contribuye significativamente a la importación de hierro. En cambio, TFR2 actúa como un sensor de la saturación de Tf y modula la señalización del receptor de EPO en eritroblastos y regula la expresión de hepcidina en hepatocitos. Cuando la cantidad de hierro excede la capacidad de unión de la Tf, el hierro no ligado a la Tf se acumula en el plasma y en las células parenquimatosas (Mleczko-Sanecka & Silvestri, 2021).

2.2.2. Utilización celular del hierro.

Dentro de las mitocondrias, el hierro se utiliza para formar el grupo hemo al conjugarse con la protoporfirina IX (PPIX). Posteriormente, el hemo se exporta al citoplasma a través de la isoforma mitocondrial, donde se incorpora a la hemoglobina y otras hemoproteínas. Aunque el proceso de tráfico y entrega del hemo a las proteínas diana aún no está completamente entendido (Lemon & Marletta, 2021).

El hierro también se dirige a proteínas de estructura específica, probablemente con la ayuda de la frataxina (FXN), para la síntesis de nuevos de grupos de Fe-S, los cuales luego se insertan en sus apoproteínas correspondientes. Sin embargo, la FXN puede tener funciones adicionales independientes del metabolismo del hierro. La síntesis de grupos Fe-S y la maduración de las proteínas que los contienen son procesos complejos que ocurren tanto en las mitocondrias como en el citoplasma. Cabe destacar que la ferroquelatasa (FECH), la enzima terminal en la síntesis del hemo responsable de la metilación de PPIX, es en sí misma una proteína que contiene el grupo Fe-S (Merlot *et al.*, 2024).

2.2.3. Exportación del hierro

Las células exportan hierro elemental en su estado ferroso a través de la ferroportina (FPN, también conocida como SLC40A1). Esta proteína es particularmente abundante en células encargadas de mantener los niveles plasmáticos de hierro, como los enterocitos duodenales, los macrófagos y los hepatocitos. Además, la FPN parece desempeñar un papel importante en el control local del hierro por parte de células que no contribuyen al hierro plasmático, como los cardiomiocitos (Nemeth & Ganz, 2021).

Aunque la FPN transporta hierro ferroso, su exportación eficiente requiere su oxidación extracelular. Se conocen tres oxidasas de hierro multicobre con distintos patrones de expresión: la ceruloplasmina (CP), la hefestina (HEPH) y la zyklopen (HEPHL1). La deficiencia de CP y/o HEPH provoca retención celular de hierro y anemia restringida de hierro en cerdos y/o ratones. Zyklopen se expresa en células placentarias y se cree que desempeña un papel en el suministro de hierro al feto (Nemeth & Ganz, 2021).

A pesar de que las células eritroides requieren grandes cantidades de hierro para la síntesis del hemo, expresan paradójicamente la FPN. Aún no se comprende si la exportación de hierro ayuda a eliminar el exceso de hierro durante el desarrollo eritroide y/o participa en el mantenimiento de los niveles plasmáticos de hierro para prevenir la deficiencia de hierro en otros tejidos.

2.2.4. Almacenamiento del hierro

El hierro del conjunto de hierro lábíl que no se utiliza ni se exporta se almacena dentro de un heteropolímero citosólico formado por 24 subunidades de cadenas de ferritina pesada (FTH1) y ligera (FTL). Estas proteínas son ubicuas, pero sus proporciones de expresión varían entre tejidos y en respuesta a condiciones fisiológicas (Conway & Henderson, 2022).

La FTH1 muestra la actividad ferroxidasa necesaria para la mineralización del hierro en la microjaula de ferritina, cada una de las cuales puede acomodar hasta 4.500 átomos de hierro, mientras que la cadena ligera, enzimáticamente inactiva, promueve la transferencia de electrones a través de la capa proteica del polímero (Plays *et al.*, 2021).

La ferritina almacena hierro en una forma no tóxica y contribuye a la biodisponibilidad intracelular del hierro. La retención de hierro en la ferritina puede inhibir el paso del hierro a través de los enterocitos absorbentes y activar la vía de señalización HIF dependiente de hierro y O₂ incluso en condiciones normóxicas.

El hierro secuestrado en ferritina constituye un almacén que puede movilizarse mediante la degradación de la ferritina. En las células con deficiencia de hierro, NCOA4 (coactivador del receptor nuclear 4) interactúa con FTH1 y se dirige al complejo de ferritina para su degradación en autolisosomas, un proceso llamado "ferritinofagia" (Santana-Codina *et al.*, 2021).

2.2.5. Absorción del hierro

La ausencia de una excreción regulada de hierro por parte del hígado o los riñones significa que los niveles corporales de hierro están controlados exclusivamente por la absorción intestinal de hierro. Se han identificado los transportadores intestinales de hierro responsables después de los estudios ferrocinéticos iniciales. En situaciones de deficiencia grave de hierro, la absorción de hierro puede aumentar hasta 15 veces. El hierro no hemo presente en la dieta, generalmente en forma férrica (Fe(III)), es reducido por la ferrireductasa Dcytb a hierro ferroso (Fe(II)) para su transporte a través de la membrana apical de los enterocitos, principalmente a través de DMT1. La regulación de la transferencia de hierro por los enterocitos involucra a la ferritina. La ferroxidasa transmembrana hefestina se localiza con FPN y oxida Fe (II) a Fe (III), que luego se une a la transferrina sérica. Aunque ahora se comprende con cierto detalle la absorción intestinal del hierro no hemo (Dutt *et al.*, 2022).

La mayor parte del hierro requerido para la eritropoyesis es reciclada por los macrófagos a partir de los glóbulos rojos envejecidos o dañados. Si el reciclaje no puede satisfacer la demanda, se libera el hierro almacenado en los hepatocitos. Por otro lado, cuando el hierro sérico no se utiliza para la eritropoyesis, se almacena en el hígado para su uso futuro. El depósito de hierro en el hígado puede variar fisiológicamente entre 300 mg y 1 g. Los hepatocitos pueden captar el hierro unido a la transferrina a través de TFR1 y almacenarlo unido a la ferritina. Según la demanda, el hierro almacenado se libera de los hepatocitos (Estienne *et al.*, 2022).

Cuando los niveles séricos de hierro exceden la capacidad de amortiguación de la transferrina en aproximadamente un 60% de saturación, aparece hierro no unido a la transferrina. El hierro no unido a la transferrina se importa a los hepatocitos a través de SLC39A14 (miembro 14 de la familia de transportadores de solutos 39, también conocido como ZIP14) (Williams *et al.*, 2021).

2.2.6. Relación de la inflamación con las ferropenias

La anemia de la inflamación es un trastorno adquirido multifactorial de la homeostasis del hierro que está asociado con infecciones, neoplasias malignas y otras causas de inflamación. Las causas de estas anemias, que van desde leves a moderadas, son multifactoriales e incluyen una capacidad proliferativa disminuida de las células progenitoras eritroides y la eliminación de hemoproteínas que contienen hierro de la circulación. Una característica importante de esta enfermedad es la retención de hierro dentro de los macrófagos debido a una disminución en la exportación de hierro (Muniyappan & Kim, 2023).

Durante la inflamación, se inducen niveles elevados de hepcidina en plasma a través de la vía de la interleucina (IL)-6/STAT3, lo que provoca la degradación de la ferroportina. Otras citocinas como la IL-1 β y la activina-B también están involucradas en este proceso. Esta vía inflamatoria depende de la integridad de la señalización SMAD inducida por miembros de la superfamilia del factor de crecimiento transformante β (TGF β) (Cappellini *et al.*, 2020).

Además, la inflamación induce la producción de proteínas que secuestran y reubican el hierro, limitando así su disponibilidad para la eritropoyesis. Estas proteínas incluyen lactoferrina, lipocalina 2, haptoglobina y hemopexina. La hipoferremia resultante limita el hierro como factor de crecimiento crítico para la proliferación microbiana. Además, los niveles más bajos de hierro sérico pueden permitir que la transferrina se una al hierro no unido a transferrina, que se libera durante la lesión tisular y la hemólisis, evitando así la proliferación de patógenos y el daño tisular. La hipoferremia puede convertirse en anemia si la condición inflamatoria persiste y los hepatocitos pierden hierro (Cappellini *et al.*, 2020).

2.3. Hematología del lechón

Para una evaluación hematológica óptima se prefieren el anticoagulante EDTA y una tinción tipo Romanowsky. Debido a que los glóbulos rojos porcinos son relativamente frágiles, el exceso de turbulencia o el manejo inadecuado de la muestra a menudo resultan en hemólisis. Los valores de hemograma de rutina, excepto el recuento diferencial de células, son estables a 2 °C o 4 °C durante 36 horas, mientras que el recuento diferencial de leucocitos se vuelve menos confiable dentro de las 12 horas posteriores a la recolección (Thorn *et al.*, 2022).

2.3.1. Eritrocitos

Los glóbulos rojos en cerdos muestran un rango de diámetro de 4 a 8 μm , con una medida promedio de 6,0 μm . La presencia común de crenación espinosa y la formación de rouleaux se observa en esta especie, aunque la palidez central no es una característica uniforme en todas las células. La anisocitosis, la variabilidad en el tamaño de los glóbulos rojos, se nota tanto en cerdos adultos como en jóvenes, si bien es más evidente en los ejemplares más jóvenes. En la sangre de cerdos jóvenes, se encuentra una abundancia de células policromáticas grandes, así como glóbulos rojos nucleados y cuerpos de Howell-Jolly (Zhang *et al.*, 2022).

El glóbulo rojo porcino exhibe una notable susceptibilidad a la hemólisis cuando se expone a soluciones salinas hipotónicas, mostrándose más frágil en comparación con el de otras especies. Se observa un patrón bimodal en los glóbulos rojos porcinos, siendo las poblaciones adultas y fetales más resistentes a la lisis que los glóbulos rojos de cerdos destetados. La resistencia a la lisis osmótica está influenciada por factores como la temperatura, el pH y el tiempo de exposición. Además, la velocidad de sedimentación es más rápida en los glóbulos rojos porcinos en comparación con la de otros animales domésticos (Oven *et al.*, 2021).

2.3.2. Leucocitos

Los glóbulos blancos en cerdos suelen mostrar una morfología similar a la observada en otros mamíferos domésticos. El neutrófilo maduro presenta un diámetro que oscila entre 12 y 15 μm , caracterizado por una membrana nuclear de contorno irregular y una cromatina moderadamente densa con lóbulos claramente definidos. Su citoplasma, tenido en tonos de rosa pálido o azul, puede albergar

algunos gránulos de color rosa a púrpura. Los neutrófilos en banda poseen un núcleo con forma de U, pero por lo demás exhiben similitudes con la forma madura. En individuos sanos, es posible encontrar un número reducido de estas células en forma de banda (Cincovic *et al.*, 2020).

Los linfocitos son la principal célula presente en la sangre periférica de cerdos. Los linfocitos de tamaño pequeño presentan un diámetro que varía entre 7 y 10 μm , caracterizados por un núcleo redondo u ovalado con cromatina densamente empaquetada y un pequeño margen de citoplasma de tonalidad azul pálido. Por otro lado, los linfocitos de tamaño grande tienen un diámetro que oscila entre 11 y 15 μm . En estos, el patrón de cromatina es más difuso y menos intenso en comparación con los linfocitos pequeños. Se observa un citoplasma ligeramente más abundante, teñido de azul pálido. Los linfocitos de tamaño grande pueden contener gránulos azurófilos, similares a los encontrados en otras especies de mamíferos (Willians *et al.*, 2020).

Los monocitos presentan un diámetro que oscila entre 14 y 18 μm y exhiben un núcleo contorneado en forma de herradura o de frijol. La cromatina nuclear muestra una disposición reticular, frecuentemente con áreas más densas o agrupadas. El citoplasma, de tonalidad gris azulada, es abundante y puede contener vacuolas. Algunos monocitos pueden presentar dificultades para ser distinguibles de un linfocito grande o de un neutrófilo inmaduro y tóxicos (Deng *et al.*, 2021).

Los eosinófilos presentan una dimensión similar a la de los neutrófilos, sin embargo, los gránulos citoplasmáticos, que son de forma redonda u ovalada, adquieren una coloración que varía de un tono naranja pálido a rosa, y tienden a ocupar gran parte del citoplasma. Los núcleos de los eosinófilos tienen una segmentación deficiente y pueden aparentar ser inmaduros. La coloración del núcleo basófilo varía de lavanda a púrpura oscuro y su patrón de cromatina es uniforme. Los gránulos citoplásmicos basófilos adoptan una forma que va desde cocoides hasta mancuernas y se tiñen de manera similar (Thorn *et al.*, 2022).

2.3.3. Plaquetas

Las plaquetas en cerdos exhiben variabilidad en su forma y tamaño, típicamente son pequeñas, con un diámetro que oscila entre 1 y 3 μm y un volumen medio que

varía entre 6,9 y 8,9 fL, aunque se ha reportado un rango ligeramente mayor de 8,4 a 9,75 fL según Pliszczak-Król. Carecen de núcleo y presentan gránulos citoplasmáticos de color púrpura intenso, siendo comunes los grumos. Se ha documentado que el índice de plaquetas en cerdos se sitúa entre 0,009 y 0,395 % (Gourley *et al.*, 2020).

La coagulación de la sangre sin anticoagulante en cerdos es rápida. Las pruebas de coagulación y los análisis de función plaquetaria en cerdos rara vez se emplean en contextos clínicos. Kosterling registró un tiempo de protrombina de 14,7 segundos en cerdos domésticos adultos de la raza Hannover. Pliszczak-Król reportó resultados similares de 12,2 a 16,3 segundos en cerdos de 24 semanas de edad. El tiempo de trombina varía entre 16,7 y 24,5 segundos. El tiempo de tromboplastina parcial activada muestra un patrón bifásico, siendo relativamente breve antes de la semana 5 de edad (17,8 a 19,9 segundos) y posteriormente aumenta significativamente (28,7 a 52,5 segundos) (Oven *et al.*, 2021).

2.4. Factores que afectan en el hemograma

Diversos factores pueden influir en la interpretación del hemograma, como la edad, el género, el estado fisiológico, la época del año, la alimentación y las condiciones ambientales. Los lechones recién nacidos muestran un alto valor de hematocrito. Durante la primera semana de vida, se observa una disminución del 30% en el recuento de glóbulos rojos y una reducción del 38% en la masa eritrocitaria debido al incremento en el volumen plasmático derivado de la absorción de calostro, el volumen sanguíneo en cerdos jóvenes es máximo al nacer y disminuye con la edad (Thorn *et al.*, 2022).

Muchos cambios en los glóbulos rojos tienen lugar después del nacimiento. A los pocos días de edad, el número de eritrocitos y la concentración de hemoglobina (Hgb) disminuyen entre un 30 y un 38% después de la expansión del volumen plasmático. El tamaño de las células aumenta poco después del nacimiento, disminuye a su volumen más pequeño entre los 2 y 6 meses de edad y luego aumenta nuevamente hasta alcanzar el tamaño adulto. En los lechones lactantes, son comunes los recuentos de reticulocitos del 3 al 8% y los recuentos de eritrocitos nucleados del 5%. Estos disminuyen a medida que el cerdo madura. Se presentan

los cambios en los parámetros hematológicos de lechones paridos y mantenidos en concreto durante 10 días y luego transferidos al exterior al suelo. En la sangre de cerdos jóvenes normales se observan a menudo policromasia, cuerpos de Howell-Jolly, crenación, rouleaux y poiquilocitos. El recuento de glóbulos rojos y la concentración de Hgb aumentan hasta alcanzar los niveles adultos alrededor de los 5 meses de edad (Deng *et al.*, 2021).

En el momento del nacimiento, los neutrófilos constituyen aproximadamente del 60% al 85% de los glóbulos blancos (GB), los linfocitos representan solo alrededor del 20%, en las primeras dos semanas tras el nacimiento, la cantidad de neutrófilos disminuye mientras que la de linfocitos aumenta del animal (Deng *et al.*, 2021).

El número de leucocitos aumenta durante las primeras 12 horas de nacimiento. Rolinec informó una media de $5,26 \times 10^3$ leucocitos/ μl al nacer; esto aumentó a un promedio de $10,82 \times 10^3$ leucocitos/ μl a las 12 horas, pero con un intervalo muy amplio ($6,36$ – $17,74 \times 10^3$ leucocitos/ μl). Los leucocitos del calostro aparecen en la sangre entre 5 y 7 horas después de la ingesta de calostro⁷. Al nacer predominan los neutrófilos con menos linfocitos. A las 12 horas, debido a la ingesta de calostro, la proporción se invierte y la mayoría de las células son linfocitos. El número absoluto de linfocitos tiene un intervalo grande a las 12 horas ($2,39$ – $17,47 \times 10^3$ μL) y se ve afectado por muchos factores, como la edad al destete, las enfermedades, la nutrición, el estrés, el estatus social y la vivienda. Es posible que algunos animales individuales aparentemente sanos no presenten una reversión de neutrófilos:linfocitos hasta una semana de edad. El recuento total de leucocitos disminuye poco después del nacimiento y luego aumenta aproximadamente en la quinta semana de vida (Willians *et al.*, 2020).

En términos generales, los leucocitos en cerdos muestran similitudes con los de otras especies en respuesta a procesos infecciosos. La presencia de neutrofilia, típicamente acompañada de una desviación a la izquierda, es indicativa de infecciones bacterianas en estos animales. Al igual que en otras especies, la endotoxemia desencadena una serie de mediadores bioquímicos en cerdos, resultando en cambios cardiovasculares y hematológicos notables. La infusión de

endotoxina, como el lipopolisacárido, provoca alteraciones en el hemograma porcino, como granulocitopenia y trombocitopenia (Muniyappan & Kim, 2023).

Usualmente, la endotoxemia se asocia con hemoconcentración, leucocitopenia y trombocitopenia en cerdos. En enfermedades virales, se observa una disminución en el recuento de glóbulos blancos debido a la granulocitopenia, y en casos graves pueden aparecer neutrófilos inmaduros en la sangre periférica. En cerdos de edad avanzada, es común encontrar diversas formas de neoplasia. Por ejemplo, los linfomas y linfosarcomas pueden incrementar el recuento de leucocitos al aumentar el número de linfoblastos y linfocitos poco diferenciados en la circulación (Cincovic *et al.*, 2020).

El número de plaquetas es variable y fluctúa marcadamente en las primeras horas y semanas de vida, pero se mantiene dentro del intervalo de referencia informado de 211 a $887 \times 10^9/L$. Después de las 24 semanas de edad, el número de plaquetas se estabiliza en aproximadamente 400 a $450 \times 10^9/L$. El volumen medio de plaquetas tiende a aumentar de forma insignificante durante las primeras 12 horas de vida, pero se estabiliza rápidamente después de eso (Cincovic *et al.*, 2020).

La rápida tasa de crecimiento de los cerdos jóvenes impone una gran demanda de hierro que no puede satisfacerse únicamente con leche. A menos que se proporcione hierro suplementario, los lechones desarrollan una anemia microcítica grave, desde normocítica a hipocrómica. Se recomienda el contacto temprano con el suelo o la inyección intramuscular de hierro dextrano (Lindholm *et al.*, 2021).

La recuperación espontánea se produce alrededor de la quinta semana de vida, cuando los cerdos comienzan a obtener nutrientes de otras fuentes. El efecto de los niveles bajos de hierro sobre los recuentos de leucocitos es variable; sin embargo, los lechones con deficiencia de hierro tienen una inmunocompetencia menos desarrollada (Lindholm *et al.*, 2021).

Los cambios hematológicos ocurren durante el embarazo, el parto y la lactancia. Aproximadamente 2 semanas antes del parto, los valores de glóbulos rojos disminuyen y permanecen bajos hasta el final de la lactancia. Durante este período se pueden observar reticulocitos. El número total de leucocitos disminuye durante la gestación y se ha documentado anemia durante el embarazo. La neutrofilia, la

desviación hacia la izquierda y la linfopenia a menudo ocurren durante el parto, probablemente debido a los corticosteroides endógenos. Dentro de las 24 horas posteriores al parto, la proporción neutrófilos, linfocitos (Veloso *et al.*, 2023).

2.5. Referenciales hematológicos en cerdos

Se han publicado muchos intervalos de referencia para sangre porcina, pero no cumplen con las pautas de la Sociedad Estadounidense de Patología Clínica Veterinaria. Aunque son comparables, los rangos para la mayoría de los elementos de la sangre porcina son bastante amplios. La variabilidad ocurre con la edad, raza, tasa de crecimiento, dieta, edad, etapa de gestación o lactancia, método de alimentación, prácticas de manejo o temporada (Chevalier *et al.*, 2023).

La interpretación de los datos de hematología porcina requiere la consideración de estos factores de partición; sin embargo, la mayoría de las diferencias sexuales no son biológicamente importantes (Zhang *et al.*, 2022).

Tabla 1.

Referenciales hematológicos en lechones de acuerdo a los días de vida.

Días	Valores	RBC ($\times 10^6/\mu\text{L}$)	HB (g/dL)	PC V (%)	MC V (fL)	MCH C (%)	MC H (pg)	Reti . (%)	WBC ($\times 10^3/\mu\text{L}$)
1	Max.	6.4	12.3	42.5	71	31.3	21	10	15.3
	Min.	4.3	8.4	27	57	28.9	18	4.5	7.6
	Media.	5.3	10.5	35	67	30.5	20	6.5	11.5
3	Max.	5.2	11	36.5	81	30.3	24	16.6	13.4
	Min.	3.3	7.8	26.5	70	29.1	21	6.9	6.3
	Media.	4.5	9.8	33	73	29.5	22	12	9.4
6	Max.	4.7	9.4	31	74	30.9	23	13	10.5
	Min.	3.4	6.4	22	60	26.4	17	4.5	7.4
	Media.	4	8	26.7	67	29.1	20	7.7	8.2
10	Max.	4.3	8.7	20	78	31	24	12	19.1
	Min.	2.1	4.2	15	62	29	19	6	5.6

	Media.	3.5	7	24.4	68	29.6	20	10	10.9
20	Max.	5.3	11.2	40.5	82	29	23	13	10.5
	Min.	4.4	9	35.5	70	26	19	9	6.2
	Media.	4.9	10.2	37	76	27.6	21	10.6	7.7
36	Max.	6.8	13.3	44	68	32	20	6.8	20.9
	Min.	5.9	11.3	37	62	28	18.8	1.6	12.7
	Media.	6.2	12.1	39.7	64	30.5	19.3	3	16.3

Fuente: (Thorn *et al.*, 2022).

Tabla 2.

Valores hematológicos en lechones en los días 1 al 21.

Análisis	Día 1		Día 21	
	Media	Rangos	Media	Rangos
WBC	11.20	3.60-33	12.62	3.42-38-94
RBC	3.89	2.15-5.80	5.49	3.04-7.65
HB	75.18	28-106	104.90	42.92-153.92
HCT	25.42	13.90-35.85	37.39	18.39-54.49
MCV	65.20	57.50-73.70	73.76	64.79-85.10
MCH	21.72	17.10-26.80	25.16	20.70-31.36
MCHC	324.81	272-380	372.38	307.36-446.50

Fuente: (Cincovic *et al.*, 2020).

Los lechones a medida que avanza su edad su sistema hematológico empiezan a estabilizarse, el mismo que se ve afectado por la deficiencia de hierro, lo que dificulta la supervivencia del lechón en los primeros días (Cincovic *et al.*, 2020).

2.6. Influencia del hierro sobre los valores hematológicos

En algunos experimentos investigaron el efecto de las diferentes dosis de hierro dextrano sobre los parámetros hematológicos en lechones antes y después del destete en donde encontró que; los cerdos que no recibieron inyecciones de hierro tenían los niveles más bajos de Hb (hemoglobina) en todos los momentos de muestreo, excepto en el día 52 cuando mejoraron. Se notó que tanto la cantidad de hierro como el tiempo afectaban las concentraciones de Hb. Las dosis de 50 y 100 mg de hierro alcanzaron su punto máximo en el día 6, mientras que las de 200 y 300 mg lo hicieron en el día 17. Además, otras medidas como HCT, RBC, WBC, MCV, MCH y MCHC también se vieron afectadas por la dosis de hierro, mostrando una recuperación gradual en diferentes momentos del estudio. Los cerdos que no recibieron hierro tuvieron los valores más bajos de HCT y RBC durante todo el experimento (Chevalier *et al.*, 2021).

2.7. Anemia ferropénica.

Las anemias ferropénicas son un consecuencia de la deficiencia en la asimilación de hierro o a su vez, por bajos niveles de consumo de este mineral, cuando las necesidades diarias superan a lo que el animal puede llegar a consumir se desencadenan alteraciones de tipo anémico caracterizados por proporciones insuficientes de hemoglobina a nivel del eritrocito que a su vez, incurre en hipoxemia generalizada con repercusiones severas en tejidos órganos muy dependientes del oxígeno, compromiso del performance (Mazgaj *et al.*, 2021).

En los cerdos jóvenes la relación entre la asimilación y absorción de hierro es un proceso que puede ser crítico, especialmente cuando el requerimiento es superior a los niveles suplidos de este mineral, cuando ocurre una disminución severa de este nutriente se puede observar alteraciones hematopoyéticas relacionadas con cuadros de anemias, en donde los valores absolutos de eritrocitos generalmente son bajos, además, de características celulares de microcitosis e hipocromía, acompañados de una menor proporcionalidad hemoglobina dentro del eritrocito, patrones que aumentan considerablemente el riesgo de muerte de la pira (Abbas *et al.*, 2022).

Las variables hematológicas se consideran una herramienta importante para los productores porcinos y están cada vez más integradas en la monitorización sanitaria

regular en las explotaciones porcinas, especialmente con la genética hiperprolífica actual. A menudo, el cribado se centra en la evaluación de la hemoglobina (Hb) en lechones al destete, pero rara vez se tiene en cuenta la Hb de las cerdas. Sin embargo, los niveles de Hb y el porcentaje de lechones anémicos al nacer podrían estar asociados con la Hb de las cerdas en el parto, por lo que tener conocimiento sobre el estado de los animales reproductores podría ser beneficioso. Se ha observado que el riesgo de aumento de mortinatos se asocia negativamente con los niveles de Hb y otros parámetros hematológicos de las cerdas, especialmente en los animales de mayor paridad (Costa *et al.*, 2023).

La formación de oxihemoglobina por el hemo y el oxígeno presente en la sangre se interrumpe considerablemente debido a la anemia. Este complejo es esencial para el transporte de oxígeno a los músculos y tejidos, así como para diversos procesos metabólicos. El nivel de actividad y productividad de una granja porcina se ve afectado por la anemia, lo que repercute en la productividad y los indicadores económicos en general. La anemia ferropénica (AIF) puede causar pérdida de peso e infecciones respiratorias e intestinales frecuentes. El efecto más crítico de la anemia es el deterioro del desarrollo del comportamiento y de las habilidades psicomotoras. Cuando hay deficiencia de hierro, la respuesta inmunológica mediada por células como los linfocitos T se ve afectada. Esto, a su vez, se debe a la reducción de la síntesis de ADN, que depende de la función del ribonucleótido reductasa. Dicha enzima requiere hierro para su función (Derkach, 2021).

2.7.1. Fisiopatología de la anemia por deficiencia de hierro

La anemia se caracteriza por una reducción en la concentración de hemoglobina (Hb), el recuento de glóbulos rojos o el volumen celular empaquetado, lo que conlleva un deterioro funcional para satisfacer la demanda de oxígeno en los tejidos. La concentración de Hb en la sangre depende en gran medida de características fisiológicas como la edad, el sexo y el estado de gestación. Otros factores que afectan a la concentración de Hb en la sangre incluyen factores ambientales como la altitud, entre otros (Gromova *et al.*, 2025).

El déficit eritrocitario, los bajos niveles de hemoglobina y la proporción del hematocito definen un cuadro anémico en cerdos jóvenes, aunque es inespecífico

establecer un cuadro anémico en función a estos parámetros, por lo que es necesario considerar otros criterios de inclusión en base a las características celulares de los eritrocitos, como el tamaño (Babu *et al.*, 2025).

Nutricionalmente se debe suplir el requerimiento diario a partir de la ingesta dietética de hierro. Por lo tanto, su metabolismo dependerá si esta es hemo o de tipo no hemo, Siendo asimilable en mayor medida el hierro hemo cuyo origen es la reabsorción y reciclaje a nivel de propio organismo, este se encuentra en gran parte formando cuerpo hemoglobínicos a nivel intraeritrocitario, aunque, existen diversas fuentes alimenticias ricas en hierro hemo y hierro no hemo, los coeficientes de absorción en estas dos versiones de hierro son diferentes, y ciertos procesos fisiológicos modulan esta actividad, como el ácido ascórbico, el citrato sintasa intestinal, y el ácido clorhídrico estomacal promueven mayor absorción de este mineral, los requerimientos mínimos rondan los 4.9 mg/kg de materia seca de la dieta total en cerdos jóvenes y llegando hasta 17.2 mg/kg de materia seca ingerida en cerdas gestantes (Lee & Kim, 2025).

Los suplementos de hierro en cerdos se administran preferentemente por vía parenteral debido a las limitaciones en la administración oral. Esto se debe principalmente a la necesidad de dosis elevadas y frecuentes, que a menudo deben administrarse durante largos períodos para restaurar los niveles fisiológicos de hierro. Este régimen de tratamiento prolongado es necesario debido a la ineficiente absorción intestinal de hierro en los cerdos, especialmente en las cerdas. Como resultado del aumento significativo en la ingesta de hierro, la hepcidina, que es el regulador principal del metabolismo del hierro, se regula al alza, lo que conduce a la reducción de los niveles plasmáticos de hierro. Para contrarrestar parcialmente este mecanismo regulador, se recomienda un régimen de tratamiento en días alternos en lugar de dosis diarias, lo que puede mejorar la eficacia general de la suplementación con hierro por vía oral (Zheng & Xiao, 2025).

Otra forma de deficiencia funcional de hierro que puede conducir a niveles de anemia está asociada con enfermedades inflamatorias subyacentes, como la enfermedad inflamatoria intestinal (EII), la enfermedad renal crónica (ERC), enfermedades autoinmunes como la artritis reumatoide y el cáncer. Estas

condiciones pueden desencadenar una respuesta inflamatoria crónica en el cuerpo, que a su vez afecta la absorción y la disponibilidad de hierro, incluso si los niveles de hierro en el cuerpo son aparentemente normales. La anemia asociada con estas enfermedades se conoce como anemia de la enfermedad crónica y puede requerir un enfoque específico en el tratamiento (Johnson *et al.*, 2025).

2.8. Diagnóstico de la deficiencia de hierro (ID)

El diagnóstico preciso de la deficiencia de hierro (ID) se ve complicado por la distinción entre el hierro almacenado y el circulante, así como la biodisponibilidad de hemoglobina y su funcionalidad, además por la diferencia entre el hierro movilizable e inmovilizable. En condiciones de enfermedades crónicas, donde se observa un aumento de la inflamación sistémica, el estado del paciente desempeña un papel crucial que conduce a la ID funcional. La hepcidina, un péptido secretado principalmente por los hepatocitos es encargada de regular la captación y liberación de hierro. Controla la actividad de la ferroportina, un transportador transmembrana de hierro, lo que afecta tanto a la absorción como al almacenamiento del hierro en diferentes tipos de células. La hepcidina degrada la ferroportina en el lisosoma, lo que reduce la liberación de hierro (Durán *et al.*, 2025).

El diagnóstico también puede basarse en evidencias clínicas de enfermedades bacterianas ya que las bacterias requieren hierro para su reproducción, la hepcidina, originalmente denominada proteína antimicrobiana expresada en el hígado (LEAP)-1, inhibe la captación y movilización del hierro durante períodos de alta actividad inflamatoria. También conocida como proteína bactericida hepática. Este mecanismo de regulación demuestra la interconexión entre la homeostasis del hierro y la respuesta inmunitaria del cuerpo, destacando así la importancia de la hepcidina en la patogénesis de la ID (Feng *et al.*, 2025).

2.9. Tratamiento

Los lechones nacen con reservas de hierro de solo 35 a 50 mg, y dado que su demanda diaria de hierro oscila entre 7 y 16 mg, estas reservas se agotan rápidamente. Las principales fuentes de ingesta de hierro en los lechones lactantes son la leche, el pienso y el suelo. Sin embargo, la leche de cerda solo cubre alrededor del 10% de la demanda diaria de hierro. La ingesta de pienso depende de

cuándo los lechones comienzan a consumir alimento sólido. En condiciones de agricultura ecológica, donde el período de lactancia se prolonga a 63 días, la transición a la alimentación sólida ocurre más tarde que en la cría de cerdos convencional, donde el destete suele ocurrir a los 21 y 28 días (Enouri *et al.*, 2022).

La evidencia sólida respalda la noción de que la práctica común de administrar inyecciones intramusculares de 100 o 200 mg de hierro a los lechones a los 3 o 4 días de edad no es suficiente para satisfacer las necesidades de los lechones grandes y de rápido crecimiento en las condiciones agrícolas modernas. Varios estudios han demostrado que alrededor del 25 % de los cerdos tienen deficiencia de hierro (Hb < 110 g/L) al destete, y los lechones más grandes son los más afectados. La deficiencia de hierro puede provocar anemia y afectar al crecimiento durante la etapa inicial de vivero. Una solución potencial es administrar una segunda inyección de hierro cerca del final del período de lactancia, pero esto requiere más manejo de los cerdos y puede haber resistencia a implementar esta medida a nivel de la granja (Seip *et al.*, 2020).

El creciente interés entre los consumidores por la carne de cerdo producida de manera más natural ha generado un renovado interés en la suplementación oral de hierro en lugar de la inyección intramuscular estándar para controlar la deficiencia de hierro en los lechones. Además, los avances recientes en nuestra comprensión de la absorción de hierro y el impacto de las grandes dosis parenterales de hierro en la inducción de la expresión de hepcidina y la regulación del hierro en el cuerpo ofrecen aún más razones para investigar estrategias alternativas para la suplementación con hierro (Hennig *et al.*, 2025).

El suministro oral de hierro en cerdos jóvenes no es tan recomendado, ya que en estos animales no poseen transportadores directos en el intestino delgado que les confiera una gran capacidad absorbente de este, sin embargo, el comportamiento ingestivo en lactantes también es una desventaja ya que son animales con poco acostumbramiento al consumo de un suministro sólido de alimento que generalmente es poco palatable (Wang *et al.*, 2025).

2.10. Hierro dextrano

El hierro dextrano es una forma comúnmente utilizada de suplementación de hierro en lechones lactantes para prevenir la anemia ferropénica. Se trata de un complejo de hierro unido a una molécula de dextrano, una cadena de glucosa. Este complejo se administra mediante una inyección intramuscular en los lechones durante sus primeros días de vida, generalmente entre los 2 y 5 días de edad (Deng *et al.*, 2021).

La formulación es una solución inyectable que contiene:

- Hierro dextrano (Complejo hidróxido férrico-poliisomaltosa equivalente a hierro (III)) 100 mg: Proporciona hierro biodisponible para tratar la anemia ferropénica en lechones lactantes.
- Fenol 5 mg: Actúa como conservante para mantener la estabilidad del medicamento.
- Agua para preparaciones inyectables: Se utiliza como diluyente para la formulación del medicamento (Anchapanta *et al.*, 2020).

Este medicamento está contraindicado en diversas situaciones. En primer lugar, no debe administrarse a animales que tengan un historial conocido de hipersensibilidad al hierro dextrano. Además, su uso no se recomienda en casos de anemias que no sean de origen ferropénico. También se desaconseja su aplicación en animales con deficiencias de vitamina E y/o selenio, ya que esto podría provocar la muerte. Asimismo, no está indicado para animales que presenten patologías hepáticas o renales. Por último, se debe evitar su administración en casos de diarrea colibacilar, ya que podría ocasionar la muerte del animal (Anchapanta *et al.*, 2020).

La administración de la inyección en los músculos semitendinosos o semimembranosos puede ocasionar lesiones del nervio perineo y del tibial. Estas lesiones pueden resultar en la pérdida del tono muscular como consecuencia. Es importante tener en cuenta esta consideración al momento de aplicar la inyección para evitar posibles complicaciones (de Castro, 2024).

Al administrar hierro a cerdos mayores, es importante tener en cuenta que puede provocar decoloración de la carne. Además, en caso de autoinyección accidental, se debe buscar atención médica de inmediato y mostrarle al médico el prospecto o la etiqueta del medicamento. Los animales con hipersensibilidad conocida al hierro

dextrano deben evitar todo contacto con este medicamento veterinario para prevenir reacciones adversas, además no se recomienda utilizar en cerdas gestantes después de los 90 días de gestación (de Castro, 2024).

2.10.1. Posología

El enfoque terapéutico abarca varios aspectos. En cuanto a la prevención, se recomienda administrar entre el primer y cuarto día de edad una dosis única de 100-150 mg de hierro por animal (equivalentes a 1-1,5 ml de producto por animal). Si es necesario, esta dosis puede repetirse a las dos semanas de edad. En el caso del tratamiento, se sugiere administrar una dosis única de 100-200 mg de hierro dextrano por animal (equivalente a 1-1,5 ml de producto por animal). Esta dosis puede repetirse si es necesario, a los 10-15 días (Predoi *et al.*, 2021).

La administración indiscriminada puede provocar toxicidad o acumulación patológica de hierro, lo que se manifiesta como hemosiderosis o hemocromatosis. La intoxicación aguda puede ser mortal, manifestándose clínicamente con postración y debilidad muscular (Predoi *et al.*, 2021).

2.10.2. Farmacodinamia

El hierro dextrano antianémico, utilizado como suplemento de hierro, es un complejo compuesto por hidróxido férrico y polisacáridos altamente metabolizables. Después de la inyección intramuscular, el hierro dextrano se absorbe desde el punto de inyección a través de los capilares y el sistema linfático. Las células del sistema retículo endotelial extraen el hierro circulante del plasma y separan el complejo en sus componentes, hierro y dextrano. El hierro se une de inmediato a las unidades proteicas disponibles para formar hemosiderina o ferritina, o en menor medida para formar transferrina. Estas son las formas fisiológicas de hierro utilizables por el organismo. Este hierro repone la hemoglobina y los depósitos de hierro agotados (Boucher *et al.*, 2021).

2.10.3. Farmacocinética

Después de la administración intramuscular, el hierro dextrano se absorbe del sitio de inyección a través del sistema linfático en dos fases. En la primera fase, que es rápida, el hierro dextrano se absorbe en el sitio primario de inyección. Cuatro días

después de la administración de 200 mg de hierro dextrano, comienza a observarse un aumento en los niveles de hemoglobina y hematocrito (Estienne *et al.*, 2019).

En la segunda fase, que es más lenta, las partículas de hierro dextrano son ingeridas por los macrófagos, que las envían nuevamente al sistema linfático y luego al torrente circulatorio. Esta fase puede durar semanas e incluso meses en completarse. Algunas trazas de hierro dextrano no metabolizado se excretan a través de la orina, la bilis y las heces. El dextrano, después de separarse del hierro, se excreta o se metaboliza en el organismo (Dukhnitskyi *et al.*, 2021).

2.11. Carboximaltosa de hierro

En la actualidad, se reconoce ampliamente que el desarrollo de sales de hierro recubiertas con una capa de carbohidratos ha abordado eficazmente el problema de la toxicidad directa del hierro libre en la circulación. Los primeros productos en utilizar esta tecnología fueron los dextranos de hierro. A pesar de ello, la experiencia clínica con un dextrano de hierro de alto peso molecular (Mentz *et al.*, 2023).

La necesidad de nuevas alternativas o formulaciones de hierro más metabolizable con mayor disponibilidad promovió la modificación de las típicas fuentes a base de dextrano, conformando el empaquetamiento en grupos compuestos de carbohidratos, como el gluconato en vínculo férrico, sacarosa de hierro, etc. Haciendo estas fuentes más asimilables con altos niveles de absorción, menos reacciones de hipersensibilidad, más seguridad farmacológica y menos intervalos de aplicación reduciendo así significativamente los costos de aplicación, promoviendo un desplazamiento de productos (Kwon *et al.*, 2025).

Considerando que, en la capa de carbohidratos más pequeña del gluconato férrico, el hierro está menos unido en comparación con el hierro dextrano de bajo peso molecular, lo que significa que solo se puede administrar una cantidad menor de hierro en una sola infusión. Por lo tanto, fueron necesarias administraciones repetidas para corregir la anemia (Devi *et al.*, 2021).

La introducción de carboximaltosa férrica (FCM), con un máximo de 1000 mg de hierro por infusión, permitió administrar una cantidad significativa de hierro en una sola infusión. Los ensayos revelaron que con FCM, la anemia se resolvió antes y

que el fármaco se toleró mejor que el hierro oral. Además, la posibilidad de corregir la anemia ferropénica en tan solo una o dos infusiones ofrecía grandes ventajas en términos de logística y comodidad para el paciente (Sperling *et al.*, 2024).

2.11.1. Farmacocinética y farmacodinamia

La carboximaltosa férrica (FCM) es un complejo polinuclear de hierro (III)-carboximaltosa polinuclear, aprobado en más de 70 países para el tratamiento de la deficiencia de hierro. Se diferencia de otras preparaciones intravenosas por la necesidad de administrar dosis únicas más altas en períodos de tiempo más cortos (15 minutos) para reponer las reservas de hierro en el sistema retículoendotelial (RES) en el hígado, el bazo y la médula ósea. La FCM es generalmente bien tolerada, con un bajo riesgo de reacciones de hipersensibilidad, y es mejor tolerada que el sulfato ferroso oral. No se metaboliza a través de enzimas citocromáticas, lo que minimiza la variabilidad étnica y genética en su eficacia. Estudios clínicos han demostrado que la raza no afecta significativamente a las propiedades farmacocinéticas de la FCM. Además, la captación de FCM por el RES se satura temporalmente a niveles de dosis elevados, lo que implica una función de eliminación de orden cero (Meng *et al.*, 2025).

2.11.2. Reacciones de hipersensibilidad

La etiología de estas reacciones de hipersensibilidad aún no está completamente esclarecida, pero la evidencia acumulada sugiere una activación no alérgica mediada por el complemento a través de nanopartículas de hierro, especialmente el hierro libre o lábil, que no se une lo suficientemente rápido a la transferrina. Esta activación del complemento puede desencadenar una respuesta pseudoalérgica relacionada con la activación de plaquetas. La activación del complemento también puede estimular otras células inflamatorias, como mastocitos y basófilos, que producen histamina y otros productos proinflamatorios (Boots & Quax , 2022).

Las reacciones de hipersensibilidad debidas a la activación de las plaquetas tienen dos consecuencias importantes para la práctica clínica de humanos. En primer lugar, no se requiere sensibilización previa, lo que significa que pueden ocurrir en la primera administración del medicamento. En segundo lugar, la reacción mediada por el complemento depende de la velocidad de infusión. Por lo tanto, generalmente

es posible administrar el mismo fármaco de manera repetida a una velocidad de infusión más baja sin provocar reacciones de hipersensibilidad (Poleri *et al.*, 2021).

2.11.3. Dosis

Según la ficha técnica de la carboximaltosa férrica (FCM), en humanos se recomienda una dosis máxima de hierro de 1.000 mg en una sola administración, mediante infusiones de 15 minutos de duración. En caso de necesidad, se puede administrar una segunda dosis después de transcurrida una semana. Este protocolo garantiza una administración controlada de hierro al sistema reticuloendotelial (RES) en el hígado, el bazo y la médula ósea, lo que permite reponer las reservas de hierro de manera efectiva y segura (Aksan *et al.*, 2022).

Cuando el riesgo de hipofosfatemia aumenta moderadamente debidos al inducir un fuerte aumento del factor de crecimiento fibroblástico-23 (FGF-23) activo, una hormona que estimula la excreción renal de fosfato, y no es factible utilizar otra formulación de hierro intravenoso distinta de la carboximaltosa férrica (FCM), como puede ocurrir debido a los efectos adversos de las alternativas disponibles, se recomienda utilizar la mitad de la dosis máxima de FCM, es decir, 500 mg. Sin embargo, algunos artículos mencionan que dosis de 15 mg/kg en neonatos logro establecer los niveles de hierros sanguíneo (Aksan *et al.*, 2022).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación de la investigación

- **Localización de la investigación**

La presente investigación se realizó en la granja porcina “La Pampa”, la misma que está ubicada en la provincia de Manabí, en el cantón Jama, específicamente en el sector de La Pampa.

- **Situación geográfica y edafoclimática**

Altitud	10 msnm
Latitud	0°11'29.6"S
Longitud	80°15'29.6"W
Humedad relativa	85%
Temperatura máxima	31 °C
Temperatura media	25,6 °C
Temperatura mínima	22 °C
Precipitación media anual	6,2 mm ³

Fuente: (INAMHI, 2024).

- **Zona de vida**

Jama se sistematiza y clasifica como una zona de formación Bosque Seco Tropical y Bosque Húmedo Tropical, de acuerdo con su patrón altitudinal según el Dr. L. Holdridge y su clasificación geológica (Holdridge, 1971).

3.2. Metodología

3.2.1. Material en estudio

- 18 lechones

3.2.2. Factores en estudio

Factor A: Lechones

Factor B: Tipos de hierro

B1: Dosis de 200 mg de hierro dextrano.

B2: Doble dosis de 200 mg de hierro dextrano.

B3: Dosis de 15 mg/kg de carboximaltosa férrica.

3.2.3. Tratamientos

Tabla 3.

Tratamientos en estudio.

Tratamientos	Descripción
T0	Dosis de 200 mg de hierro dextrano.
T1	Doble dosis de 200 mg de hierro dextrano.
T2	Dosis de 15 mg/kg de carboximaltosa férrica.

Nota. Se utilizó 6 lechones recién nacidos por cada tratamiento.

3.2.4. Descripción técnica del ensayo

Tabla 4.

Características del experimento.

Número de tratamientos	3
Número de animales por unidad experimental	6
Número total de animales	18

3.2.5. Tipo de diseño experimental o estadístico

Se midió el efecto de las diferentes dosis de hierro dextrano y carboximaltosa férrica sobre los valores hematológicos por medio del análisis del ANOVA, además, se realizó una comparación múltiple de promedios de Duncan al 5%.

3.2.6. Manejo de la investigación

- **Lugar de estudio:**

La investigación se realizó en la granja porcina “La Pampa”, la misma que está ubicada en la provincia de Manabí, en el cantón Jama, específicamente en el sector de La Pampa. En dicha inmediatez se establecieron 3 cerdas gestantes en corrales individuales.

- **Adecuación de la sala de partos:**

Las instalaciones fueron desinfectadas adecuadamente con una solución germicida para prevenir la posible transmisión de patologías infecciosas, además las cerdas pasaron por un periodo de cuarentena y adaptación al alimento balanceado de lactancia, adicionalmente, se adecuó un foco infrarrojo en cada corral que permitió la regulación de la temperatura de las cunas.

- **Cuidado al momento del parto:**

Mediante el registro productivo de la granja, se estimó el día del parto, en donde se realizó un monitoreo constante del trabajo de parto para que la cerda secunde dicho evento de forma tranquila y sin dificultades.

- **Manejo de los lechones recién nacidos:**

Se proporcionó los principales cuidados a los neonatos, en primera instancia se asignó aleatoriamente un grupo experimental a cada camada, además, se colocó yodo povidona en el cordón umbilical, posteriormente, los neonatos fueron identificados para su registro en machos y hembras, al mismo tiempo se realizó el pesaje de estos.

- **Aplicación de los tratamientos:**

Los tratamientos en estudio se aplicaron bajo las condiciones detalladas en la tabla continuación:

Tabla 5.

Aplicación de los tratamientos.

Tratamiento Testigo	Tratamiento 1	Tratamiento 2
Una aplicación de 200 mg de hierro dextrano a 6 lechones el día del nacimiento.	Aplicación de dos dosis de 200 mg de hierro dextrano la primera dosis el día del nacimiento y la segunda dosis 7 días después con el mismo ajuste farmacológico.	Aplicación de una dosis de 15 mg/kg de carboximaltosa férrica a 6 lechones el día del nacimiento.

Nota. En cada tratamiento se designaron 6 lechones.

- **Toma de muestra de sangre:**

La toma de muestra de sangre en lechones se efectuó utilizando un tubo Vacutainer de tapa lila, junto con una aguja calibre 21G.

Primero, se preparó el equipo necesario, que incluyó jeringas estériles, agujas, tubos Vacutainer, alcohol y algodón. Una vez preparado el entorno, se colocó al lechón en una posición cómoda y segura sostenido por un asistente.

Después, se desinfectó el sitio de punción en este caso la vena yugular externa. Posteriormente se insertó suavemente la aguja de la jeringa o la aguja Vacutainer acoplada a una campana y se tomó la cantidad necesaria de sangre para el análisis. Luego, se retiró la aguja con cuidado y aplicó presión en el sitio de punción para detener el sangrado.

Por último, se etiquetó correctamente el tubo de extracción con la información del lechón y el tipo de análisis a realizarse y se almacenó la muestra de sangre de manera adecuada en refrigeración para su posterior envío al laboratorio, también se registró todos los detalles relevantes de la muestra en el registro correspondiente, como la fecha, la hora y el número de identificación del lechón, asegurando así un seguimiento preciso del proceso.

3.2.7. Métodos de evaluación y datos a tomarse

Peso al nacimiento: Se evaluó mediante la toma del peso de los lechones al momento del parto, con la ayuda de una balanza se determinó su valor y se expresó en kilogramos.

Sexo de los lechones: Se inspeccionaron los órganos reproductivos de los lechones al momento del parto de la cerda, dato que fue expresado categóricamente en lechones hembras y machos.

Hemograma antes del destete: Se desarrolló mediante la estimación automatizada con un hematocitómetro de los valores; HT, HB, Eritrocitos, VCM, MCH, MCHC, Leucocitos y Plaquetas, las determinaciones se midieron a los 14 días después del parto.

Hemograma después del destete: Se valoró mediante la estimación automatizada con un hematocitómetro de los valores; HT, HB, Eritrocitos, VCM, MCH, MCHC, Leucocitos y Plaquetas, estas determinaciones se efectuaron a los 28, y 52 días de edad.

Curva de crecimiento: Se realizó a partir del registro de los pesos desde el nacimiento hasta los 60 días después, para lo cual se registraron valores del peso con finalidad de graficar una curva de crecimiento de cada uno de los tratamientos en estudio.

Ganancia de peso: Se estimó mediante las diferencias entre el peso actual menos el peso inicial, desde el nacimiento hasta los 60 días después, su valor fue expresado en kilogramos.

Hierro sérico antes del destete: Se registró con un analizador bioquímico automatizado a los 21 días de edad, para lo cual se tomó los 6 lechones de cada tratamiento para dicha medición.

3.2.8. Análisis de datos

Los datos obtenidos producto de la operacionalización de las variables productivas, variables hematológicas y la cantidad de hierro sérico de cada grupo investigativo, fueron analizados mediante un diseño completamente al azar (DCA) para medir el efecto de los tratamientos, con la ayuda del software SAS 9,4.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Interpretación de resultados

4.1.1. Peso al nacimiento

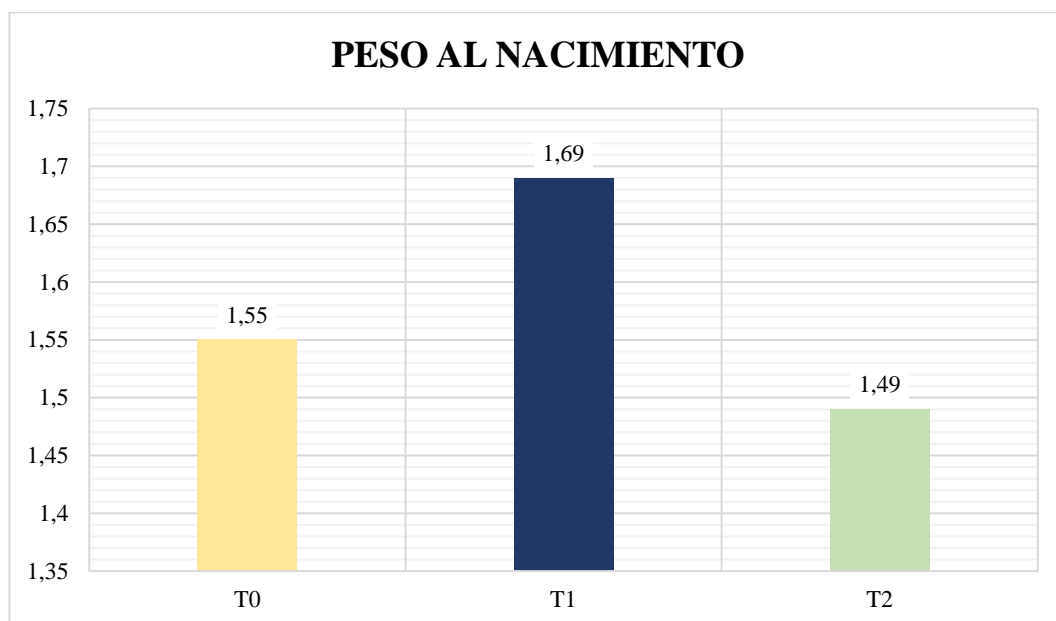
Tabla 6.

Análisis del peso al nacimiento.

F	P	Tratamientos	Promedio	Máximo	Mínimo
		T0 (200 mg de hierro dextrano)	1,55 ^{ab}	1,72	1,38
		T1 (doble dosis 200 mg hierro dextrano)	1,69 ^a	1,85	1,52
3,06	0,077	T2 (15 mg/kg de carboximaltosa férrica)	1,49 ^b	1,75	1,39
		General	1,58		

Figura 1.

Promedios del peso al nacimiento.



Las diferencias en el peso al nacimiento no fueron significativas ($P=0,077$), denotando similitud en la comparación de los promedios de esta variable entre los lechones de cada grupo experimental. Siendo los neonatos del T1 los que presentaron numéricamente el mayor promedio del peso al nacimiento con 1,69 kg, prosiguiendo los del T0 con 1,55 kg y, por último, la menor estimativa promedial del peso al nacimiento fue exhibida por los lechones del T2 con 1,49 kg.

Crespo & Gadea (2021) estudiaron la relación entre el peso al nacimiento y los parámetros productivos y económicos en lechones destinados al engorde, con una totalidad de 353 lechones estudiados, encontraron un valor medio de peso al nacimiento de 0,80 Kg con límites mínimos de 0,50 kg y máximos de 1,22 kg.

Se denota diferencias entre los valores medios de esta investigación con los reportados por la referencia antes citada, ya que en este estudio se observaron promedios que sobrepasan a los de la referencia en el peso al nacimiento.

4.1.2. Sexo de los neonatos

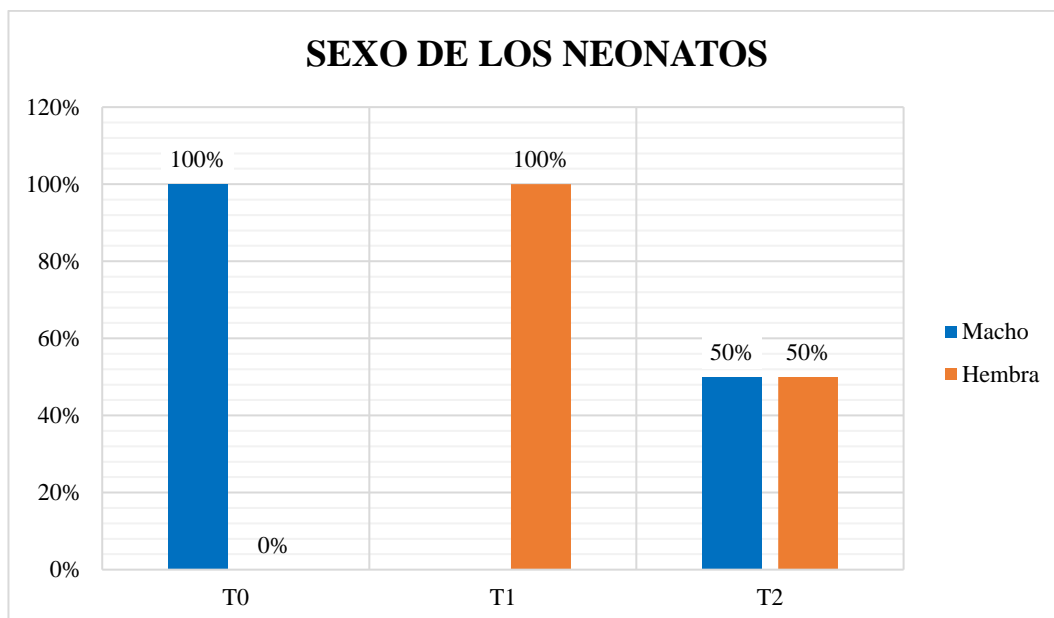
Tabla 7.

Análisis estadístico del sexo de los neonatos.

F	P	Tratamientos	Macho	Hembra
		T0 (200 mg de hierro dextrano)	100% (6/6)	-
		T1 (doble dosis 200 mg hierro dextrano)	-	100% (6/6)
15,00	0,001	T2 (15 mg/kg de carboximaltosa férrica)	50% (3/6)	50% (3/6)
		General	50% (9/18)	50% (9/18)

Figura 2.

Proporcionalidad de machos y hembras.



Las diferencias estadísticas en el sexo entre los lechones de cada grupo experimental fueron significativas ($P= 0,001$), denotando que el 100% de los neonatos del T0 fueron machos, el 100% de los lechones del T1 fueron hembras y en el T2 se observó un 50% entre machos y hembras de forma respectiva.

Baek *et al.* (2021) estudiaron la supervivencia, crecimiento, inmunidad y desarrollo según el sexo en lechones, y encontraron diferencias estadísticas en la supervivencia, con una media de 17,8 lechones nacidos vivos por cerda de un total de 109 camadas, de los cuales el 55% fueron machos y el 45% restante eran hembras, además, identificaron que la mortalidad fue mayor en machos con 18% que en hembras con un 8% a las 48 horas posteriores al nacimiento.

Se denotan diferencias entre los hallazgos de esta investigación con los reportados por la referencia antes citada, ya que en este estudio se observó una proporción similar entre machos y hembras que difieren a los de la referencia cuyos antecedentes del sexo de los lechones machos fue diferente a la de hembras.

4.1.3. Determinación hematológica antes del destete

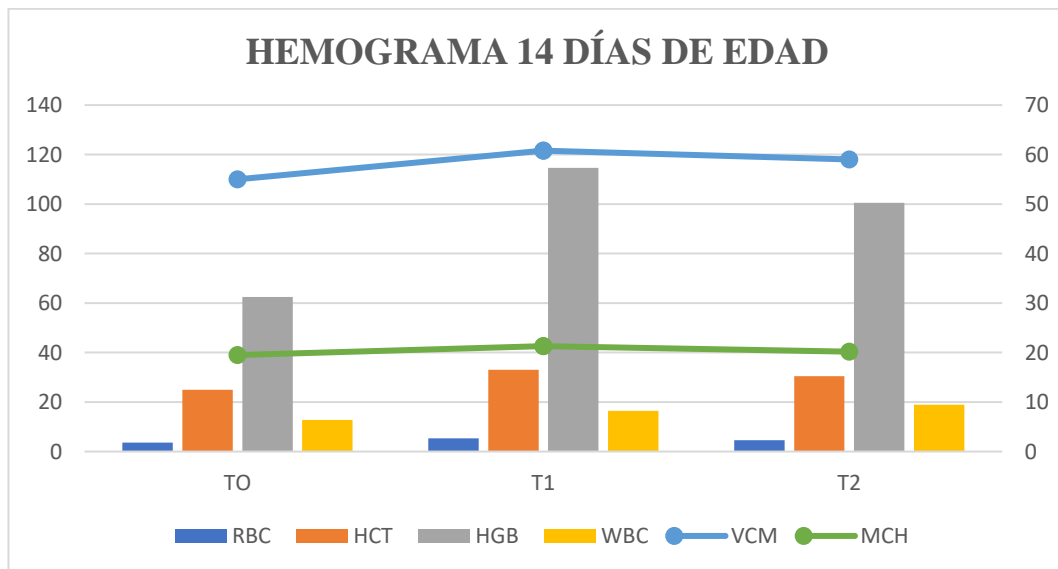
Tabla 8.

Estudio hematológico antes del destete (14 días de edad).

Analito	Promedio (Máximo - Mínimo)			F	P
	T0	T1	T2		
WBC	12,72 ^b	16,46 ^{ab}	18,88 ^a	3,10	0,0748
11-22	(14,28-11,18)	(24,50-6,43)	(24,50-15,24)		
RBC	3,58 ^b	5,32 ^a	4,63 ^a	9,90	0,0018
5-8	(4,24-3,11)	(5,94-4,68)	(5,94-3,10)		
HGB	62,50 ^b	114,67 ^a	100,50 ^a	10,97	0,0012
80-150	(109-42)	(128-89)	(128-83)		
HCT	0,2493 ^b	0,3302 ^a	0,3042 ^{ab}	3,59	0,0531
0,32-0,50	(0,322-0,168)	(0,382-0,309)	(0,382-0,269)		
VCM	55,00 ^a	60,80 ^a	59,02 ^a	0,63	0,5436
50,0-68,0	(74,2-49,3)	(76,0-54,1)	(76,0-51,3)		
MCH	19,50 ^a	21,30 ^a	20,18 ^a	0,62	0,5527
17-21	(17,1-25,7)	(18,3-25,4)	(18,1-25,4)		

Figura 3.

Estudio hematológico antes del destete (14 días de edad).



En el análisis de la biometría hemática antes del destete, en los lechones de 14 días de edad, se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en correspondencia al recuento de glóbulos rojos, hemoglobina. Mientras que, a nivel de los otros analitos el efecto de los tratamientos fue no significativo.

Tomando como referencia hematológica el RBC, la HGB, el HCT, el VCM, y la MCH, como indicativos de procesos anémicos relacionados a la deficiencia de hierro en lechones; se observó que los neonatos del experimento T0 (única dosis de 200 mg) exhibieron valores promediales estadísticamente diferentes a los promedios de los otros experimentos, con hallazgos de $3,58 \times 10^{12}/L$, 62,50 g/L y 0,2493, correspondientemente a las analíticas mencionadas, los cuales, al compararse con los valores referenciales se categorizaron por debajo de estos. Siendo hallazgos coincidentes con una anemia normocítica normocrómica característica de deficiencia en la asimilación de hierro.

Entre los promedios del recuento de glóbulos rojos (RBC) hemoglobina (HGB) y hematocrito (HCT) de los experimentos T1 y T2 existió similitud estadística, con promedios en el T1 de $5,32 \times 10^{12}/L$, 114,67 g/L y 0,3302 y en el T2 de $4,63 \times 10^{12}/L$, 100,50 g/L y 0,3042, destacando que estos resultados se encontraban dentro de los valores de referencia, siendo el experimento T1 el que exhibió los mayores promedios correspondientemente a los analitos en cuestión.

Chevalier *et al.* (2024) investigaron el efecto de una segunda inyección de hierro administrada antes del destete sobre el estado hematológico en cerdos, en su estudio utilizaron 514 lechones, y establecieron dos grupos de estudio; un grupo control (T0) y un grupo que recibieron doble dosis de hierro dextrano (T1), como resultados a los 14 días de vida encontraron diferencias significativas en la HB con valores de 11,1 g/dL para el T0 y 11,90 g/dL para el T1, de igual manera en el HCT expresaron diferencias significativas, ya que el T0 exhibió un valor de 35,5% y el T1 37,1.

Se denotan diferencias entre los hallazgos de esta investigación con los reportados por la referencia antes citada, ya que, los valores de los analitos son dispersos de investigación a investigación, sin embargo, se recalca que la aplicación de dos dosis de hierro dextrano promueve una mejor citogénesis hemática.

4.1.4. Determinación hematológica posterior al destete (28 días)

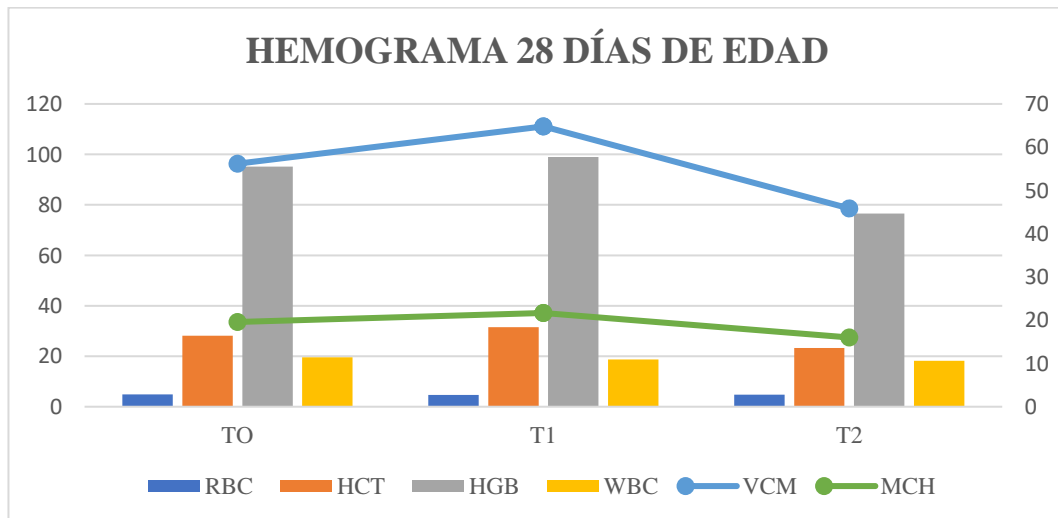
Tabla 9.

Estudio hematológico después del destete (28 días de edad).

Analito	Promedio (Máximo - Mínimo)			F	P
	T0	T1	T2		
WBC	19,59 ^a	18,69 ^a	18,17 ^a	0,15	0,8590
11-22	(26,69-12,58)	(24,32-13,02)	(20,17-17,02)		
RBC	4,93 ^a	4,67 ^a	4,81 ^a	0,16	0,8566
5-8	(5,40-4,46)	(5,92-3,26)	(5,73-4,22)		
HGB	95,17 ^a	99,00 ^a	76,50 ^a	2,08	0,1600
80-150	(99-87)	(127-65)	(102-59)		
HCT	0,2810 ^{ab}	0,3147 ^a	0,2330 ^{ab}	4,12	0,0375
0,32-0,50	(0,330-0,248)	(0,391-0,212)	(0,269-0,195)		
VCM	56,18 ^b	64,80 ^a	45,84 ^c	41,76	<,0001
50,0-68,0	(63-52,4)	(66-62)	(54,5-41,5)		
MCH	19,59 ^a	21,67 ^a	16,01 ^b	16,32	0,0002
17-21	(21,8-18,4)	(22,8-21)	(20,7-13,5)		

Figura 4.

Estudio hematológico después del destete (28 días de edad).



En el análisis de la biometría hemática después del destete, en los lechones de 28 días de edad, se determinaron diferencias estadísticas significativas entre los experimentos T0, T1 y T2 en correspondencia al hematocrito (HTC) y volumen corpuscular medio (VCM), mientras que a nivel de las otras analíticas hematológicas el efecto de los tratamientos no fue significativo.

Tomando como referencia hematológica el recuento de glóbulos rojos (RBC) hemoglobina (HGB) y hematocrito (HCT) como indicativo de procesos anémicos relacionados a la deficiencia de hierro en lechones; se observó que los neonatos de los experimentos T0, T1 y T2 exhibieron valores promediales estadísticamente similares entre sí, con hallazgos en el T0 de $4,93 \times 10^{12}/L$, 95,17 g/L y 0,2810, en el T1 de $4,67 \times 10^{12}/L$, 99,00g/L y 0,3147 y en el T2 de $4,81 \times 10^{12}/L$, 76,50 g/L y 0,2330 correspondientemente a la analíticas mencionadas.

Clínicamente se observó que los tres experimentos refirieron promedios por debajo de los valores referenciales a nivel del recuento de glóbulos rojos (RBC), además, se definió que solamente en el experimento T2, los lechones presentaron anemia a los 28 días, categorizando como un tipo de anemia microcítica hipocrómica por deficiencia en la asimilación del hierro.

Deng *et al.* (2021) estudiaron el efecto del suministro de hierro en la dieta sobre el estado hematológico en lechones, y utilizaron 120 lechones, de los cuales se asignaron 30 en cada tratamiento, consideraron cinco grupos experimentales, T0; control, T1; 150 mg/kg, T2; 300 mg/kg, T3; 450 mg/kg y T4; 600 mg/kg de hierro, a los 28 días de edad, en dicha investigación no encontraron diferencias estadísticas en el analito WBC, RBC, HGB, HCT, mientras que si existieron diferencias en MVC, MCH, MCHC, y concluyeron que el T3 y T4 mejoraron el rendimiento del crecimiento de los cerdos al cambiar el estado hematológico de los lechones.

Se denotan diferencias entre los hallazgos de la investigación con los reportados por la referencia antes citada, ya que los resultados en cuanto al hematocrito fueron dispares, sin embargo, a nivel del VCM se observó el mismo efecto estadístico.

4.1.5. Determinación hematológica posterior al destete (52 días)

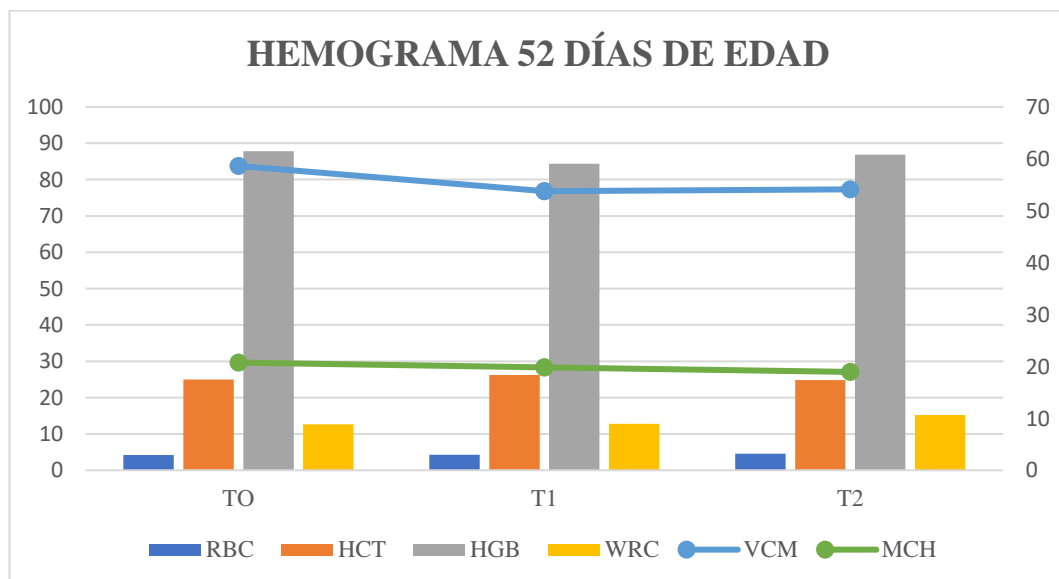
Tabla 10.

Estudio hematológico después del destete (52 días de edad).

Analito	Promedio (Máximo - Mínimo)			F	P
	T0	T1	T2		
WBC	12,61 ^a	12,77 ^a	15,21 ^a	0,70	0,5117
11-22	(17,49-8,17)	(20,78-9,65)	(20,76-8,28)		
RBC	4,23 ^a	4,30 ^a	4,58 ^a	0,99	0,3954
5-8	(4,81-3,43)	(4,86-3,93)	(4,98-3,84)		
HGB	87,84 ^a	84,33 ^a	86,84 ^a	0,21	0,8148
80-150	(95-81)	(94-72)	(101-69)		
HCT	0,2497 ^a	0,2622 ^a	0,2483 ^a	0,18	0,8383
0,32-0,50	(0,293-0,203)	(0,335-0,199)	(0,289-0,196)		
VCM	58,63 ^a	53,77 ^b	54,12 ^c	4,88	0,0233
50,0-68,0	(63,2-53,4)	(56,4-50,7)	(60-51)		
MCH	20,74 ^a	19,82 ^a	18,95 ^a	1,95	0,1787
17-21	(21,7-19,8)	(17,1-22,9)	(17,4-20,9)		

Figura 5.

Estudio hematológico después del destete (52 días de edad).



En el análisis de la biometría hemática después del destete, en los lechones de 52 días de edad, se determinaron diferencias estadísticas significativas entre los experimentos T0, T1 y T2 en correspondencia al volumen corpuscular medio (VCM), mientras que a nivel de las otras analíticas hematológicas el efecto de los tratamientos no fue significativo.

Tomando como referencia hematológica el recuento de glóbulos rojos (RBC) hemoglobina (HGB) y hematocrito (HCT) como indicadores de procesos anémicos relacionados a la deficiencia de hierro en lechones; se observó que los neonatos de los experimentos T0, T1 y T2 exhibieron valores promediales estadísticamente similares entre sí, con hallazgos en el T0 de $4,23 \times 10^{12}/L$, 87,84 g/L y 0,2497, en el T1 de $4,30 \times 10^{12}/L$, 84,33 g/L y 0,2622 y en el T2 de $4,58 \times 10^{12}/L$, 86,84 g/L y 0,2483 correspondientemente a las analíticas mencionadas.

Lima *et al.* (2025) investigaron el efecto de las estrategias de inyección de hierro para lechones sobre el rendimiento del crecimiento y los niveles del hematocrito antes y después del destete, y utilizaron 24 lechones, los cuales fueron sometidos a tres experimentos, siendo el experimento 1 el que recibió una dosis de 150 mg de hierro al día 1 y 3 días de edad, el experimento 2, percibieron dos dosis de hierro a los 3 días y 14 días de edad y finalmente el experimento 3 recibieron tres dosis de hierro en intervalos a los 3 días, 14 días y 7 días antes del destete, y encontraron como resultados que el experimento 2 demostró mejor eficiencia productiva, respaldado por una mayor concentración de hematocrito, con un valor de 33,59% versus al control de 29,54%.

Se denotan diferencias entre los hallazgos de esta investigación con los reportados por la referencia antes citada, ya que en la investigación referente el valor de dicho análisis en cada grupo experimental fue mayor que a los evidenciados en las determinaciones realizadas en esta investigación.

4.1.6. Curva de crecimiento

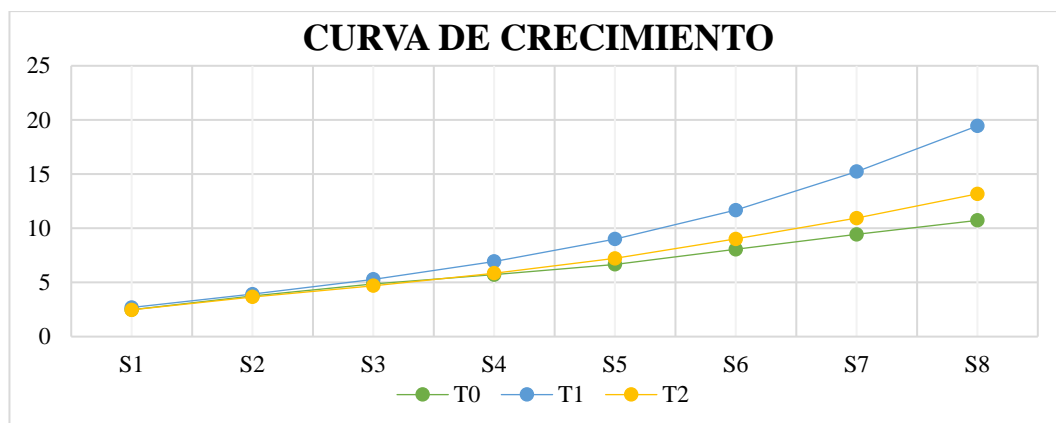
Tabla 11.

Estimación de la curva de crecimiento en base al peso de los neonatos.

Semana	Promedio (Máximo - Mínimo)			F	P
	T0	T1	T2		
1	2,48 ^a (2,80-2,45)	2,69 ^a (3,00-2,20)	2,47 ^a (2,73-2,00)	1,16	0,3415
2	3,76 ^a (3,92-3,58)	3,92 ^a (5,00-3,30)	3,66 ^a (3,80-3,50)	0,77	0,4799
3	4,87 ^a (5,05-4,68)	5,29 ^a (6,8-4,58)	4,69 ^a (4,73-4,50)	2,57	0,1098
4	5,72 ^b (5,90-5,50)	6,94 ^a (8,9-6,2)	5,85 ^b (6,7-5,2)	5,96	0,0124
5	6,67 ^b (6,80-6,50)	9,01 ^a (11,70-8,00)	7,22 ^b (8,63-6,30)	8,88	0,0029
6	8,06 ^b (8,45-7,89)	11,68 ^a (14,90-10,05)	9,02 ^b (11,30-7,80)	11,46	0,0010
7	9,43 ^b (9,52-9,20)	15,23 ^a (19,20-14,00)	10,94 ^b (14,60-9,00)	13,90	0,0004
8	10,73 ^b (11-10,50)	19,45 ^a (24-18)	13,18 ^b (18,8-10,50)	19,33	<,0001

Figura 6.

Estudio de la dinámica de crecimiento de los lechones.



En la curva de crecimiento en relación con el peso vivo de los lechones durante un periodo de experimentación de 8 semanas, se observaron diferencias estadísticas significativas a partir de la cuarta semana de vida por efecto de los tratamientos aplicados, considerando que, en las semanas anteriores el efecto de los tratamientos no es estadísticamente significativo.

Las diferencias en la comparación y categorización de los promedios también fueron marcadas a partir de la cuarta semana de registro entre experimentos, considerando que desde la primer semana el experimento T1 se destacó con 2,69 kg, 3,92 kg en la segunda semana, 5,29 kg en la tercera semana y 6,94 en la cuarta semana, 9,01 kg en la quinta semana, 11,68 kg en la sexta semana, 15,23 kg en la séptima semana y 19,45 kg en la última semana de evaluación, siendo estos pesos superiores a los otros dos experimentos.

Mientras que los pesos de los lechones de los experimentos T0 y T2 fueron estadísticamente similares, sin embargo, el T0 se destacó con lechones más pesado en comparación con el T2 a partir de la primera hasta la tercera semana, y, a partir de la cuarta semana los lechones del T2 fueron más pesados que los del T0, finalizando con un peso promedio de 13,18 kg los del experimento T2 y 10,73 kg los del T0, marcando una diferencia de 2,45 kg entre los dos experimentos.

Chevalier *et al.* (2021) estudiaron el efecto de la dosis de hierro administrada a lechones recién nacidos sobre el crecimiento en periodos antes del destete y postdestete, utilizando 70 cerdos, establecieron cinco grupos experimentales, T0; control, T1; 50 mg, T2; 100 mg, T3; 200 mg y T4; 300 mg de hierro dextrano, y encontraron que el mejor tratamiento fue el T2, ya que su peso inicial fue de 1,44 kg y a los 52 días fue de 24,02 kg, posteriormente el T4 con un peso inicial de 1,49 kg y un peso final de 23,51 kg, posteriormente se asentó el T3 con un peso inicial de 1,46 kg y finalizó con 23,48 kg, continuando el T1 consiguió un peso inicial de 1,45 kg y finalizó con 22,77 kg, en comparación al testigo que no recibió dosis de hierro consiguió un peso de inicial de 1,45 y un peso final de 20,14 kg.

Se denotan diferencias entre los hallazgos de la investigación con los reportados por la referencia antes citada, ya que los resultados de la investigación referente fueron mayores a los de la presente investigación.

4.1.7. Ganancia de pesos

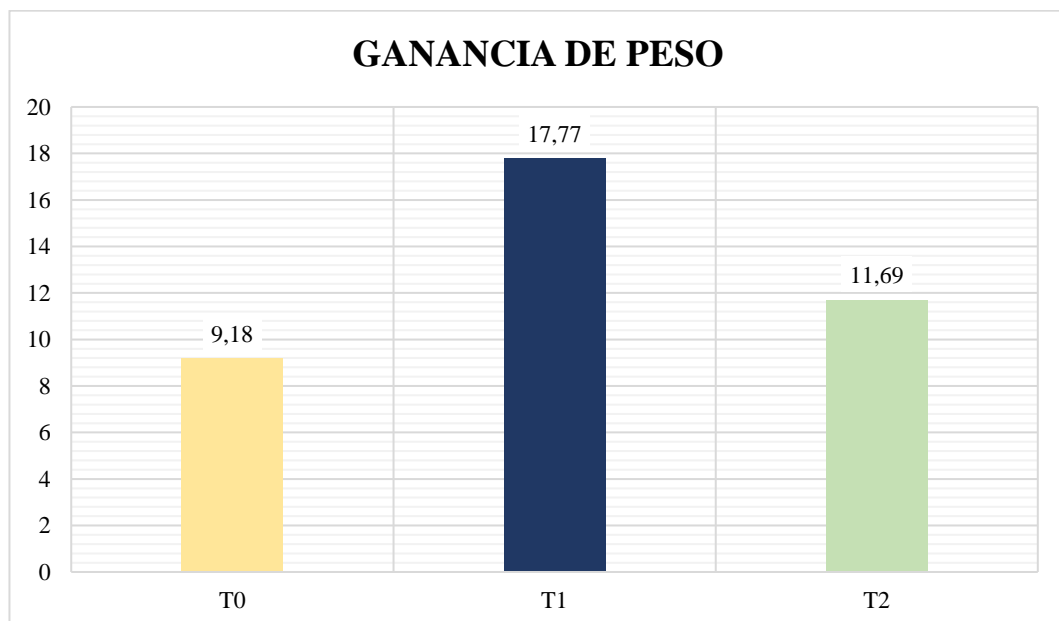
Tabla 12.

Estimación de la ganancia de peso de los lechones.

F	P	Tratamientos	Promedio	Máximo	Mínimo
		T0 (200 mg de hierro dextrano)	9,18 ^b	9,52	9,08
		T1 (doble dosis 200 mg hierro dextrano)	17,77 ^a	22,15	16,24
19,64	<,0001	T2 (15 mg/Kg de carboximaltosa férrica)	11,69 ^b	17,30	9,09
		General	12,87		

Figura 7.

Estudio de la ganancia de peso de los lechones.



Se observaron diferencias estadísticas significativas en la ganancia de peso entre los lechones de cada experimento durante un periodo de evaluación de 8 semanas, siendo los neonatos que recibieron la doble dosis de hierro dextrano (T1) los que expresaron la mayor ganancia de peso con 17,77 kg en promedio, con valores máximos de 22,15 kg y mínimos de 16,24 kg, destacándose de los otros dos grupos experimentales, los cuales fueron estadísticamente similares con promedios de 11,69 y 9,18 kg en los experimentos T2 y T1 respectivamente.

Johnson *et al.* (2025) estudiaron efecto de una segunda inyección de hierro sobre el rendimiento del crecimiento en lechones, y establecieron dos grupos experimentales donde los cerditos del T1 recibieron una dosis de hierro y los del T2 dos dosis de hierro dextrano, bajo este esquema el T1 expresó una ganancia de peso de 17,00 kg y el T2 una ganancia de peso de 18,92 kg a los 52 días de edad.

Se denota similitud entre los hallazgos de esta investigación con los reportados por la referencia antes citada, ya que en promedio los mejores resultados son similares de investigación a investigación.

4.1.8. Hierro sérico en lechones

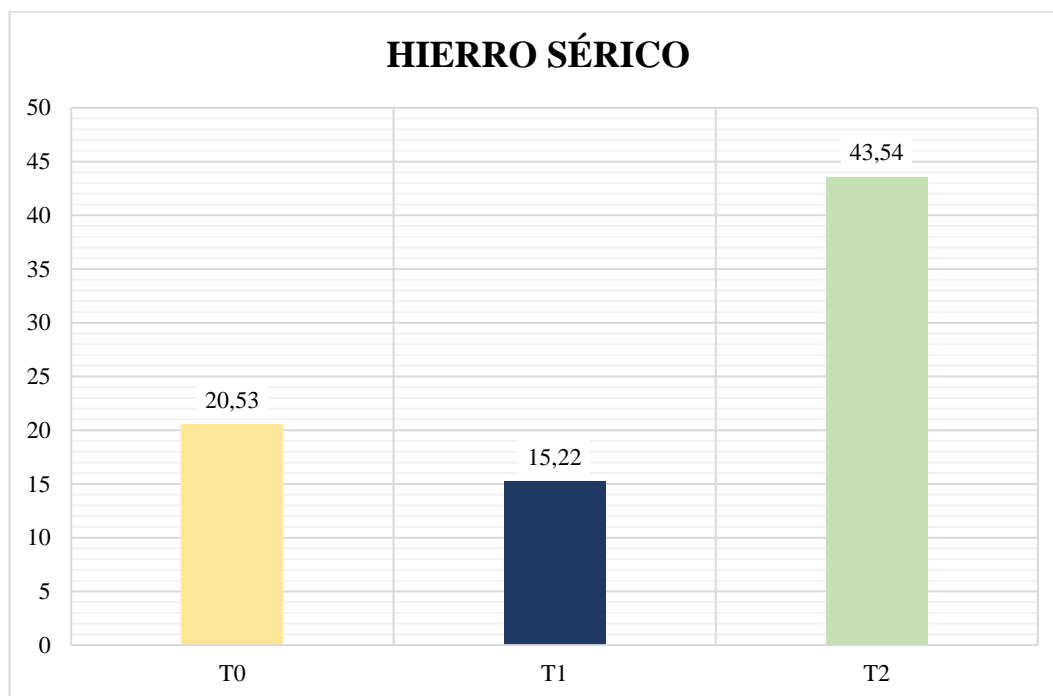
Tabla 13.

Análisis del hierro sérico de los lechones.

F	P	Tratamientos	Promedio	Máximo	Mínimo
		T0 (200 mg de hierro dextrano)	20,53 ^b	28,65	12,41
9,64	0,04	T1 (doble dosis 200 mg hierro dextrano)	15,22 ^b	17,12	13,32
		T2 (15 mg/Kg de carboximaltosa férrica)	43,54 ^a	44,52	42,56
		General	26,43		

Figura 8.

Estudio del hierro sérico de los lechones.



En la biodisponibilidad del hierro se observó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos referente a la cantidad de hierro en el suero sanguíneo, considerando que, los lechones que recibieron carboximaltosa férrica expresaron el mayor promedio con 43,53 $\mu\text{mol/L}$, con límites máximos de 44,52 $\mu\text{mol/L}$ y mínimos de 42,56 $\mu\text{mol/L}$, destacándose de los otros dos experimentos, en donde, los promedios fueron estadísticamente similares con 20,53 $\mu\text{mol/L}$ y 15,22 $\mu\text{mol/L}$ de forma respectiva en el T0 y T1.

Sawhney *et al.*, (2023) mencionan que los lechones solamente disponen de 50 mg de hierro hepático almacenado en su cuerpo, y postula que estas reservas de hierro se agotan en 3 a 5 días, por lo cual, se consideran incompatibles para mantener un respaldo hematológico estable en la prevención de cuadros anémicos de tipo ferropénicos.

Zhao *et al.* (2015) compararon los efectos de la suplementación con hierro dextrano y hierro recombinante de tipo bacteriano en la dieta sobre el crecimiento en lechones, y establecieron dos grupos experimentales, el T0; bajo la suplementación de las madres con una dieta basal más inyección subcutánea de hierro dextrano a los lechones a razón de 50 mg a los 3 y 7 días, y el T1; con una dieta basal más hierro recombinante bacteriano en la cerda gestante y sus lechones no recibieron ningún tipo de hierro dextrano, como resultados encontraron que a los 27 días de edad los lechones del T0 presentaron 95,6 $\mu\text{g/dL}$ de hierro sérico, mientras que los lechones del T1 presentaron 36,6 $\mu\text{g/dL}$ de hierro sérico.

Se comparte el criterio de la primera referencia citada ya que es necesario administrar hierro exógeno en los lechones para prevenir anemias ferropénicas e impedir altos índices de morbilidad y mortalidad en la piara joven.

Además, en cuanto a la referencia de Zhao y colaboradores, se denotan diferencias entre sus hallazgos con lo que se logró evidenciar en esta investigación, ya que sus determinaciones analíticas tienden a ser superiores.

4.2. COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

De acuerdo con los resultados obtenidos de la biometría hemática de los lechones que recibieron diferentes esquemas de hierro dextrano y carboximaltosa férrica, se determinó que si existieron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) en el recuento de glóbulos rojos, hemoglobina y hematocrito como principales analitos diagnósticos de deficiencias en los esquemas de aplicación exógena de hierro en los lechones, por tal motivo, se refuta la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, la mismas que estableció que; Existe efecto de la administración de carboximaltosa férrica y hierro dextrano sobre los valores hematológicos en lechones antes y después del destete.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se aplicó exitosamente los esquemas de doble dosis de hierro dextrano y el ajuste de la dosificación de carboximaltosa férrica en base a la recomendación de 15mg/kg de peso vivo en lechones de 1 día de nacidos.

El análisis de la biometría hemática antes del destete, a los 14 días de edad, determinó que los neonatos del T0 (única dosis de 200 mg de hierro dextrano) cursaron un cuadro de anemia de tipo normocítica normocrómica, con hallazgos de $3,58 \times 10^{12}/L$ en el RBC, 62,50 g/L en la HGB, 0,2493 de HCT, 55,00 fL de VCM y 19,50 pg de MCH, siendo valores inferiores a los promedios de los otros grupos.

En el análisis de la biometría hemática después del destete, en los lechones de 28 días de edad, se determinó que el impacto del destete afectó hematológicamente a los tres grupos experimentales, sin embargo, el grupo que incurrió en la presentación de anemias fue el grupo T2, ya que se evidenció anemias de tipo de microcítica hipocrómica relacionada con la deficiencia en la asimilación de hierro.

Los neonatos de 52 días de edad, exhibieron en el estudio hematológico determinaciones por debajo del valor referencial en los parámetros RBC y HCT, sin embargo, no se logró categorizar la presencia de anemia en ninguno de los tres tratamientos, demostrando una mayor compensación eritrocitaria en este periodo.

En la curva de crecimiento en relación con el peso vivo de los lechones durante un periodo de experimentación de 8 semanas, se observaron diferencias estadísticas significativas a partir de la cuarta semana de vida por efecto de los tratamientos aplicados, considerando que desde la primera semana, el experimento T1 (doble dosis de hierro dextrano) se destacó con 2,69 kg, así como 3,92 kg en la segunda semana, 5,29 kg en la tercera semana, 6,94 en la cuarta semana, 9,01 kg en la quinta semana, 11,68 kg en la sexta semana, 15,23 kg en la séptima semana y 19,45 kg en la última semana de evaluación, siendo estos pesos superiores a los observados en los otros dos experimentos cuyos promedios fueron inferiores.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda la aplicación de dos dosis intramusculares de hierro dextrano en lechones neonatos, con un intervalo de 7 días entre ambas aplicaciones, iniciando a las 24 horas postnacimiento. Esta estrategia busca optimizar la reposición de hierro en el período neonatal, prevenir la anemia ferropénica y mejorar el estatus hematológico general, asegurando una adecuada eritropoyesis durante las primeras semanas de vida.

Se sugiere realizar un análisis comparativo de la capacidad oxidativa de la hemoglobina entre lechones que reciben el esquema de doble dosis de hierro dextrano y aquellos que reciben una única dosis intravenosa de carboximaltosa férrica. Este análisis debe contemplar la determinación de niveles de metahemoglobina y capacidad de transporte de oxígeno, con el objetivo de identificar posibles efectos adversos oxidativos derivados de la sobrecarga férrica.

Se propone evaluar el efecto de la administración parenteral de carboximaltosa férrica sobre los biomarcadores bioquímicos hepáticos y renales (ALT, AST, GGT, bilirrubina total y directa, creatinina, urea, entre otros), a fin de descartar potenciales efectos hepatotóxicos o nefrotóxicos. Esta evaluación debe realizarse mediante muestreos seriados durante las dos primeras semanas postaplicación.

Es necesario llevar a cabo una caracterización detallada del perfil farmacocinético y farmacodinámico de la carboximaltosa férrica en lechones de un día de nacidos. Para ello, se deben considerar parámetros como la concentración máxima (C_{max}), tiempo para alcanzar la concentración máxima (T_{max}), área bajo la curva (AUC), vida media de eliminación (T_{1/2}), así como la evolución de los niveles séricos de ferritina, hemoglobina y hematocrito.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbas, M., Hayirli, Z., Dralesmith, H., Andrews, S., & Lewis, M. (2022). Effects Of Iron Deficiency And Iron Supplementarion At The Host-Microbiota Interface: Could A Piglet Model Unravel Complexities Of The Underlying Mechanisms. *Front. Nutr.*, 9(1), 1-10.
- Aksan, A., Zepp, F., Anand, S., & Stein, J. (2022). Intravenous Ferric Carboxymaltose For The Management Of Iron Deficiency And Iron Deficiency Anaemia In Children And Adolescents: A Review. *European Journal Of Pediatrics*, 181(11), 3781-3793.
- Anchapanta, R., Quisirumbay, J., & Naranjo, M. (2020). Effect Of Different Iron Application Protocols On Hematological Variables Inpiglets. *Journal Of Swine Health And Production*, 137-141.
- Babu, A., Hulse, W., Harer, M., Drake, K., & Kling, P. (2025). Developmental Origins Of Disease-Effects Of Iron Deficiency In The Rat Developing Kidney And Beyond. *Find A Journal*, 1-10.
- Baek, O., Cilieborg, M., Nguyen, D., Bering, S., Thymann, T., & Sangild, T. (2021). Sex-Specific Survival, Growth, Immunity And Organ Development In Preterm Pigs As Models For Immature Newborns. *Front Pediatr*, 9(626101), 1-12.
- Boots, J., & Quax , R. (2022). High-Dose Intravenous Iron With Either Ferric Carboxymaltose Or Ferric Derisomaltose: A Benefit-Risk Assessment. *Drug Safety*, 45(10), 1019-1036.
- Boucher, A., Sommer, A., Lenahan, J., & Rebecca, F. (2021). A Retrospective Study Of The Safety And Efficacy Of Low Molecular Weight Iron Dextran For Children Winth Iron Deficiency Anemia. *Pediatric Blood & Cancer*, 68(7), E29024.
- Bryszewska, M., Laghi, L., Zannoni, A., Gianotti, A., Barone, F., Taney, D., Forni, M. (2017). Bioavailability Of Microencapsulated Iron From Fortified Bread Assessed Using Piglet Model. *Nutrients*, 9(3), 272.

- Camaschella, C., Pagani, A., Silvestri, L., & Nai, A. (2022). The Mutual Crosstalk Between Iron And Erythropoiesis. *International Journal Of Hematology*, 116(2), 182-191.
- Candelaria, P., Leoh, L., Penichet, M., & Daniels-Wells, T. (2021). Antibodies Targeting The Transferrin Receptor 1 (Tfr1) As Direct Anti-Cancer Agents. *Frontiers In Immunology*, 607692.
- Cappellini, M., Musallam, K., & Taher, A. (2020). Iron Deficiency Anaemia Revisited. *Journal Of Internal Medicine*, 287(2), 153-170.
- Caverzan, M., & Ibarra, L. (2024). Advancing Glioblastoma Treatment Through Iron Metabolism: A Focus On Tfr1 And Ferroptosis Innovations. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 278(2), 134777.
- Chevalier, T., Adeola, O., Carter, S., Dove, R., Estienne, M., Levesque, C., Lindemann, M. (2024). A Cooperative Study Assessing The Effects Of A Second Iron Injection Administered Before Weaning On Growth Performance, Hematological Status, And Tissue Mineral Concentrations Of Nursery Pigs. *Applied Animal Science*, 40(1), 112-123.
- Chevalier, T., Adeola, O., Carter, S., Dove, R., Estienne, M., Levesque, C., Lindemann, M. (2024). A Cooperative Study Assessing The Effects Of A Second Iron Injection Administered Before Weaning On Growth Performance, Hematological Status, And Tissue Mineral Concentrations Of Nursery Pigs. *Applied Animal Science*, 40(1), 112-123.
- Chevalier, T., Lyons, W., Paczosa, D., Rentfrow, G., & Lindemann, M. (2023). A Second Iron Injection Administered To Piglets During Lactation Improves Hemoglobin Concentration Growth Performance And Carcass Characteristics At Slaughter. *Journal Of Animal Science*, 101, 270.
- Chevalier, T., Monegue, H., & Lindemann, M. (2021). Effects Of Iron Dosage Administered To Newborn Piglets On Hematological Measures, Prewaning And Postweaning Growth Performance, And Postweaning Tissue Mineral Content. *Journal Of Swine Health And Production*, 29(4), 189-199.

- Cincović, M. M. (2020). Reference Values Of Hematological, Biochemical And Endocrinological Parameters In The Blood Of Piglets Aged 1 And 21 Days. *Contemporary Agriculture*, 69(3-4), 34-40.
- Conway, D., & Henderson, M. (2022). Iron Metabolism. *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*, 23(2), 123-125.
- Costa, T., Teixeira, A., Moreira, L., Brighenti, C., Reis, R., Junior, D., Corassa, A. (2023). Evaluation O Iron Dextran Application Programs To Prevent Iron Deficiency Anemia In Piglets. *Revista Brasileira De Saude E Pro.*, 24(1), 20220013.
- Crespo, S., & Gadea, J. (2021). Relación Entre El Peso Al Nacimiento De Los Lechones De Cerdas Hiperprolíficas Y Los Parámetros Productivos Y Económicos En Los Cerdos De Engorde. *Itea-Inf. Tec. Econ. Agrar.*, 117(2), 173-190.
- De Castro, M. (2024). Prevención Y Tratamiento De La Anemia Ferropénica En Lechones. *Ganadería*, 149, 36-39.
- Deng, Q., Wang, Y., Wang, X., Wang, Q., Yi, Z., Xia, J., Yin, Y. (2021). Effects Of Dietary Iron Level On Growth Performance, Hematological Status, And Intestinal Function In Growing-Finishing Pigs. *American Society Of Animal Science*, 99(1), 1-11.
- Derkach, I. (2021). Comparative Effectiveness Of Iron-Containing Drugs For The Prevention Of Iron Deficiency Anemia In Piglets. *Scientific Messenger Of Lnu Of Veterinary Medicine And Biotechnologies.*, 23(102), 66-71.
- Devi, P., Das, S., & Deori, S. (2021). Management Of Iron Deficiency Anaemia In Piglets. *Biotic Research Today*, 3(8), 703-705.
- Dong, Z., Wan, D., Li, G., Zhang, Y., Yang, H., Wu, X., & Yin, Y. (2020). Comparison Of Oral And Parenteral Iron Administration On Iron Homeostasis, Oxidative And Immune Status In Anemic Neonatal Pigs. *Biological Trace Element Research*, 195, 117-124.
- Dukhnitskiy, B., Derkach, M., Fritsky, I., Plutenko, M., Lozovyi, M., Kostrub, V., Husak, A. (2021). Hemoglobin Content Hematocrit And Morphological

- Parameters Of Blood Of Piglets Under The Influence Of Iron Preparations. *Scientific Messenger Of Lnu Of Veterinary Medicine And Viotechnologies*, 23(10), 8-14.
- Durán, E., Romero, P., Villamizar, M., Alvarez, G., Bustamante, E., Neira, A., Valenzuela, C. (2025). Iron Dextran-Loaded Alginate-Calcium Multivesicular Microparticles As An Intramuscular Supplement: A New Approach For In Situ Prolonged Iron Release. *Food Structure*, 43(100411), 1-19.
- Dutt, S., Hamza , I., & Bartnikas, T. (2022). Molecular Mechanisms Of Iron And Heme Metabolism. *Annual Review Of Nutrition*, 42, 311-335.
- Enouri, S., Sullivan, T., Ramkissoon, S., Friendship, R., Gu, Y., & Johnson, R. (2022). Pharmacokinetics Of Combined Administration Of Iron Dextran With Meloxicam Or Flunixin Meglumine In Piglets. *The Canadian Veterinary Journal*, 63(7), 727-734.
- Estienne, M., Williams, K., Emami, N., Deener, C., & Dalloul, R. (2022). Effects Of Different Parenteral Iron Treatment Regimens On Hematology Characteristics, Serum Concentrations Of Hepcidin, And Growth Performance In Pigs Fed Nursery Diets Supplemented With Copper. *J. Swine Health Prod.*, 30(4), 210-222.
- Feng, Y., Wu, Y., Wang, J., Dong, Z., Xia, S., Liu, C., Wu, X. (2025). Enteromorpha Prolifera Polysaccharide-Fe (Iii) Complex Promotes Intestinal Development As A New Iron Supplement. *Find A Journal*, 68, 219-231.
- Friendship, R., Seip, V., & Amezcua, R. (2021). A Comparison Of 4 Iron Supplementation Protocols To Protect Suckling Piglets From Anemia. *The Canadian Veterinary Journal*, 62(1), 55.
- Gao, Q., Zhang, Y., Wu, Y., Gu, D., Chen, J., Chen, J., Wu, A. (2025). Dietary Fe-Gly Supplementation Attenuates Enterotoxigenic Escherichia Coli (Etec)-Induced Inflammation Response And Intestinal Barrier Dysfunction In Piglets. *Frontiers In Veterinary Science*, 12, 1537604.
- Gourley, K., Derouchey, J., Tokach, M., Dritz, S., Goodband, R., & Woodworth, J. (2020). Associations Between Piglet Umbilical Blood Hematological Criteria,

- Birth Order, Birth Interval, Colostrum Intake, And Piglet Survival. *Journal Of Animal Science*, 98(10), Skaa329.
- Gromova, O., Torshin, I., & Tetrushvili, N. (2025). Systematic Computer Analysis Of Iron Fumarate Pharmacology In The Treatment Of Iron Deficiency And Iron Deficiency Anemia. *Obstetrics Gynecology And Reproduction*, 19(2), 230-249.
- Hennig, I., Ganter, M., Bornhorn, D., Lyons, W., Marco, E., Almond, G., Pedersen, K. (2025). Effect Of Intramuscular Treatment With Different Iron Dextran Dosages And Noninferiority Study To Gletoferron. *Find A Journal*, 67(1), 1-12.
- Johnson, A., Li, W., Dittrich, B., Cole, A., Prodell, M., Lyons, W., Jang, Y. (2025). Effect Of Second Iron Injection On Growth Performance, Hematological Parameters, And Fecal Microbiome Of Piglets Fed Different Dietary Iron Levels. *Journal Of Animal Science*, 103(371), 1-18.
- Johnson, A., Li, W., Dittrich, B., Cole, A., Prodell, M., Lyons, W., Jang, Y. (2025). Effect Of Second Iron Injection On Growth Performance, Hematological Parameters, And Fecal Microbiome Of Piglets Fed Different Dietary Iron Levels. *Journal Of Animal Science*, 103(371), 1-18.
- Jose, A., Mahey, R., Sharma, J., Bhatla, N., Saxena, R., Kalaivani, M., & Kriplani, A. (2019). Comparison Of Ferric Carboxymaltose And Iron Sucrose Complex For Treatment Of Iron Deficiency Anemia In Pregnancy-Randomised Controlled Trial. *Bmc. Pregnancy And Childbirth*, 19, 1-8.
- Kopec, Z., Mazgaj, R., Starzyński, R., Wang, X., Opiela, J., Smorag, Z., Lipinski, P. (2024). Impact Of Litter Size On The Hematological And Iron Status Of Gilts, Sows And Newborn Piglets A Comparative Study Of Domestic Pigs And Wild Boars. *Bmc Veterinary Research*, 20(64), 1-19.
- Kwon, N., Kim, M., Oh, S., & Shin, J. (2025). Electrochemical Performance And Behavior Of Nickel Pig Iron Anodic Electrolysis For Enhanced Sulfuric Acid Leaching. *Electrochemistry Communications*, 177(107937), 1-12.

- Lee, H., & Kim, M. (2025). Effective Trace Mineral Processing Technology Or Pigs And Broilers. *Agriculture*, 15(5), 504.
- Lemon, C., & Marletta, M. (2021). Designer Heme Proteins: Achieving Novel Function With Abiological Heme Analogues. *Accounts Of Chemical Research*, 54(24), 4565-4575.
- Li , X., Lozovatsky, L., Fretz, J., & Finberg, K. (2021). . Bone Marrow Sinusoidal Endothelial Cells Are A Site Of Fgf23 Upregulation In Iron Deficiency Anemia. *Blood*, 138 - 759.
- Lima, G., Lemanski, C., Rank, A., & Jang, Y. (2025). Effect Of Iron Injection Strategies For Suckling Piglets On Pre- And Post-Weaning Growth Performance And Hematocrit Levels. *Rev. Colomb. Cienc. Pecu.*, 38(1), 26-37.
- Lindholm-Perry, A., Kuehn, L., Wells, J., Rempel, L., Chitko-Mckown, C., Keel, B., & Oliver, W. (2021). Hematology Parameters As Potential Indicators Of Feed Efficiency In Pigs. *Translational Animal Science*, 5(4), 1-8.
- Lindholm, A., Kuehn, L., Wells, J., Rempel, L., Chitko, C., Keel, B., & Oliver, W. (2021). Hematology Parameters As Potential Indicators Of Feed Efficiency In Pigs. *Translational Animal Science*, 5(4), 219.
- Ma, J., Liu, S., Piao, X., Wang, C., Wang, J., Lin, S., Liu, L. (2022). Dietary Supplementation Of Ferrous Glycine Chelate Improves Growth Performance Of Piglets By Enhancing Serum Immune Antioxidant Properties, Modulating Microbial Structure And Its Metabolic Uinction In The Early Stage. *Frontiers In Veterinary Science*, 9(876965), 1-17.
- Maes, D., Steyaert, M., Vanderhaeghe, C., López, A., De Jong, E., Del Pozo, R., Dewulf, J. (2011). Comparison Of Oral Versus Parenteral Iron Supplementation On The Health And Productivity Of Piglets. *Vetrecord*, 168(7), 188.
- Männer, K., Lester, H., & Henriquez, E. (2021). Ferric Citrate Is A Safe And Digestible Source Of Iron In Broilers And Piglets. *Peerj*, 9, E12636.

- Mazgaj, R., Lipinski, P., Szudzik, M., Jonczy, A., Kopec, Z., Stankiewicz, A., Starzynski, R. (2021). Comparative Evaluation Of Sucresomial Iron And Iron Oxide Nanoparticles As Oral Supplements In Iron Deficiency Anemia In Piglets. *Int. J. Mol. Sci.*, 22(18), 9930.
- Meng, Q., Wu, Q., Zhou, Q., Tang, J., Zhuo, Y., Fang, Z., Che, L. (2025). Impact Of Iron Supplementation On Growth Performance, Iron Homeostasis And Redox Balance Of Suckling Piglets. *Animals*, 15(7), 924.
- Mentz, R., Garg, J., Rockhold, F., Butler, J., De Pasquale, C., Ezekowitz, J., Blackm. (2023). Ferric Carboxymaltose In Heart Failure With Iron Deficiency. *New England Journal Of Medicine*, 389(11), 975-986.
- Merlot, E., Clouard, C., Resmond, R., Robert, R., Ferchaud, S., & Prunier, A. (2024). Effects Of Natural Oral Alternatives To Parental Iron Supplementation On Haematological And Health-Related Blood Parameters Of Organic Piglets. *Animal*, 18(9), 101194.
- Mleczko-Sanecka, K., & Silvestri, L. (2021). Cell-Type-Specific Insights Into Iron Regulatory Processes. *American Journal Of Hematology*, 110-127.
- Muniyappan, M., & Kim, H. (2023). Effects Of Iron Injection In Suckling Piglets On Growth Perormance, Fecal Score, And Hematological Criteria. *Korean Journal Of Agricultural Sciences*, 50(2), 197-206.
- Muñoz, M., Olsen, P., Studsgaard, T., Manhart, S., & Waldorff, S. (2019). Pharmacokinetics Of Ferric Bepectate-A New Intravenous Iron Drug For Treating Iron Deficiency. *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*, 85-186.
- Nemeth, E., & Ganz, T. (2021). Hepcidin-Ferroportin Interaction Controls Systemic Iron Homeostasis. *International Journal Of Molecular Sciences*, 22(12), 6493.
- Oven, I. G., Svete, A. N., Hajdinjak, M., Plut, J., & Stukelj, M. (2021). Haematological Profiles Of Pigs On Different Farms Reflect Their Health Status. *Research Square*, 10, 1-11.

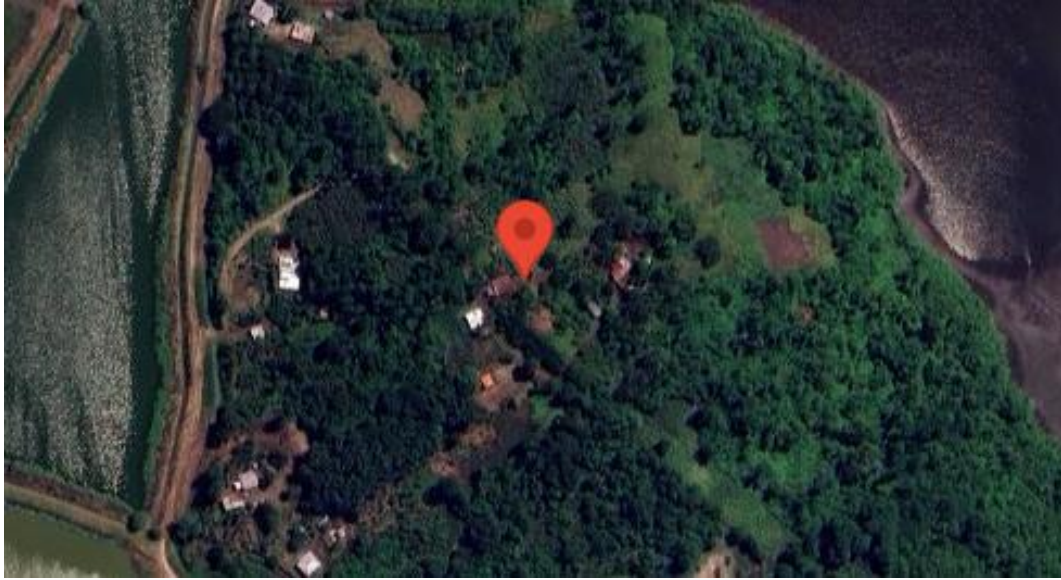
- Perng , V., Klocke, C., Navazesh , S., Pinneles, D., Lein, P., & Ji, P. (2020). Iron Deficiency And Iron Excess Differently Affect Dendritic Architecture Of Pyramidal Neurons In The Hippocampus Of Piglets. *The Journal Of Nutrition*, 151(1), 235-245.
- Pileri, E., Cominotti, F., & Casappa, P. (2021). Iron Deficiency Anemia In Piglets: Problem Solved Or Hidden Survery On Haemoglobin Level Of Pigs At Weaning And Efficacy Of Different Types Of Injectable Iron. *Cab Abstracts*, 10(11), 397-403.
- Plays, M., Müller, S., & Rodriguez, R. (2021). Chemistry And Biology Of Ferritin. *Metallomics*, 13(5), Mfab021.
- Predoi, G., Steluta, C., Liliana, S., Predoi, D., Billiana, D., Groza, A., Stefani, M. (2021). Preparation And Characterization Of Dextran Coated Iron Oxide Nanoparticles Thin Layers. *Polymers*, 13(14), 2351.
- Qui, X., Zhang, Y., Guo, H., Hai, Y., Luo, Y., & Yue, T. (2020). Mechanism And Intervention Measures Of Iron Side Effects On The Intestine. *Critical Reviews In Food Science And Nutrition*, 60(12), 2113-2125.
- Ribeiro, L., Dos Santos Neto, J., Bezerra, N., Lima De Oliveira, S., & Da Rocha Ataíde, T. (2019). Effects Of Iron Supplementation Versus Dietary Iron On The Nutritional Iron Status: Systematic Review With Meta-Analysis Of Randomized Controlled Trials. *Critical Reviews In Food Science And Nutrition*, 59(16), 2553-2561.
- Rydal, M., Bhattarai, S., & Nielsen, J. (2021). An Experimental Model For Iron Deficiency Anemia In Sows And Offspring Induced By Blood Removal During Gestation. *Animals*, 11(10), 2848.
- Sandhu, K., Flintoff, K., Chatfield, M., Dixon, J., Ramm, L., Ramm, G., Wallace, D. (2018). Phenotypic Analysis Of Hemochromatosis Subtypes Reveals Variations In Severity Of Iron Overload And Clinical Disease. *Blood*, 101-109.
- Santana-Codina, N., Gikandi, A., & Mancias, J. (2021). The Role Of Ncoa4-Mediated Ferritinophagy In Ferroptosis. *Ferroptosis: Mechanism And Diseases*, 41-57.

- Sawhney, S., Sarkar, G., Begum, S., & De, K. (2023). Iron Deficiency Anemia In Piglets And Molecular Mechanisms Involved In Iron Metabolism: A Review. *Indian J. Anim. Health*, 62(1), 47-58.
- Seip, V., Friendship, R., Amezcua, R., & Farzan, A. (2020). The Relationship Between Hemoglobin Levels At Weaning And Growth Performance And Antibody Response In Nursery Pigs. *The Canadian Veterinary Journal*, 61(11), 1170.
- Sharba, I., Aljabery, H., & Al-Khakani, M. (2021). Eritroferrona Como Um Novo Biomarcador Associado À Anemia Em Pacientes Iraquianos Com Drc. *Periódico Tchê Química*, 18(37).
- Slusarczyk, P., Kumar, P., Zurawska, G., Niklewicz, M., Chouhan, K., Mahadeva, R., Serwa. (2023). Impaired Iron Recycling From Erythrocytes Is An Early Hallmark Of Aging. *Elife*, 12, E79196.
- Sperling, D., Rodriguez, M., Frutos, L., & Morales, J. (2024). Combined Injection For Control Of Iron Deficiency Anemia And Coccidiosis In Piglets Decreases Stress At Management Time. *Animals*, 14(15), 2241.
- Thorn, C., Bowman, A., & Eckersall, D. (2022). Hematology Of Pigs. En M. Brooks, K. Harr, D. Seelig, K. Wardrop, & D. Weiss, *Schalm'S Veterinary Hematology* (Págs. 1019-1029). Usa: John Wiley & Sons, Inc.
- Tian, W., Fan, X., Liu, H., Zhefeng, W., Liu, C., & Xie, X. (2025). La Suplementación Materna Con Sacarosa Ferrosa Mejora El Rendimiento Reproductivo De Las Cerdas Y Las Reservas Hepáticas De Hierro De Los Lechones Neonatos. *Animales*, 15(3), 343.
- Veloso, G., Merit, L., Alaina, J., & Jang, Y. (2023). Effect Od Split Iron Injection To Sucking Pigs On Groth Perfomrance And Hematological Variables In Pre- And Post-Weaning Periods. *Journal Of Animal Science*, 101, 323.
- Williams, H., Carrender, B., Roubicek, C., Maurer, R., Derouchey, J., Woodworth, J., Gebhardt, J. (2021). Effects Of Iron Injection Timing On Suckling And Subsequent Nursery And Growing-Finishing Performance And Hematological Criteria. *Journal Af Animals Science*, 99(3), 71.

- Williams, H., Derouchev, J., Woodworth, J., Dritz, S., Tokach, M., Goodband, R., Gebhardt, J. (2020). Effects Of Increasing Fe Dosage In Newborn Pigs On Suckling And Subsequent Nursery Performance And Hematological And Immunological Criteria. *Journal Of Animal Science*, 98(8), 221.
- Xing, X., Zhang, C., Ji, P., Yang, J., Li, Q., Hongbiny, P., & An, Q. (2023). Effects Of Different Iron Supplements On Reproductive Performance And Antioxidant Capacity Of Pregnant Sows As Well As Iron Content And Antioxidant Gene Expression In Newborn Piglets. *Animals*, 13(3), 517.
- Zhang, S., Yu, B., Liu, Q., Zhang, Y., Zhu, M., Shi, L., & Chen, H. (2022). Assessment Of Hematologic And Biochemical Parameters For Healthy Commercial Pigs In China. *Animals*, 12(18), 2464.
- Zhao, P., Upadhaya, S., Li, J., & Kim, I. (2015). Comparison Effects Of Dietary Iron Dextran And Bacterial-Iron Supplementation On Growth Performance, Fecal Microbial Flora, And Blood Profiles In Sows And Their Litters. *Animal Science Journal*, 86, 937.
- Zhao, P., Upadhaya, S., Li, J., & Kim, I. (2015). Comparison Effects Of Dietary Iron Dextran And Bacterial-Iron Supplementation On Growth Performance, Fecal Microbial Flora, And Blood Profiles In Sows And Their Litters. *Animal Science Journal*, 86, 937-942.
- Zheng, B., & Xiao, M. (2025). Harnessing Food-Derived Bioactive Peptides For Iron Chelation: An Alternative Solution To Iron Deficiency Anemia. *Food & Function*, 11(1), 1-9.

ANEXOS

Anexo 1. Lugar de investigación



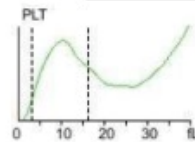
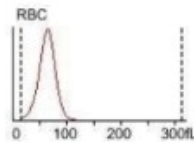
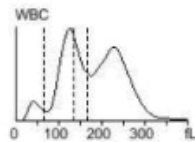
Anexo 2. Resultados hematológicos.

T0 (única dosis de hierro dextrano)

INFORME DE ANALISIS DE HEMOGRAMA

Nombre del paciente: 044 ID de muestra: 251221 Especie: Porcino
 Nombre del propietario: Lizbeth Guaman Hist.clin. N.º: 291124 Género: Macho
 Hora de análisis: 29/11/2024 13:15 Diagnóstico: Edad: 20 Día

Parám.	Resultado	Rango de ref.	Unidad								
1 WBC	13,74	11,00-22,00	10⁹/L	<table border="1"> <tr><td>Mensaje WBC</td></tr> <tr><td>Aumento de cél. MID</td></tr> <tr><td>Mensaje RBC</td></tr> <tr><td>Anemia</td></tr> <tr><td>Mensaje PLT</td></tr> <tr><td>Trombocitopenia</td></tr> <tr><td>Mensaje Other</td></tr> </table>	Mensaje WBC	Aumento de cél. MID	Mensaje RBC	Anemia	Mensaje PLT	Trombocitopenia	Mensaje Other
Mensaje WBC											
Aumento de cél. MID											
Mensaje RBC											
Anemia											
Mensaje PLT											
Trombocitopenia											
Mensaje Other											
2 Lym%	0,534	0,390-0,620									
3 Gran%	0,373	0,280-0,470									
4 Mid%	0,191 ↑	0,002-0,100									
5 Lym#	4,45	3,08-16,50	10 ⁹ /L								
6 Gran#	3,21	2,00-15,00	10 ⁹ /L								
7 Mid#	3,96 ↑	0,10-1,50	10 ⁹ /L								
8 RBC	4,04 ↓	5,00-8,00	10¹²/L								
9 HGB	67 ↓	80-150	g/L								
10 HCT	0,321	0,320-0,500									
11 MCV	49,3 ↓	50,0-68,0	fL								
12 MCH	18,6	17,0-21,0	pg								
13 MCHC	376	300-380	g/L								
14 RDW-CV	0,234	0,140-0,350									
15 RDW-SD	58,3	0,1-99,9	fL								
16 PLT	38 ↓	60-500	10⁹/L								
17 MPV	3,9	1,8-15,0	fL								
18 PDW	1,7	0,1-30,0	fL								
19 PCT	0,11	0,10-8,00	mL/L								



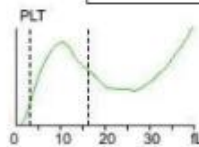
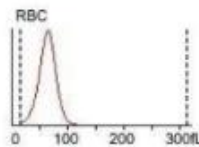
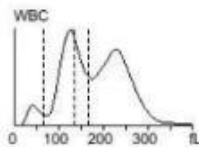
Biometría hemática de los lechones a los 14 días.

T0 (única dosis de hierro dextrano)

INFORME DE ANALISIS DE HEMOGRAMA

Nombre del paciente: 044	ID de muestra: 121230	Especie: Porcino
Nombre del propietario: Lizbeth Guaman	Hist.clin. N.º: 201224	Género: Macho
Hora de análisis: 20/12/2024 11:32	Diagnóstico:	Edad: 30 Día

Parám.	Resultado	Rango de ref.	Unidad	
1 WBC	22,67 ↑	11,00-22,00	10⁹/L	Mensaje WBC Leucocitosis Aumento de cél. MID
2 Lym%	0,322	0,390-0,620		
3 Gran%	0,544	0,280-0,470		
4 Mid%	0,134	0,002-0,100		
5 Lym#	7,30	3,08-16,50	10 ⁹ /L	
6 Gran#	12,34	2,00-15,00	10 ⁹ /L	
7 Mid#	3,03	0,10-1,50	10 ⁹ /L	
8 RBC	5,07	5,00-8,00	10¹²/L	Mensaje RBC Macrocitosis
9 HGB	96	80-150	g/L	
10 HCT	0,265	0,320-0,500		
11 MCV	52,4	50,0-68,0	fL	
12 MCH	18,9	17,0-21,0	pg	
13 MCHC	362	300-380	g/L	Mensaje PLT
14 RDW-CV	0,229	0,140-0,350		
15 RDW-SD	41,4	0,1-99,9	fL	
16 PLT	199	60-500	10⁹/L	Mensaje Other
17 MPV	8,5	1,8-15,0	fL	
18 PDW	7,9	0,1-30,0	fL	
19 PCT	1,68	0,10-8,00	mL/L	



Biometría hemática de los lechones a los 28 días.

T0 (única dosis de hierro dextrano)

INFORME DE ANALISIS DE HEMOGRAMA

Nombre del paciente: 044	ID de muestra: 121295	Especie: Porcino
Nombre del propietario: Lizbeth Guaman	Hist.clin. N.º: 200125	Género: Macho
Hora de análisis: 20/01/2025 12:28	Diagnóstico:	Edad: 60 Día

Parám.	Resultado	Rango de ref.	Unidad
1 WBC	13,87	11,00-22,00	10⁹/L
2 Lym%	0,413 ↓	0,390-0,620	
3 Gran%	0,389 ↑	0,280-0,470	
4 Mid%	0,198 ↑	0,002-0,100	
5 Lym#	5,73	3,08-16,50	10 ⁹ /L
6 Gran#	5,40	2,00-15,00	10 ⁹ /L
7 Mid#	2,74 ↑	0,10-1,50	10 ⁹ /L
8 RBC	4,26 ↓	5,00-8,00	10¹²/L
9 HGB	88	80-150	g/L
10 HCT	0,227 ↓	0,320-0,500	
11 MCV	53,4	50,0-68,0	fL
12 MCH	20,7	17,0-21,0	pg
13 MCHC	387	300-380	g/L
14 RDW-CV	0,199	0,140-0,350	
15 RDW-SD	36,9	0,1-99,9	fL
16 PLT	17 ↓	60-500	10⁹/L
17 MPV	8,4	1,8-15,0	fL
18 PDW	8,0	0,1-30,0	fL
19 PCT	0,15	0,10-8,00	mL/L

Mensaje WBC

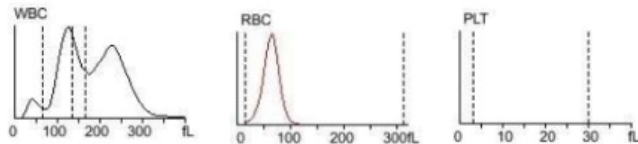
Monocitosis

Mensaje RBC

Mensaje PLT

Trombocitopenia

Mensaje Other



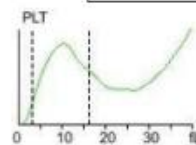
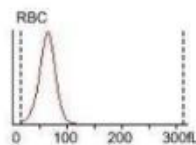
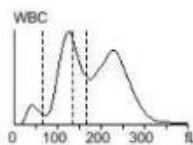
Biometría hemática de los lechones a los 52 días.

T1 (doble dosis de hierro dextrano)

INFORME DE ANALISIS DE HEMOGRAMA

Nombre del paciente: 047	ID de muestra: 251221	Especie: Porcino
Nombre del propietario: Lizbeth Guaman	Hist.clin. N.º: 291124	Género: Hembra
Hora de análisis: 29/11/2024 13:18	Diagnóstico:	Edad: 20 Día

Parám.	Resultado	Rango de ref.	Unidad	
1 WBC	14,82	11,00-22,00	10⁹/L	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Mensaje WBC</div> Aumento de cél. MID
2 Lym%	0,402	0,390-0,620		
3 Gran%	0,472 ↑	0,280-0,470		
4 Mid%	0,132 ↑	0,002-0,100		
5 Lym#	5,11	3,08-16,50	10 ⁹ /L	
6 Gran#	4,45	2,00-15,00	10 ⁹ /L	
7 Mid#	3,28 ↑	0,10-1,50	10 ⁹ /L	
8 RBC	4,68 ↓	5,00-8,00	10¹²/L	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Mensaje RBC</div> Anemia
9 HGB	89 ↓	80-150	g/L	
10 HCT	0,310 ↓	0,320-0,500		
11 MCV	56,2	50,0-68,0	fL	
12 MCH	18,3	17,0-21,0	pg	
13 MCHC	304	300-380	g/L	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Mensaje PLT</div> Trombocitopenia
14 RDW-CV	0,345	0,140-0,350		
15 RDW-SD	52,1	0,1-99,9	fL	
16 PLT	14 ↓	60-500	10⁹/L	
17 MPV	2,0	1,8-15,0	fL	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Mensaje Other</div>
18 PDW	1,8	0,1-30,0	fL	
19 PCT	0,12	0,10-8,00	mL/L	



Biometría hemática de los lechones a los 14 días.

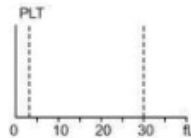
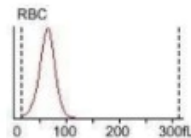
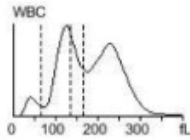
T1 (doble dosis de hierro dextrano)

INFORME DE ANALISIS DE HEMOGRAMA

Nombre del paciente: 047	ID de muestra: 121237	Especie: Porcino
Nombre del propietario: Lizbeth Guaman	Hist.clin. N.º: 201224	Género: Hembra
Hora de análisis: 20/12/2024 11:43	Diagnóstico:	Edad: 30 Día

Parám.	Resultado	Rango de ref.	Unidad
1 WBC	3,19 ↓	11,00-22,00	10⁹/L
2 Lym%	0,543	0,390-0,620	
3 Gran%	0,305	0,280-0,470	
4 Mid%	0,152 ↑	0,002-0,100	
5 Lym#	1,74 ↓	3,08-16,50	10 ⁹ /L
6 Gran#	0,97 ↓	2,00-15,00	10 ⁹ /L
7 Mid#	0,48	0,10-1,50	10 ⁹ /L
8 RBC	3,26 ↓	5,00-8,00	10¹²/L
9 HGB	70 ↓	80-150	g/L
10 HCT	0,212 ↓	0,320-0,500	
11 MCV	65,0	50,0-68,0	fL
12 MCH	21,6 ↑	17,0-21,0	pg
13 MCHC	332	300-380	g/L
14 RDW-CV	0,178	0,140-0,350	
15 RDW-SD	40,7	0,1-99,9	fL
16 PLT	6 ↓	60-500	10⁹/L
17 MPV	0,02 ↓	1,8-15,0	fL
18 PDW	0,02 ↓	0,1-30,0	fL
19 PCT	0,03 ↓	0,10-8,00	mL/L

Mensaje WBC
Linfopenia Neutropenia
Mensaje RBC
Anemia
Mensaje PLT
Trombocitopenia
Mensaje Other



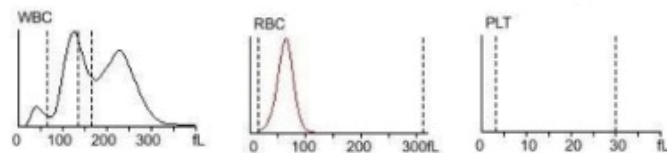
Biometría hemática de los lechones a los 28 días.

T1 (doble dosis de hierro dextrano)

INFORME DE ANALISIS DE HEMOGRAMA

Nombre del paciente: 047	ID de muestra: 121296	Especie: Porcino
Nombre del propietario: Lizbeth Guaman	Hist.clin. N.º: 200125	Género: Macho
Hora de análisis: 20/01/2025 12:33	Diagnóstico:	Edad: 60 Día

Parám.	Resultado	Rango de ref.	Unidad	
1 WBC	20,78	11,00-22,00	10⁹/L	Mensaje WBC
2 Lym%	0,371 ↓	0,390-0,620		Monocitosis
3 Gran%	0,424	0,280-0,470		
4 Mid%	0,205 ↑	0,002-0,100		
5 Lym#	7,71	3,08-16,50	10 ⁹ /L	
6 Gran#	8,82	2,00-15,00	10 ⁹ /L	
7 Mid#	4,25 ↑	0,10-1,50	10 ⁹ /L	
8 RBC	3,93	5,00-8,00	10¹²/L	Mensaje RBC
9 HGB	72 ↓	80-150	g/L	Anemia
10 HCT	0,199 ↓	0,320-0,500		
11 MCV	50,7	50,0-68,0	fL	
12 MCH	18,4	17,0-21,0	pg	
13 MCHC	362	300-380	g/L	
14 RDW-CV	0,274	0,140-0,350		
15 RDW-SD	48,1	0,1-99,9	fL	Mensaje PLT
16 PLT	35	60-500	10⁹/L	Trombocitopenia
17 MPV	5,3	1,8-15,0	fL	
18 PDW	5,6	0,1-30,0	fL	
19 PCT	0,19	0,10-8,00	mL/L	Mensaje Other



Biometría hemática de los lechones a los 52 días.

T2 (15 mg/kg de carboximaltosa férrica)

INFORME DE ANALISIS DE HEMOGRAMA

Nombre del paciente: 052

ID de muestra: 251215

Especie: Porcino

Nombre del propietario: Lizbeth Guaman

Hist.clin. N.º: 291124

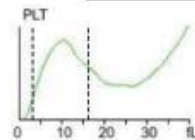
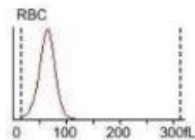
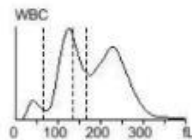
Género: Hembra

Hora de análisis: 29/11/2024 10:49

Diagnóstico:

Edad: 20 Mes

Parám.	Resultado	Rango de ref.	Unidad	
1 WBC	24,50 ↑	11,00-22,00	10⁹/L	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Mensaje WBC</div> Leucocitosis Aumento de cél. MID
2 Lym%	0,307 ↓	0,390-0,620		
3 Gran%	0,534 ↑	0,280-0,470		
4 Mid%	0,159 ↑	0,002-0,100		
5 Lym#	7,52	3,08-16,50	10 ⁹ /L	
6 Gran#	13,09	2,00-15,00	10 ⁹ /L	
7 Mid#	3,89 ↑	0,10-1,50	10 ⁹ /L	
8 RBC	5,94	5,00-8,00	10¹²/L	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Mensaje RBC</div>
9 HGB	122	80-150	g/L	
10 HCT	0,326	0,320-0,500		
11 MCV	54,9	50,0-68,0	fL	
12 MCH	20,6	17,0-21,0	pg	
13 MCHC	374	300-380	g/L	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Mensaje PLT</div>
14 RDW-CV	0,244	0,140-0,350		
15 RDW-SD	46,4	0,1-99,9	fL	
16 PLT	276	60-500	10⁹/L	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Mensaje Other</div>
17 MPV	7,7	1,8-15,0	fL	
18 PDW	9,1	0,1-30,0	fL	
19 PCT	2,13	0,10-8,00	mL/L	



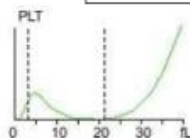
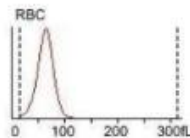
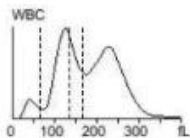
Biometría hemática de los lechones a los 14 días.

T2 (15 mg/kg de carboximaltosa férrica)

INFORME DE ANALISIS DE HEMOGRAMA

Nombre del paciente: 052	ID de muestra: 121232	Especie: Porcino
Nombre del propietario: Lizbeth Guaman	Hist.clin. N.º: 201224	Género: Hembra
Hora de análisis: 20/12/2024 11:36	Diagnóstico:	Edad: 30 Día

Parám.	Resultado	Rango de ref.	Unidad	
1 WBC	20,17	11,00-22,00	10⁹/L	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Mensaje WBC</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Aumento de cél. MID</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Mensaje RBC</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">Mensaje PLT</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Mensaje Other</div>
2 Lym%	0,274 ↓	0,390-0,620		
3 Gran%	0,562 ↑	0,280-0,470		
4 Mid%	0,164 ↑	0,002-0,100		
5 Lym#	5,53	3,08-16,50	10 ⁹ /L	
6 Gran#	11,34	2,00-15,00	10 ⁹ /L	
7 Mid#	3,30 ↑	0,10-1,50	10 ⁹ /L	
8 RBC	4,93 ↓	5,00-8,00	10¹²/L	
9 HGB	102	80-150	g/L	
10 HCT	0,269	0,320-0,500		
11 MCV	54,5	50,0-68,0	fL	
12 MCH	20,7	17,0-21,0	pg	
13 MCHC	379	300-380	g/L	
14 RDW-CV	0,263	0,140-0,350		
15 RDW-SD	49,2	0,1-99,9	fL	
16 PLT	289	60-500	10⁹/L	
17 MPV	8,0	1,8-15,0	fL	
18 PDW	8,7	0,1-30,0	fL	
19 PCT	2,31	0,10-8,00	mL/L	



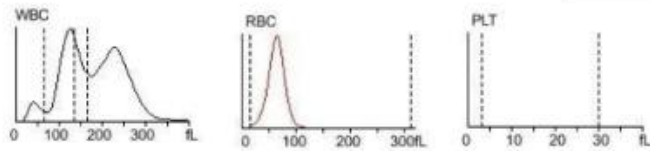
Biometría hemática de los lechones a los 28 días.

T2 (15 mg/kg de carboximaltosa férrica)

INFORME DE ANALISIS DE HEMOGRAMA

Nombre del paciente: 052	ID de muestra: 121292	Especie: Porcino
Nombre del propietario: Lizbeth Guaman	Hist.clin. N.º: 200125	Género: Hembra
Hora de análisis: 20/01/2025 12:17	Diagnóstico:	Edad: 60 Día

Parám.	Resultado	Rango de ref.	Unidad	
1 WBC	20,76	11,00-22,00	10⁹/L	Mensaje WBC
2 Lym%	0,229	0,390-0,620		Monocitosis
3 Gran%	0,600 ↑	0,280-0,470		
4 Mid%	0,171 ↑	0,002-0,100		
5 Lym#	4,76	3,08-16,50	10 ⁹ /L	
6 Gran#	12,46	2,00-15,00	10 ⁹ /L	
7 Mid#	3,54 ↑	0,10-1,50	10 ⁹ /L	
8 RBC	4,92 ↓	5,00-8,00	10¹²/L	Mensaje RBC
9 HGB	96	80-150	g/L	
10 HCT	0,266 ↓	0,320-0,500		
11 MCV	54,0	50,0-68,0	fL	
12 MCH	19,6	17,0-21,0	pg	
13 MCHC	363	300-380	g/L	
14 RDW-CV	0,196	0,140-0,350		
15 RDW-SD	36,9	0,1-99,9	fL	
16 PLT	124	60-500	10⁹/L	Mensaje PLT
17 MPV	8,3	1,8-15,0	fL	
18 PDW	8,5	0,1-30,0	fL	
19 PCT	1,03	0,10-8,00	mL/L	Mensaje Other



Biometría hemática de los lechones a los 52 días.

Resultados de la medición del hierro sérico

HELP VET

Informe de Resultados



Fecha de toma de muestras: 01/20/2025
Fecha de inicio de análisis: 01/20/2025
Fecha de emisión de análisis: 01/24/2025

Propietario: Lizbeth Guamán

Nombre/ Identificación:

Provincia: Bolívar

Sector: Guanujo

Especie: Porcino

Total de muestras: 7

Cantón: Guaranda

Remite: Lizbeth Guamán

Parroquia: xxxxx

Tel.: 096 7332893

Tipo de muestra: Sangre Entera

EXAMEN SOLICITADO: Hierro Sérico (Porcino)

Técnica: Enzimática Colorimétrica

Código	Identificación(1)	Raza(1)	Sexo(1)	Edad (1)	Resultado umol /L
012025-1	046	Mz	M	60 días	28,65
012025-2	058	Mz	H	60 días	17,12
012025-3	047	Mz	H	60 días	13,32
012025-4	077	Mz	M	60 días	12,41
012025-5	054	Mz	H	60 días	44,52
012025-6	059	Mz	M	60 días	42,56
012025-7	053	Mz	M	60 días	16,86

(1) Información suministrada por el cliente.

Nomenclatura:

Mz: Mestiza

Observaciones:

Las muestras se mantuvieron en refrigeración y fueron transportadas en cadena de frío.

Nota

1. Los resultados son válidos únicamente para las muestras recibidas y procesadas en el laboratorio.
2. HELP VET. No es responsable de la información suministrada por el cliente que pueda afectar la validez de los resultados

Responsable:



Anexo 3. Base de datos

T0	Sexo	Al nacer	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7	SEMANA 8
1M	Macho	1,48	2,5	3,7	4,8	5,7	6,6	8	9,35	11
2M	Macho	1,38	2	3,58	4,68	5,5	6,78	7,89	9,5	10,5
3M	Macho	1,63	2,8	3,8	4,95	5,8	6,5	8	9,5	10,73
4M	Macho	1,72	2,45	3,92	5,05	5,9	6,8	8,45	9,52	10,83
5M	Macho	1,42	2,5	3,65	4,75	5,65	6,53	7,9	9,2	10,5
6M	Macho	1,68	2,6	3,88	4,98	5,75	6,8	8,1	9,48	10,8

T1	Sexo	Al nacer	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7	SEMANA 8
1H	Hembra	1,52	2,72	3,82	5,1	6,7	8,62	11,4	14,62	18,9
2H	Hembra	1,52	2,48	3,5	4,8	6,35	8,3	11	14,1	18,6
3H	Hembra	1,78	2,98	4,05	5,38	6,8	8,8	11,7	14,9	18,9
4H	Hembra	1,85	3	5	6,8	8,9	11,7	14,9	19,2	24
5H	Hembra	1,76	2,73	3,83	5,1	6,7	8,63	11	14,56	18
6H	Hembra	1,68	2,2	3,3	4,58	6,2	8	10,05	14	18,3

T2	Sexo	Al nacer	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7	SEMANA 8
1M	Macho	1,42	2,4	3,6	4,5	5,2	6,3	7,8	9,15	10,9
2M	Macho	1,41	2,5	3,6	4,73	5,63	6,78	8,4	9	10,5
3M	Macho	1,48	2,5	3,7	4,7	5,68	6,5	7,9	9,1	11,15
4H	Hembra	1,39	2	3,5	4,5	5,4	6,5	7,8	9,3	10,75
5H	Hembra	1,75	2,73	3,8	5	6,5	8,63	10,9	14,5	17
6H	Hembra	1,5	2,7	3,78	4,7	6,7	8,6	11,3	14,6	18,8

Anexo 4. Fotografías de la investigación



Foto 1: Atención del parto de las cerdas

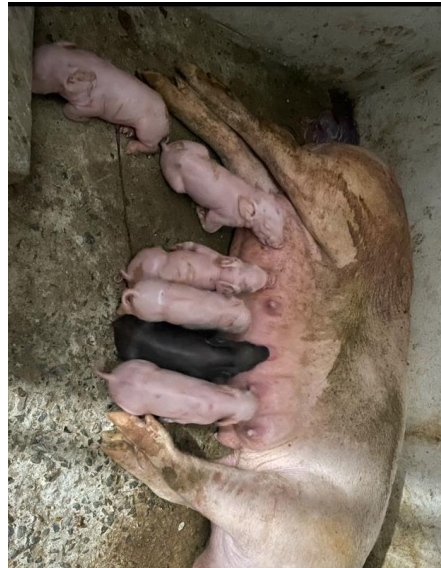


Foto 2: Cerda en el periparto



Foto 3: Pesaje de los lechones al nacimiento

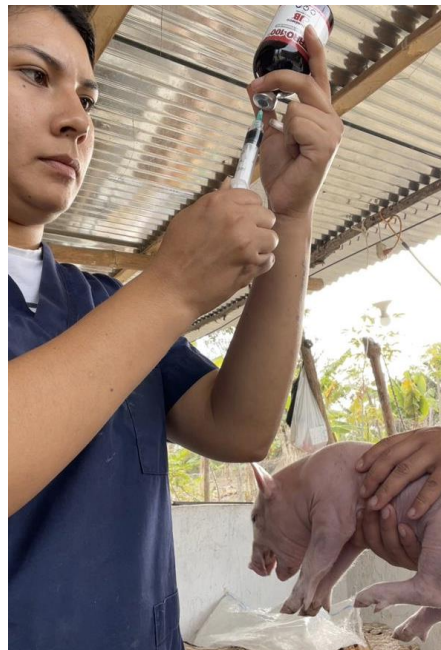


Foto 4: Inyección de hierro dextrano



Foto 5: Medicamentos utilizados



Foto 6: Inyección de carboximaltosa férrica



Foto 7: Toma de muestra de sangre de los lechones



Foto 8: Proceso de análisis de las muestras de sangre de los lechones



Foto 9: Pesaje de los lechones postdestete



Foto 10: Pesaje de los lechones postdestete



Foto 11: Defensa de las actividades del proceso experimental de campo



Foto 12: Defensa de las actividades del proceso experimental de campo

Anexo 5. Glosario de términos.

Anemia ferropénica: Condición hematológica caracterizada por una disminución de la masa eritrocitaria funcional debido a la deficiencia de hierro, lo que compromete la síntesis de hemoglobina y disminuye la oxigenación tisular.

Biomarcadores hematológicos: Indicadores medibles en sangre que reflejan el estado funcional del sistema hematopoyético, utilizados para el diagnóstico, seguimiento y evaluación de tratamientos en enfermedades como la anemia.

Ciclo eritrocitario: Duración funcional de un eritrocito desde su liberación a la circulación hasta su destrucción, normalmente de 100–120 días en mamíferos adultos, pero más corto en neonatos porcinos.

Cinética hematológica: Estudio del comportamiento dinámico de los elementos formes de la sangre frente a estímulos fisiológicos o patológicos, incluyendo velocidad de regeneración eritrocitaria y respuesta a tratamientos con hierro.

Concentración media de hemoglobina corpuscular (MCHC): Medida que relaciona la cantidad de hemoglobina con el volumen del eritrocito, expresada en g/dL; permite evaluar la concentración relativa de hemoglobina dentro de los glóbulos rojos.

Eritropoyesis: Proceso hematopoyético específico que ocurre principalmente en la médula ósea roja, mediante el cual se generan nuevos eritrocitos a partir de progenitores mieloides bajo regulación hormonal por la eritropoyetina (EPO), dependiente de hierro y vitaminas del complejo B.

Estado ferrocinético: Condición fisiológica que describe el balance entre la absorción, distribución, utilización y almacenamiento del hierro, evaluado mediante estudios bioquímicos como ferritina, hierro sérico, capacidad total de fijación de hierro (TIBC) y saturación de transferrina.

Fase postdestete: Periodo crítico de transición fisiológica y nutricional en el lechón que se caracteriza por estrés metabólico, alteración inmunológica y cambios en la biodisponibilidad de micronutrientes como el hierro.

Ferritina: Complejo proteico intracelular de almacenamiento de hierro, que permite su depósito en forma segura y no reactiva; es un marcador clínico importante del estado férrico corporal.

Ferroportina: Transportador transmembrana responsable de la exportación celular de hierro desde los enterocitos y macrófagos hacia el plasma; su actividad está negativamente regulada por la hepcidina.

Hematocrito (HCT): Índice hematológico que expresa el volumen porcentual de eritrocitos respecto al volumen total de sangre, utilizado como un marcador indirecto de la capacidad de transporte de oxígeno y del estado hidratacional del organismo.

Hemoglobina (Hb): Metaloproteína tetramérica presente en los eritrocitos, cuya función principal es la reversibilidad en la fijación del oxígeno molecular (O₂) y el transporte de dióxido de carbono (CO₂); su síntesis depende directamente de la disponibilidad intracelular de hierro.

Hemoglobina corpuscular media (MCH): Indicador que cuantifica la masa promedio de hemoglobina contenida en cada eritrocito, expresado en picogramos (pg); se emplea en la caracterización de anemias hipocrómicas o normocrómicas.

Hepcidina: Péptido hormonal sintetizado en los hepatocitos que actúa como regulador central del metabolismo del hierro, al inhibir la ferroportina e impedir la liberación de hierro desde los enterocitos y macrófagos hacia la circulación sistémica.

Hierro dextrano: Complejo macromolecular compuesto por hierro férrico estabilizado con dextrano de bajo peso molecular, utilizado en medicina veterinaria para la prevención y corrección de la anemia ferropénica en neonatos, administrado comúnmente por vía intramuscular profunda.

Hipoxia tisular: Estado patofisiológico caracterizado por un suministro inadecuado de oxígeno a los tejidos, frecuentemente consecuencia de anemia, alteraciones cardiovasculares o respiratorias.

Homeostasis del hierro: Mecanismo fisiológico finamente regulado que mantiene el equilibrio entre la absorción intestinal, el almacenamiento (principalmente en

hígado y macrófagos) y la movilización sistémica del hierro, mediado por la hepcidina hepática.

Micronutriente esencial: Elemento inorgánico requerido en pequeñas cantidades para el correcto funcionamiento metabólico y celular, cuya deficiencia puede desencadenar alteraciones fisiológicas significativas; el hierro es uno de los más críticos en neonatos.

Parámetros hematológicos: Conjunto de variables cuantitativas y cualitativas obtenidas del hemograma, que permiten evaluar el estado funcional del sistema hematopoyético, incluyendo Hb, HCT, RBC, WBC, MCV, MCH y MCHC.

Recuento de eritrocitos (RBC): Conteo absoluto de glóbulos rojos por unidad de volumen sanguíneo, indicador fundamental de la eritropoyesis medular y del equilibrio entre producción y destrucción eritrocitaria.

Recuento de leucocitos (WBC): Medida cuantitativa del número total de leucocitos por litro de sangre, parámetro clave en la evaluación de la respuesta inmune innata y adaptativa, así como del estado inflamatorio sistémico.

Suplementación parenteral: Administración de compuestos nutricionales o farmacológicos mediante vías distintas a la digestiva (intramuscular, intravenosa), con el fin de garantizar una absorción inmediata y eficaz, como es el caso del hierro dextrano.

Transferrina: Glicoproteína plasmática sintetizada en el hígado que transporta hierro férrico (Fe^{3+}) en la circulación, facilitando su entrega a los tejidos mediante el receptor de transferrina (TfR1).

Volumen corpuscular medio (MCV): Parámetro eritrocitario que refleja el volumen promedio de los glóbulos rojos, expresado en femtolitros (fL); útil para clasificar las anemias en microcíticas, normocíticas o macrocíticas.