UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE MEDICINA VETERINARIA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CINÉTICA ESPERMÁTICA POS DESCONGELACIÓN EN LÍNEAS PORCINAS MATERNALES Y FINALIZADORAS MEDIANTE EL SISTEMA DE EVALUACIÓN COMPUTARIZADA CASA.”

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Médicos Veterinarios

Autores:
Alvarez Quilligana Emily Camila
Jacho Guanoluisa Ivan Alejandro

Tutora:
Veloz Veloz Dina Maricela

LATACUNGA – ECUADOR
Agosto 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Alvarez Quilligana Emily Camila, con cédula de ciudadanía No. 1761690066 y Jacho Guanoluisa Ivan Alejandro, con cédula de ciudadanía No. 0550630131, declaramos ser autores del presente Proyecto de Investigación: **"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CINÉTICA ESPERMÁTICA POS DESCONGELACIÓN EN LÍNEAS PORCINAS MATERNALES Y FINALIZADORAS MEDIANTE EL SISTEMA DE EVALUACIÓN COMPUTARIZADA CASA"**, siendo la Médica Veterinaria Zootecnista. Veloz Veloz Dina Maricela, Tutora del presente trabajo; y, eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 3 de agosto del 2026

Emily Camila Alvarez Quilligana
C.C: 1751590066
ESTUDIANTE

Ivan Alejandro Jacho Guanoluisa
C.C: 0550630131
ESTUDIANTE

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **ALVAREZ QUILLIGANA EMILY CAMILA**, identificada con cédula de ciudadanía **1751590066** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - LA CEDENTE es una persona natural estudiante de la carrera de Medicina Veterinaria, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CINÉTICA ESPERMÁTICA POS DESCONGELACIÓN EN LÍNEAS PORCINAS MATERNALES Y FINALIZADORAS MEDIANTE EL SISTEMA DE EVALUACIÓN COMPUTARIZADA CASA"**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Octubre 2021 – Marzo 2022

Finalización de la carrera: Abril 2026 – Agosto 2026

Tutor: MVZ. Dina Maricela Veloz Veloz, Msc.

Tema: **"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CINÉTICA ESPERMÁTICA POS DESCONGELACIÓN EN LÍNEAS PORCINAS MATERNALES Y FINALIZADORAS MEDIANTE EL SISTEMA DE EVALUACIÓN COMPUTARIZADA CASA"**

CLÁUSULA SEGUNDA. - LA CESIONARIA es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
b) La publicación del trabajo de grado.

c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.

Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 3 días del mes de Agosto de 2026.

Emily Camila Alvarez Quilligana	Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CEDENTE	**LA CESIONARIA**

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **JACHO GUANOLUISA IVAN ALEJANDRO**, identificado con cédula de ciudadanía **0550630131** de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - EL CEDENTE es una persona natural estudiante de la carrera de Medicina Veterinaria, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CINÉTICA ESPERMÁTICA POS DESCONGELACIÓN EN LÍNEAS PORCINAS MATERNALES Y FINALIZADORAS MEDIANTE EL SISTEMA DE EVALUACIÓN COMPUTARIZADA CASA"**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Octubre 2021 – Marzo 2022

Finalización de la carrera: Abril 2026 – Agosto 2026

Tutor: MVZ. Dina Maricela Veloz Veloz, MSc.

Tema: **"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CINÉTICA ESPERMÁTICA POS DESCONGELACIÓN EN LÍNEAS PORCINAS MATERNALES Y FINALIZADORAS MEDIANTE EL SISTEMA DE EVALUACIÓN COMPUTARIZADA CASA"**

CLÁUSULA SEGUNDA. - LA CESIONARIA es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
b) La publicación del trabajo de grado.

c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.

Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de E**L CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 3 días del mes de Agosto del 2026.

Ivan Alejandro Jacho Guanoluisa
EL CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CESIONARIA

AVAL DE LA TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutora del Proyecto de Investigación con el título:

"**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CINÉTICA ESPERMÁTICA POS DESCONGELACIÓN EN LÍNEAS PORCINAS MATERNALES Y FINALIZADORAS MEDIANTE EL SISTEMA DE EVALUACIÓN COMPUTARIZADA CASA**", de Alvarez Quilligana Emily Camila y Jacho Guanoluisa Ivan Alejandro, de la carrera de Medicina Veterinaria, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también han incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

Latacunga, 3 de Agosto del 2026

MVZ. Dina Maricela Veloz Veloz, MSc.

C.C: 1720299302

DOCENTE TUTORA

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, los postulantes: Alvarez Quilligana Emily Camila y Jacho Guanoluisa Ivan Alejandro, con el título del Proyecto de Investigación: **"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CINÉTICA ESPERMÁTICA POS DESCONGELACIÓN EN LÍNEAS PORCINAS MATERNALES Y FINALIZADORAS MEDIANTE EL SISTEMA DE EVALUACIÓN COMPUTARIZADA CASA"**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 3 de Agosto del 2026

MVZ. Cristian Fernando Beltrán Romero, Mg.
C.C: 0501942940
LECTOR 1 (PRESIDENTE)

MVZ. Edie Gabriel Molina Cuasapaz, Mtr.
C.C: 1722547278
LECTOR 2 (MIEMBRO)

MVZ. Cristian Neptali Arcos Alvarez, Mg.
C.C: 18036756341
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Mirar atrás y contemplar el camino recorrido hasta alcanzar esta meta me llena de una profunda gratitud hacia quienes fueron el pilar fundamental para hacer este sueño realidad.

Quiero agradecer con el alma a mis padres, mamá y papá, por ser los cimientos de mi vida, por su amor incondicional y por cada sacrificio que hoy se refleja en este logro. A mis abuelos, por su sabiduría y su cariño inagotable; a mis tíos, por su apoyo constante; y a mis hermanas, por su complicidad.

Y a mis docentes por la guía y el ejemplo de lo que es ser un buen profesional.

Extiendo este agradecimiento a mi compañero de tesis, por su paciencia y trabajo en equipo que hizo posible culminar esta investigación. A todos ustedes, mi más sincero reconocimiento.

Camila.

AGRADECIMIENTO

A lo largo de este camino académico, que hoy culmina con la presentación de esta tesis, muchas personas han sido pilares fundamentales y fuentes inagotables de apoyo. A todas ellas, mi más sincero reconocimiento:

A mis padres, por ser el motor principal de mi vida. Gracias a mi mamá, por su amor incondicional, sus palabras de aliento en los momentos de mayor cansancio y por enseñarme que con constancia y sacrificio todo es posible. Gracias a mi papá, por su ejemplo de esfuerzo, su guía constante y por brindarme las herramientas necesarias para alcanzar mis metas. Este logro es, en gran medida, de ustedes.

A mi compañera de tesis, por haber compartido este intenso trayecto lleno de retos, desvelos y aprendizajes. Gracias por tu paciencia, tu compañerismo y por la complicidad con la que afrontamos cada obstáculo. Este trabajo lleva impreso el esfuerzo conjunto de horas de dedicación mutua.

A todos los docentes que me impartieron sus conocimientos a lo largo de la carrera, y a quienes colaboraron directa o indirectamente en el desarrollo de esta investigación, mi más profundo agradecimiento.

Ivan.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado con todo mi amor y gratitud a mis padres, mis abuelos, mis tíos y mis hermanas, por ser el refugio y la fuerza que me sostienen; y a mi compañero de tesis, por compartir conmigo este camino de esfuerzo y alcanzar juntos esta meta.

En mención especial te la dedico a ti Saúl por todo los planes que tenías para tu vida y no pudiste lograrlo.

Camila.

DEDICATORIA

Este logro está dedicado, con todo mi amor y gratitud:

A mis padres, mamá y papá, por ser mi refugio, mi inspiración constante y el pilar fundamental sobre el cual he construido mi camino. Gracias por su amor incondicional y su sacrificio diario; este triunfo es de ustedes.

A mi compañera de tesis, por haber caminado a mi lado y compartido las risas, el esfuerzo y cada obstáculo superado en esta etapa.

Ivan.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CINÉTICA ESPERMÁTICA POS DESCONGELACIÓN EN LÍNEAS PORCINAS MATERNALES Y FINALIZADORAS MEDIANTE EL SISTEMA DE EVALUACIÓN COMPUTARIZADA CASA".

Autores:
Alvarez Quilligana Emily Camila
Jacho Guanoluisa Ivan Alejandro

RESUMEN

La crio preservación seminal constituye una de las herramientas más relevante para la conservación genética en cerdos, aunque el proceso de congelación y descongelación puede modificar la movilidad y la trayectoria espermática; por ello, el objetivo de este proyecto de investigación fue comparar la cinética espermática pos descongelación entre líneas porcinas maternales y líneas porcinas finalizadoras mediante el sistema computarizado CASA iSperm. Se desarrolló un estudio cuantitativo, descriptivo y comparativo con ocho muestras seminales ya congeladas en un proyecto anterior, cuatro de estas correspondientes a cada línea, en las cuales se evaluaron movilidad progresiva, movilidad no progresiva, células estáticas, índices cinéticos relacionados con velocidad rectilínea, curvilínea y promedio de la trayectoria, además de la rectitud, linealidad y oscilación. Las líneas maternales registraron promedios de 26,25 % de espermatozoides progresivos, 48,75 % de móviles no progresivos y 25,00 % de estáticos, mientras las finalizadoras presentaron 21,00 %, 37,25 % y 41,75 %, respectivamente. En STR y LIN se observaron medias descriptivamente superiores en las líneas maternales, con 61,17 % y 28,74 %, mientras WOB alcanzó 44,18 % en las finalizadoras; sin embargo, la prueba U de Mann-Whitney no identificó diferencias estadísticamente significativas para STR, LIN ni WOB, con valores de p superiores a (>0,05). Por tanto, esta investigación concluye que las líneas maternales porcinas conservaron una distribución descriptivamente más favorable de las subpoblaciones móviles, aunque la respuesta pos descongelación presentó variabilidad individual y no se permitió atribuir los índices cinéticos exclusivamente a la orientación genética de la línea.

Palabras clave: semen porcino, cinética espermática, criopreservación, sistema CASA, líneas maternales, líneas finalizadoras.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

THEME: "COMPARATIVE ANALYSIS OF SPERM KINETICS AFTER THAWING IN MATERNAL AND FINISHING PORCINE LINES USING THE CASA COMPUTERIZED EVALUATION SYSTEM"

Authors:
Alvarez Quilligana Emily Camila
Jacho Guanoluisa Ivan Alejandro

ABSTRACT

Semen cryopreservation is a relevant tool for preserving porcine genetic resources; however, the freezing and thawing process can alter sperm motility and trajectory. Therefore, this study aimed to compare post-thaw sperm kinetics between maternal and terminal pig lines using the iSperm CASA system. A quantitative, descriptive, and comparative study was conducted with eight semen samples, four from each line, in which progressive motility, non-progressive motility, static spermatozoa, and kinetic indices related to trajectory straightness, linearity, and wobble were evaluated. Maternal lines recorded mean values of 26.25% progressive spermatozoa, 48.75% non-progressive motile spermatozoa, and 25.00% static spermatozoa, whereas terminal lines presented 21.00%, 37.25%, and 41.75%, respectively. Maternal lines showed descriptively higher mean STR and LIN values, with 61.17% and 28.74%, while WOB reached 44.18% in terminal lines; however, the Mann–Whitney U test did not identify statistically significant differences for STR, LIN, or WOB, with p-values above 0.05. It was concluded that maternal lines retained a descriptively more favorable distribution of motile sperm subpopulations, although the post-thaw response showed individual variability and did not allow the kinetic indices to be attributed exclusively to the genetic orientation of the line.

Keywords: boar semen, sperm kinetics, cryopreservation, CASA system, maternal lines, terminal lines.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA ii

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR iii

AVAL DE LA TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN vii

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN viii

AGRADECIMIENTO ix

DEDICATORIA xi

RESUMEN xiii

ABSTRACT xiv

ÍNDICE DE CONTENIDOS xv

ÍNDICE DE TABLAS xviii

ÍNDICE DE FIGURAS xix

1. INFORMACIÓN GENERAL 1

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO 4

Directos 4

Indirectos 4

4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 4

5. OBJETIVOS 6

5.1. Objetivo general 6

5.2. Objetivos específicos 6

6. ACTIVIDADES RESEPCTO A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS 6

Nota. VCL: velocidad curvilínea; VSL: velocidad rectilínea; VAP: velocidad de trayectoria promedio; LIN: linealidad; STR: rectitud; WOB: oscilación; CASA: análisis espermático asistido por computadora. 7

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA 7

7.1. Producción porcina 7
7.2. Reproducción porcina asistida 8
7.3. Líneas porcinas maternales 8
7.4. Líneas porcinas finalizadoras 8
7.5. Espermatozoide porcino 9
7.6. Calidad seminal porcina 9
7.7. Conservación del semen porcino 10
7.7.1. Criopreservación del semen porcino 10
7.7.2. Crioinjuria espermática 11
7.7.3. Criotolerancia espermática 11
7.8. Descongelación seminal 11
7.9. Movilidad espermática 12
7.10. Cinética espermática 12
7.11. Sistema CryoGuard® 13
7.11.1. CRIOGUAR THAW 13
7.12. Sistema CASA 13
7.12.1. Componentes del sistema CASA 14
7.12.2. Preparación de la muestra para CASA 14
7.14.3. Tipos de sistemas CASA 14
7.14.4. Sistema CASA iSperm 15
7.14.5. Componentes y funcionamiento del sistema iSperm 16
7.14.6. Parámetros cinemáticos evaluados mediante iSperm 16
7.13. Factores que influyen en el análisis CASA 17
7.13.1. Línea genética y cinética espermática pos descongelación 17
8. VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS 18
9. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL 18
9.1. Área de estudio 18
9.2. Diseño experimental 19
9.3. Grupo de estudio 20
9.4. Distribución de los verracos 20
9.5. Materiales y equipos 20
9.5.1. Material biológico 20
9.5.2. Materiales químicos 21
9.5.3. Equipos de laboratorio 21
9.5.4. Materiales de laboratorio 21

9.5.5. Materiales de oficina 21
9.6. Variables de estudio 22
9.6.1. Variable independiente 22
9.6.2. Variable dependiente 22
9.6.3. Variables de control 22
9.7. Procedimiento experimental 23
9.7.1. Cálculo de dosis seminal 23
9.7.2. Descongelación de las pajuelas 23
9.7.3. Dilución de las pajuelas 23
9.7.4. Evaluación mediante el sistema CASA ISPERM 23
9.7.5. Procesamiento y análisis de datos 24
10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 24
Estadísticos descriptivos de VCL, VSL y VAP pos descongelación según línea porcina. 27
Autores: Alvarez y Jacho. 27
Comparación exploratoria entre líneas porcinas 28
Estadísticos descriptivos de STR, LIN y WOB pos descongelación según línea porcina. 31
Comparación exploratoria entre líneas porcinas 33
11.1. Impacto técnico 40
11.1 Impacto económico 40
11.2 Impacto social 40
11.3 Impacto ambiental 41
13.1. Conclusiones 43
13.2. Recomendaciones 43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 6
Tabla 2 Evaluación de velocidad cinemática pos descongelación 24
Tabla 3. Estadísticos descriptivos de VCL, VSL y VAP pos descongelación según línea porcina. 27
Tabla 4 28
Tabla 5. Comparación exploratoria entre líneas porcinas 28
Tabla 6 Índices de progresividad y linealidad (LIN, STR, WOB) 28
Tabla 7. Estadísticos descriptivos de STR, LIN y WOB pos descongelación según línea porcina. 31
Tabla 8. Comparación exploratoria entre líneas porcinas 33
Tabla 9. Distribución de las subpoblaciones espermáticas pos descongelación según muestra 34
Tabla 11. Presupuesto estimado del proyecto 41

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 19
Ilustración 2 Velocidades pos descongelación según línea porcina..... 26
Ilustración 3. Índices cinéticos pos descongelación según línea porcina 30
Ilustración 4. Distribución de las subpoblaciones espermáticas postdescongelación según línea porcina..... 35

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

Análisis comparativo de la cinética espermática pos descongelación en líneas porcinas maternales y finalizadoras mediante el sistema de evaluación computarizada CASA.

Fecha de inicio:

Abril 2026

Fecha de finalización:

Agosto 2026

Lugar de ejecución:

Salache, Latacunga

Unidad Académica que auspicia:

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (CAREN)

Carrera que auspicia:

Medicina Veterinaria

Proyecto de investigación vinculado:

Recursos zoo genéticos, desarrollo de biotecnologías y preservación de material genético.

Equipo de Trabajo:

Tutor/a: MVZ. Veloz Veloz Dina Maricela (Anexo 1)

Estudiantes:

- Alvarez Quilligana Emily Camila (Anexo 2)
- Jacho Guanoluisa Ivan Alejandro (Anexo 3)

Coordinador de proyecto:

Área de Conocimiento:

Ciencias Agrarias, Ciencias Veterinarias, Genética

Subárea:

Veterinaria.

Línea de investigación:

Producción y biotecnología animal.

Sub líneas de investigación de la Carrera:

Biodiversidad, mejora y conservación de recursos zoo genéticos.

2. JUSTIFICACIÓN

La producción porcina ecuatoriana requiere herramientas biotecnológicas que respalden la selección de reproductores, la conservación del germoplasma y la obtención de dosis seminales con características funcionales compatibles con los programas de inseminación artificial, puesto que el aprovechamiento genético de las líneas maternales y finalizadoras guarda relación con la eficiencia reproductiva, la conformación de los planteles y la calidad de la descendencia, por lo cual el análisis de la cinética espermática pos descongelación constituye una vía técnica para valorar la respuesta de cada grupo genético y sustentar decisiones relacionadas con el manejo seminal dentro de los sistemas porcícolas del país.

Esta investigación posee importancia científica ya que aporta conocimiento sobre la cinética espermática pos descongelación de líneas porcinas maternales y finalizadoras, debido a que la movilidad total no describe por sí sola variables como los parámetros de velocidad como: *velocidad curvilínea* (VCL), *velocidad rectilínea* (VSL), *velocidad de la trayectoria promedio* (VAP), o índices de linealidad y oscilación que son, *linealidad* (LIN), *rectitud* (STR), *oscilación* (WOB), además de las características de la cabeza del espermatozoide como, *amplitud del desplazamiento lateral* (ALH) y *frecuencia de batido o cruce* (BCF) que ofrecen una caracterización amplia del estado espermático, por lo cual su evaluación contribuye al análisis de la respuesta seminal frente a la crio preservación y al sustento de la fisiología reproductiva, la criobiología y la selección de verracos destinados a programas de reproducción porcina (1).

Desde el campo metodológico, el estudio emplea el *Sistema de Análisis de Semen por Computadora* (CASA) bajo un protocolo uniforme, ya que en este existen factores que pueden modificar los valores de movilidad y trayectoria registrados por el equipo, por lo cual su control respalda la precisión, la repetibilidad y la comparación entre líneas porcinas, además de establecer una ruta técnica para registrar movilidad total, movilidad progresiva y parámetros cinéticos bajo criterios homogéneos, cuya estructura servirá como referencia para laboratorios y centros reproductivos que utilicen sistemas computarizados en la valoración seminal porcina (2).

La importancia reproductiva y productiva se relaciona con los efectos de la congelación y la descongelación sobre la membrana plasmática, el acrosoma, las mitocondrias, el metabolismo energético y el aparato flagelar del espermatozoide porcino, alteraciones que comprometen la movilidad y la aptitud fecundante, por lo cual la comparación entre líneas maternales y finalizadoras aportará criterios para reconocer patrones de crio tolerancia, clasificar dosis seminales, seleccionar reproductores, organizar bancos de germoplasma y aprovechar el material genético de cada verraco, con respaldo para la gestión técnica de los programas de inseminación artificial y para el uso adecuado de los medios destinados al procesamiento y preservación del semen de cerdo (3).

Desde el campo académico, la investigación integra conocimientos de andrología veterinaria, genética porcina, criobiología, fisiología espermática, reproducción asistida y análisis computarizado de semen, puesto que ofrece información organizada sobre movilidad y trayectoria celular en líneas con orientación zootécnica específica, además de consolidar el uso del *Sistema de Análisis de Semen por Computadora* (CASA) como herramienta de evaluación seminal dentro de la formación veterinaria, con una base aplicable a estudios sobre calidad espermática, crio tolerancia, selección reproductiva y conservación de recursos zoo genéticos, mientras el protocolo y los criterios de análisis constituye un referente técnico para laboratorios, centros reproductivos y proyectos vinculados con semen porcino crio preservado (4).

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Directos

- Productores porcinos y centros de reproducción de semen porcino.
- Responsables técnicos de programas de inseminación artificial porcina.
- Investigadores del proyecto.

Indirectos

- Entidades académicas y de investigación que se relacionan con veterinaria y producción veterinaria.
- Estudiantes de Medicina Veterinaria, Biotecnología, Zootecnia y áreas afines.
- Profesionales dedicados a andrología veterinaria, criobiología y reproducción asistida.
- Instituciones destinadas a la conservación de recursos genéticos en animales.

El alcance del proyecto comprende a los actores vinculados con la reproducción porcina, debido a que la caracterización de la cinética espermática pos descongelación mediante el sistema CASA aporta criterios técnicos para la selección de dosis seminales, la valoración de verracos y la conservación de material genético perteneciente a líneas maternales y finalizadoras; estos resultados respaldan la toma de decisiones en centros de inseminación artificial, fortalecen los procesos de evaluación seminal y sirven como referencia para instituciones académicas, laboratorios y programas de investigación relacionados con crio preservación, genética porcina y reproducción asistida, con aporte a la eficiencia productiva, la conservación de recursos zoo genéticos y el desarrollo técnico del sector porcícola ecuatoriano.

4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La producción porcina requiere estrategias reproductivas que respalden la selección genética, la conservación de germoplasma y el aprovechamiento de verracos con orientación maternal o finalizadora, sin embargo, la aplicación de la crio preservación seminal enfrenta limitaciones asociadas con el dominio técnico de los

protocolos, la disponibilidad de equipos, la estandarización de la congelación y la valoración funcional de las dosis, situación que restringe la conformación de bancos de germoplasma y la conservación de material genético de interés zootécnico, por lo cual parte de los sistemas productivos mantiene dependencia de semen refrigerado o de la monta natural, con menor control sobre la trazabilidad genética, el manejo sanitario y la selección de reproductores (3).

La dificultad central no se limita al acceso a la crio preservación, sino que también comprende la falta de información sobre la respuesta cinética que conserva el espermatozoide tras la descongelación, puesto que el daño criogénico afecta la membrana plasmática, el acrosoma, la función mitocondrial y el aparato flagelar, elementos relacionados con movilidad, velocidad, dirección y estabilidad del desplazamiento celular, por esta razón, la valoración sustentada solo en movilidad total ofrece una descripción incompleta de la calidad seminal, ya que no caracteriza VCL, VSL, VAP, LIN, STR y WOB, parámetros necesarios para identificar la función locomotora mediante un sistema computarizado.

Esta situación adquiere relevancia en líneas maternales y finalizadoras, debido a que ambas responden a criterios de selección zootécnica propios, pero no se dispone de evidencia ecuatoriana suficiente que establezca si su orientación genética guarda relación con la cinética espermática pos descongelación bajo condiciones equivalentes de procesamiento y lectura, por lo cual la ausencia de una comparación mediante el sistema CASA limita la identificación de patrones asociados con movilidad total, movilidad progresiva, velocidad, linealidad, rectitud, oscilación y actividad flagelar, además de restringir la selección de dosis seminales con base en indicadores objetivos de calidad funcional.

En consecuencia, el problema de investigación radica en la falta de información comparativa sobre la cinética espermática pos descongelación en líneas porcinas maternales y finalizadoras evaluadas mediante un mismo protocolo CASA, debido a que no se conoce si ambos grupos conservan respuestas equivalentes en movilidad y trayectoria celular tras la crio preservación, vacío que dificulta sustentar la clasificación de semen congelado, la selección de verracos, la organización de

bancos de germoplasma y el uso técnico de dosis destinadas a programas de reproducción asistida dentro del sector porcino ecuatoriano.

5. OBJETIVOS

5.1.Objetivo general

Analizar la cinética espermática pos descongelación en líneas porcinas maternales y finalizadoras mediante el sistema de evaluación computarizada CASA.

5.2.Objetivos específicos

- Evaluar los parámetros de velocidad cinemática (VCL, VSL y VAP) de los espermatozoides pos descongelación.
- Determinar los índices de progresividad y linealidad (LIN, STR, WOB) mediante el sistema CASA.
- Caracterizar la distribución de las subpoblaciones espermáticas (Progresivos, móviles no progresivos, estáticos.

6. ACTIVIDADES RESEPCTO A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 1. ***Actividades y resultados de los objetivos planteados***

Objetivo	Actividad	Metodología	Resultado de la actividad
Evaluar los parámetros de velocidad cinemática VCL, VSL y VAP de los espermatozoides pos descongelación.	Selección de pajuelas de cerdos criogenizadas, descongelación controlada, dilución y lectura mediante el sistema CASA.	Selección de pajuelas congeladas de cada cerdo, descongelación a baño maría, dilución con CryoGuard® Thaw y posterior lectura de la cinética que se efectúa con CASA Isperm.	Registro de los valores de VCL, VSL y VAP para cada muestra seminal pos descongelada perteneciente a líneas maternales y finalizadoras.
Determinar los índices de progresividad y linealidad LIN, STR y	Preparar las muestras pos descongeladas bajo condiciones uniformes, registrar las trayectorias espermáticas y obtener	El sistema CASA reconstruye la trayectoria de las cabezas espermáticas y calcula LIN a partir de VSL y VCL, STR a partir de VSL y VAP, y WOB a	Matriz con los valores de LIN, STR y WOB obtenidos para cada muestra y agrupados según línea porcina.

WOB mediante el sistema CASA.	los índices LIN, STR y WOB mediante el programa CASA.	partir de VAP y VCL; todas las muestras se analizan con igual temperatura, concentración, cámara, tasa de captura, número de campos y configuración instrumental.	
Caracterizar la distribución de las subpoblaciones espermáticas (progresiva, móviles no progresivos, estáticos)	Clasificar los espermatozoides según las categorías establecidas por el sistema CASA y calcular la frecuencia y el porcentaje de cada subpoblación en las muestras maternales y finalizadoras.	La clasificación se efectúa mediante los umbrales de velocidad configurados en CASA ISPERM; los datos se registran en una ficha digital y se procesan con un programa estadístico para obtener frecuencias, porcentajes y comparación entre grupos.	Tabla y representación gráfica con la distribución de células **progresiva, móviles no progresivos, estáticos** en cada línea porcina.

Nota. VCL: velocidad curvilínea; VSL: velocidad rectilínea; VAP: velocidad de trayectoria promedio; LIN: linealidad; STR: rectitud; WOB: oscilación; CASA: análisis espermático asistido por computadora.

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA

7.1. Producción porcina

La producción porcina constituye un sistema zootécnico que integra genética, reproducción, nutrición, sanidad, bienestar animal, bioseguridad y manejo para obtener animales acordes con los fines reproductivos y productivos de cada explotación; dentro de este sistema, la selección de reproductores dirige la transmisión de caracteres relacionados con prolificidad, aptitud materna, crecimiento, conversión alimenticia, conformación corporal y rendimiento de canal; el verraco posee una influencia genética amplia debido al número de hembras que reciben dosis procedentes de un mismo reproductor; por esta razón, la evaluación seminal constituye un componente esencial para el aprovechamiento de

los machos seleccionados y para la organización de programas de inseminación artificial con criterios zootécnicos definidos (5).

7.2. Reproducción porcina asistida

La reproducción asistida porcina comprende procedimientos destinados a la colección, evaluación, dilución, conservación y utilización del semen dentro de programas de inseminación artificial; esta técnica sustituye la monta natural por la deposición de una dosis seminal en el aparato reproductor de la cerda y requiere control sanitario, identificación del reproductor, concentración celular adecuada, conservación de la función espermática y aplicación correcta de la dosis; su valor zootécnico reside en la difusión de genes seleccionados, el control de los cruzamientos y el aprovechamiento de cada eyaculado; la eficiencia del programa depende de la calidad de la muestra, la resistencia del espermatozoide al procesamiento y la correspondencia entre la dosis seminal, el estado reproductivo de la hembra y la técnica de inseminación (6).

7.3. Líneas porcinas maternales

Las líneas maternales agrupan poblaciones seleccionadas por caracteres vinculados con prolificidad, fertilidad, producción láctea, capacidad de crianza, número de lechones nacidos, supervivencia de la camada y longevidad reproductiva; Landrace y Large White integran con frecuencia este grupo por su desempeño dentro de esquemas de cruzamiento destinados a producir hembras de reemplazo; la selección de estos caracteres no excluye la valoración del verraco, puesto que la aptitud seminal condiciona la difusión de los genes maternos dentro del plantel; por ello, el análisis de semen procedente de líneas maternales requiere considerar concentración, morfología, integridad celular, movilidad y cinética, con atención a la respuesta que conserva la célula espermática en condición pos descongelada (7).

7.4. Líneas porcinas finalizadoras

Las líneas finalizadoras corresponden a grupos seleccionados por crecimiento, eficiencia alimenticia, desarrollo muscular, rendimiento de canal y características

cárnicas, con presencia frecuente de Duroc, Pietrain y combinaciones genéticas destinadas a la producción de animales para faena; los verracos finalizadores transmiten caracteres productivos a la descendencia y ocupan una función decisiva en los cruzamientos terminales; su uso reproductivo exige eyaculados con concentración, viabilidad, integridad de membrana y desplazamiento espermático compatibles con la elaboración de dosis seminales; la orientación genética también guarda relación con la expresión de rasgos seminales, por lo que la comparación con líneas maternales aporta información sobre el comportamiento funcional de las células sometidas a crio preservación (8).

7.5. Espermatozoide porcino

El espermatozoide porcino es una célula haploide especializada en el transporte del material genético paterno y está formado por cabeza, cuello, pieza intermedia, pieza principal y pieza terminal; la cabeza contiene núcleo condensado y acrosoma con enzimas necesarias para la interacción con las cubiertas ovocitarias; la pieza intermedia alberga mitocondrias organizadas alrededor del axonema y participa en la producción de adenosín trifosfato; el flagelo contiene una estructura axonemal asociada con fibras densas y componentes fibrosos que generan el desplazamiento celular; la membrana plasmática regula el intercambio iónico, la señalización, la capacitación y la reacción acrosomal, pero su composición lipídica también explica parte de la sensibilidad del espermatozoide porcino frente al enfriamiento y la congelación (3).

7.6. Calidad seminal porcina

La calidad del semen se constituye por volumen concentración, movilidad, morfología, viabilidad, integridad de la membrana plasmática, estado acrosomal, actividad mitocondrial, estabilidad del ADN y ausencia de contaminación notable; ninguna prueba aislada refleja toda la capacidad fecundante, ya que una célula móvil puede tener alteraciones estructurales o metabólicas que impidan la fecundación; la evaluación macroscópica se enfoca en volumen, color, olor y apariencia, mientras que la evaluación microscópica y por computadora evalúa

concentración, movimiento, morfología y trayectoria; las pruebas funcionales investigan membranas, acrosoma, mitocondrias y cromatina, por lo que la integración de los resultados apoya la clasificación de los eyaculados y las dosis seminales (4).

7.7. Conservación del semen porcino

La conservación seminal se divide en almacenamiento líquido y criopreservación; el almacenamiento líquido mantiene las dosis en diluyentes que aportan nutrientes, regulan el pH, controlan la osmolaridad y protegen la membrana, mientras la criopreservación utiliza temperaturas criogénicas para conservar germoplasma en bancos genéticos; el semen porcino presenta sensibilidad frente a cambios térmicos por la composición de su membrana y por su relación colesterol-fosfolípidos; los procesos de conservación requieren control de diluyente, concentración, temperatura, manipulación, transporte, contaminación bacteriana y estabilidad metabólica; cualquier alteración en estas condiciones compromete movilidad, integridad celular, producción energética y aptitud fecundante (9).

7.7.1. Criopreservación del semen porcino

La criopreservación comprende dilución, separación de plasma seminal según el protocolo, enfriamiento, incorporación de crio protectores, envasado, congelación y almacenamiento en nitrógeno líquido; el glicerol actúa como crioprotector permeable y reduce parte del daño asociado con la formación de hielo, aunque su concentración requiere control por su efecto tóxico sobre la célula; la yema de huevo o sus fracciones lipoproteicas aportan protección frente al choque térmico; la congelación transforma el agua extracelular en hielo, modifica la concentración de solutos y promueve salida de agua desde el espermatozoide; el equilibrio entre velocidad de congelación, deshidratación celular y formación de cristales determina la conservación estructural de la muestra (3).

7.7.2. Crioinjuria espermática

La crioinjuria corresponde al conjunto de lesiones producidas por estrés térmico, osmótico, oxidativo y mecánico dentro del proceso criogénico; los cambios de fase lipídica alteran fluidez y permeabilidad de la membrana plasmática, mientras los gradientes osmóticos inducen contracción y expansión celular; la producción de especies reactivas de oxígeno favorece peroxidación lipídica, oxidación de proteínas, pérdida del potencial mitocondrial y lesión del ADN; el acrosoma también sufre desorganización y liberación prematura de enzimas; las alteraciones del axonema, la vaina mitocondrial y los canales iónicos afectan la movilidad, la trayectoria y la capacidad de respuesta de los espermatozoides, lo que explica la variación observada entre muestras pos descongeladas (3).

7.7.3. Criotolerancia espermática

La criotolerancia expresa la capacidad de los espermatozoides para conservar estructura y función frente al protocolo de criopreservación; esta propiedad guarda relación con composición lipídica de la membrana, estado oxidativo, contenido proteico, actividad mitocondrial, integridad del ADN, calidad inicial del eyaculado y características del verraco; dos muestras con valores semejantes en semen fresco no conservan por obligación una respuesta equivalente en condición pos descongelada; la identificación de reproductores con aptitud criogénica requiere pruebas funcionales y cinéticas que examinen la célula después del proceso; el sistema CASA aporta información sobre movilidad, velocidad y trayectoria, pero su interpretación debe integrarse con indicadores de membrana, acrosoma y metabolismo celular (10).

7.8. Descongelación seminal

El proceso de descongelación intenta devolver el estado líquido a la muestra evitando gradientes térmicos que puedan causar recristalización o estrés osmótico; dicho método necesita temperatura, cantidad de agua, tiempo de exposición, tipo de recipiente y densidad celular especificados por el protocolo de congelación; una descongelación incorrecta promueve fusión desordenada de cristales, cambios en la

membrana y pérdida de movilidad; el material resultante debe agitarse suavemente, conservarse a temperatura adecuada para el estudio y analizarse dentro de una cámara sin residuos, burbujas o agrupamientos; la consistencia de esta técnica es vital para asignar los datos cinéticos a la línea genética y no a fallos en la manipulación. (3).

7.9. Movilidad espermática

La movilidad espermática representa la proporción de células que presentan desplazamiento y se clasifica en movilidad total, movilidad progresiva y movimiento no progresivo; la movilidad total incluye todas las células con actividad locomotora, mientras la movilidad progresiva agrupa aquellas que avanzan con una trayectoria orientada; el movimiento depende del axonema, las proteínas motoras, la regulación del calcio, el metabolismo energético y la actividad mitocondrial; una proporción general de células móviles no describe la calidad completa de la trayectoria, debido a que células con el mismo porcentaje de movilidad presentan velocidades, linealidad y oscilación distintas; por esta razón, la movilidad debe complementarse con parámetros cinéticos obtenidos mediante análisis computarizado (4).

7.10. Cinética espermática

La cinética espermática estudia la forma, velocidad y dirección del desplazamiento celular mediante el seguimiento de la cabeza del espermatozoide en cuadros sucesivos; su análisis describe la trayectoria curvilínea, la distancia recta entre el punto inicial y final, el recorrido suavizado, la regularidad del movimiento y la amplitud lateral de la cabeza; estos componentes reflejan la interacción entre función flagelar, energía celular, integridad de membrana y regulación iónica; la cinética ofrece una descripción más amplia que la movilidad general y facilita la identificación de subpoblaciones con patrones rápidos, lineales, lentos u oscilatorios; su valoración constituye la variable central para comparar semen pos descongelado de líneas maternales y finalizadoras (4).

7.11. Sistema CryoGuard®

CryoGuard® es un sistema comercial de Minitube diseñado para la criopreservación de semen porcino y está compuesto por tres medios complementarios: Parte A para enfriamiento, Parte B para congelación y CryoGuard® Thaw para descongelación; la Parte A se emplea durante la resuspensión y el enfriamiento del pellet espermático, la Parte B se incorpora antes del envasado y la congelación, mientras CryoGuard® Thaw se utiliza después de retirar las pajuelas del nitrógeno líquido (11).

7.11.1. CRIOGUAR THAW

El fabricante ofrece una presentación en polvo de CryoGuard® Thaw destinada a preparar 1000 mL de diluyente con gentamicina; los tres productos forman un protocolo integrado, por lo que deben emplearse según las instrucciones del fabricante y sin modificar proporciones, temperaturas o tiempos sin validación previa (11).

7.12. Sistema CASA

El sistema CASA, sigla de *Computer-Assisted Sperm Analysis*, corresponde a una herramienta computarizada destinada a registrar, procesar y cuantificar la movilidad y la cinética espermática; su estructura integra microscopio, sistema óptico, cámara digital, platina térmica, cámara de recuento, computadora y programa de análisis; el equipo captura secuencias de video, identifica las cabezas espermáticas, asigna coordenadas a cada célula y reconstruye su trayectoria; los algoritmos calculan porcentajes de movilidad, velocidades, índices de progresión, desplazamiento lateral y frecuencia de cruce de la trayectoria; esta metodología reduce la dependencia de la apreciación visual, aunque no elimina la necesidad de control técnico, calibración, revisión de imágenes y criterios uniformes de clasificación (4).

7.12.1. Componentes del sistema CASA

El microscopio garantiza el aumento suficiente y la separación entre los eucariotas, la placa termostática mantiene la temperatura óptima en la cámara de conteo, la cámara se encarga de capturar imágenes a intervalos regulares, la cámara de conteo presenta una altura óptima que afecta directamente a la distribución de las células en el campo visual y al foco, el programa selecciona mediante un umbral específico los gametos masculinos viables, elimina cualquier anomalía atípica en función del tamaño, el brillo y el contraste , reconstruye los movimientos celulares individuales gracias al algoritmo adecuado que sigue las coordenadas xy entre dos fotogramas consecutivos, y todos los parámetros indicados anteriormente prevalecen durante toda la medida y requieren calibraciones precisas del foco, la escala, la frecuencia de adquisición y la estabilidad del sistema del operario (4).

7.12.2. Preparación de la muestra para CASA

La preparación de la muestra requiere homogeneización suave, concentración celular compatible con el sistema, temperatura estable y colocación precisa dentro de la cámara de recuento; una concentración excesiva genera superposición de trayectorias y errores de identificación, mientras una concentración escasa reduce el número de células analizadas; las burbujas, residuos, aglutinaciones y corrientes internas alteran el seguimiento celular; la profundidad de la cámara modifica la libertad de desplazamiento y la frecuencia con que los espermatozoides entran o salen del plano de enfoque; el análisis debe incorporar varios campos con un número suficiente de células y una configuración idéntica para todas las muestras de líneas maternales y finalizadoras (2).

7.14.3. Tipos de sistemas CASA

Los sistemas CASA se clasifican de acuerdo con su estructura, nivel de automatización y finalidad analítica en equipos de laboratorio, sistemas integrados, plataformas móviles y programas de análisis de acceso abierto; los sistemas de laboratorio emplean microscopio, cámara digital, platina térmica, cámara de recuento y computadora con software especializado, mientras los sistemas

integrados reúnen captura, procesamiento y almacenamiento de datos dentro de una misma estación, los sistemas móviles utilizan dispositivos portátiles con módulos ópticos y aplicaciones específicas, y las plataformas abiertas procesan videos microscópicos mediante algoritmos configurables, aunque su desempeño depende de la calibración, la tasa de captura, el número de campos, la concentración seminal y los criterios de clasificación establecidos para cada especie (12).

En el campo veterinario también se diferencian los sistemas CASA-Mot, destinados al análisis de movilidad y cinética, y los sistemas CASA-Morph, orientados a la evaluación morfométrica de la cabeza espermática; los primeros reconstruyen trayectorias celulares y calculan velocidades e índices de desplazamiento, mientras los segundos cuantifican longitud, anchura, área, perímetro y forma, por lo que la selección del sistema depende del objetivo del estudio y del tipo de información requerida para caracterizar la calidad seminal (12).

7.14.4. Sistema CASA iSperm

El sistema iSperm corresponde a una plataforma móvil de análisis espermático asistido por computadora, denominada CASA, desarrollada para especies animales y compuesta por un dispositivo móvil, un módulo óptico, un sistema de calentamiento, portaobjetos o cámaras específicas y una aplicación que captura y procesa secuencias microscópicas; el equipo registra concentración, movilidad total, movilidad progresiva y parámetros cinemáticos, además de conservar los datos de cada muestra dentro de una base digital asociada con la identificación del reproductor (13).

Su carácter portátil facilita el análisis en laboratorios, centros de reproducción y unidades productivas sin requerir una estación CASA convencional de gran tamaño, aunque la calidad del resultado depende de la preparación de la muestra, el volumen colocado, la limpieza del portaobjetos, la temperatura, el enfoque, la concentración celular y el número de campos evaluados; estudios en semen porcino han empleado una alícuota de 7,5 µL en el colector del sistema, con la muestra mantenida a 37 °C

durante la lectura, lo que evidencia la necesidad de conservar condiciones uniformes en todas las evaluaciones (14).

7.14.5. Componentes y funcionamiento del sistema iSperm

El sistema iSperm integra una tableta o dispositivo móvil con la aplicación instalada, un módulo óptico que amplía la imagen, una fuente de iluminación, un calentador que conserva la muestra a la temperatura configurada, un portaobjetos o cámara de análisis y un programa que identifica las cabezas espermáticas en cuadros sucesivos; el operador coloca la muestra en el dispositivo de lectura, ajusta el enfoque, inicia la captura y verifica que no existan burbujas, residuos, aglutinaciones ni corrientes internas que alteren el recorrido de las células .

Mientras el proceso está en marcha , el programa separa las células móviles de las fijas , cuenta las cabezas espermáticas individuales y sigue su trayectoria dentro del campo visual -una vez determinada esta- mediante un complejo conjunto de algoritmos propios de cada especie concreta , que permiten calcular la concentración, la motilidad y otros parámetros característicos de la actividad seminal ; los resultados emergen de la aplicación como valores e íconos independientes sobre la imagen original, sincronizados con ella y almacenados junto con los demás datos identificativos del anima que facilitan su posterior recuperación y análisis comparativo (14).

7.14.6. Parámetros cinemáticos evaluados mediante iSperm

El análisis cinematográfico realizado por iSperm evalúa diversos tipos de movilidad y movimientos característicos del espermatozoide, así como los grados de variabilidad. La velocidad curvilínea (VCL) mide la distancia recorrida en un plazo determinado siguiendo la trayectoria curva de la cabeza del espermatozoide, mientras que la velocidad lineal (VSL) representa la duración entre dos puntos consecutivos a lo largo de esta curva. Por último, la velocidad vibratoria (VAP) simboliza la distancia recorrida y crea una línea media suave que sigue las mismas direcciones que la cabeza espermática, representando así un movimiento más uniforme. Los siguientes parámetros - linealidad, rectitud y oscilación están

expresados respectivamente como LIN, STR y WOB, donde LIN representa el grado de linealidad, STR describe el movimiento en línea recta y WOB representa la oscilación desplazada (4).

El sistema también permite evaluar la distribución de las células según diversas categorías de movilidad establecidas por el programa: altas, medianas, bajas y sin movimiento. Sin embargo , hay que tener en cuenta que las referencias para cada una de estas categorías se definen durante la calibración y pueden variar según el tipo de animal , la versión del programa y el modelo del aparato, por lo que los resultados de los análisis de velocidades variables (VCL) , progresivas (VSL) , angular (VAP) , linealidad (LIN) , estrófica (STR) y oscilatoria (WOB) sólo deben compararse cuando dichos ensayos se llevan a cabo con la misma temperatura, concentración celular , cámara, velocidad de cuadros por segundo y condiciones de clasificación (2).

7.13. Factores que influyen en el análisis CASA

Los resultados del sistema CASA dependen de concentración espermática, temperatura de la muestra, profundidad de la cámara, viscosidad del medio, tasa de captura, duración del registro, magnificación, contraste, número de campos, umbrales de identificación y criterios de clasificación; una modificación en cualquiera de estos componentes altera la reconstrucción de trayectorias y los valores cinéticos; la especie también requiere parámetros propios por las características de tamaño, velocidad y patrón de movimiento de sus espermatozoides; por esta razón, todas las muestras deben examinarse con igual equipo, cámara, dilución, temperatura y configuración; la uniformidad metodológica constituye una condición esencial para interpretar la línea genética como factor comparativo (2).

7.13.1. Línea genética y cinética espermática pos descongelación

La línea genética representa la variable de agrupación de esta investigación y clasifica a los verracos según su orientación maternal o finalizadora, mientras la cinética espermática pos descongelación constituye la variable de respuesta

expresada mediante movilidad total, movilidad progresiva, VCL, VSL, VAP, LIN, STR, WOB, ALH y BCF; la relación entre ambas variables se sustenta en que la base genética interviene en estructura celular, metabolismo, función mitocondrial, composición de membrana y características del eyaculado; sin embargo, el efecto atribuido a la línea exige control del protocolo criogénico y de la configuración CASA; este marco conceptual respalda la comparación de los grupos mediante indicadores objetivos obtenidos bajo condiciones equivalente (15).

8. VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

H1: Existen variaciones estadísticamente significativas en los parámetros de cinética espermática pos descongelación entre las líneas porcinas maternales y finalizadoras evaluadas mediante el sistema CASA.

9. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

La investigación tiene un enfoque cuantitativo y un diseño experimental comparativo, debido a que se obtiene valores numéricos de la cinética espermática pos descongelación en muestras procedentes de líneas porcinas maternales y finalizadoras, sometidas a un protocolo uniforme de descongelación , dilución y análisis mediante el sistema CASA Isperm; la línea genética constituirá el factor de agrupación, mientras VCL, VSL, VAP, LIN, STR, WOB y la distribución de espermatozoides progresiva, móviles no progresivos, estáticos corresponderán a las variables de respuesta; el uso de iguales diluyentes, concentraciones, temperaturas, pajuelas y condiciones instrumentales reducirá la interferencia técnica y respaldará la comparación de los resultados entre los grupos porcinos evaluados.

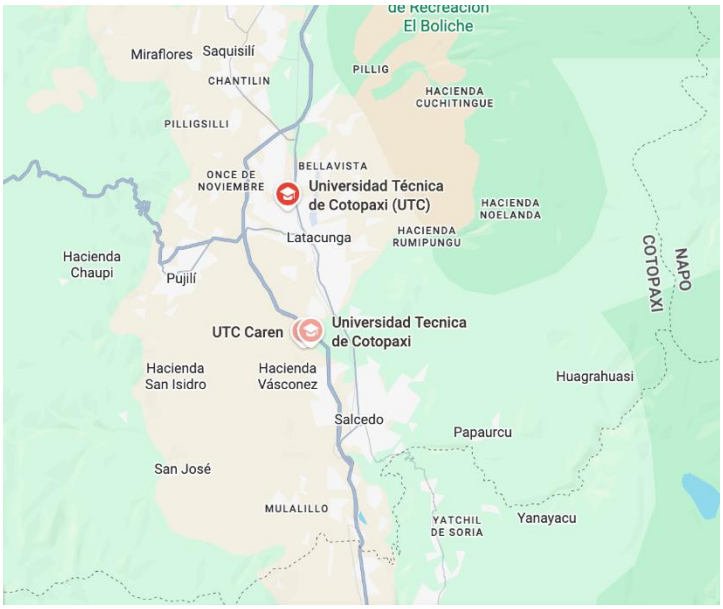
9.1.Área de estudio

La fase de laboratorio se ejecutó en las instalaciones la Clínica Veterinaria,en la Facultad de CAREN de la Universidad Técnica de Cotopaxi, extensión Salache, ubicada en la ciudad de Latacunga; se usaron pajuelas congeladas de un protocolo estandarizado en un proyecto de investigación anterior de la institución, bajo

condiciones de higiene, identificación individual y control sanitario de los verracos; las instalaciones de laboratorio dispondrán de los equipos destinados a centrifugación, preparación de diluyentes, enfriamiento, envasado, crio preservación, descongelación y evaluación computarizada de la cinética espermática.

Ilustración 1

Mapa de la Universidad Técnica de Cotopaxi, extensión Salache



Autor. Tomado de Google Maps (2026).

9.2. Diseño experimental

El diseño fue experimental comparativo, con aplicación de un mismo protocolo de descongelación para todas las muestras seminales, debido a que los investigadores controlaron la dilución y lectura mediante el sistema CASA Isperm; las muestras se agruparon según línea maternal o finalizadora de cada verraco, cuyas lecturas técnicas se resumió por muestra antes del análisis estadístico, con el propósito de evitar que cada campo microscópico o cada espermatozoide sea tratado como una observación independiente.

9.3.Grupo de estudio

El grupo de estudio estuvo integrado por ocho verracos con identificación racial y clasificación zootécnica definida: dos Large White y dos Landrace correspondiente a línea maternal y dos Pietrain y dos Duroc correspondientes a líneas finalizadoras; los animales estuvieron en estado sanitario compatible con la reproducción, madurez sexual, historial reproductivo favorable, esquema sanitario registrado y ausencia de signos clínicos, alteraciones seminales previas o conducta sexual incompatible con la recolección; cada individuo aportó un eyaculado, con lo cual se obtuvo ocho muestras seminales para el procesamiento criogénico y la evaluación cinética.

9.4.Distribución de los verracos

Individuo	Raza	Clasificación zootécnica	Código
1	Large White	Línea maternal	CERDO LB01
2	Landrace	Línea maternal	CERDO QU11
3	Large White	Línea maternal	CERDO QU15
4	Landrace	Línea maternal	CERDO QU151
5	Duroc	Línea finalizadora	CERDO PV02
6	Pietrain	Línea finalizadora	CERDO PV01
7	Duroc	Línea finalizadora	CERDO QU14
8	Pietrain	Línea finalizadora	CERDO CY1

Observación metodológica: la distribución incluye un cuatro verracos maternales y cuatro finalizadores, por lo cual el estudio tendrá carácter exploratorio y los resultados no deberán generalizarse a todas las líneas porcinas; además, la raza, la edad y el individuo se encuentran unidos a la clasificación genética, de modo que una variación observada también estaría asociada con esos factores.

9.5.Materiales y equipos

9.5.1. Material biológico

- Pajuelas criogenizadas de ocho verracos seleccionados,

9.5.2. Materiales químicos

- CryoGuard® Thaw.
- Agua bidestilada.
- Alcohol para desinfección.
- Jabón neutro.

9.5.3. Equipos de laboratorio

- Sistema CASA Isperm.
- Baño maría.
- Platina térmica.
- Tanque de nitrógeno líquido.
- Termómetro.
- Micropipeta electrónica.

9.5.4. Materiales de laboratorio

- Vasos de precipitación de 100 mL.
- Probeta de 50 mL.
- Portaobjetos.
- Cubreobjetos.
- Jeringas de 5 mL.
- Puntas estériles para micropipeta.
- Guantes de nitrilo.
- Papel secante.
- Pinzas.
- Tijeras.
- Marcador indeleble.

9.5.5. Materiales de oficina

- Computadora.
- Cuaderno de registro.

- Hojas de papel bond.
- Esferográficos.
- Lápiz.
- Borrador.
- Carpetas.
- Etiquetas adhesivas.
- Impresora.
- CD
- Programa de hoja de cálculo.
- Programa estadístico.
- Formatos de registro de laboratorio.

9.6. Variables de estudio

9.6.1. Variable independiente

La variable independiente es la línea porcina, clasificada en maternal y finalizadora.

9.6.2. Variable dependiente

La variable dependiente es la cinética espermática pos descongelación, expresada mediante:

1. Velocidad curvilínea: VCL.
2. Velocidad rectilínea: VSL.
3. Velocidad de trayectoria promedio: VAP.
4. Linealidad: LIN.
5. Rectitud: STR.
6. Oscilación: WOB.
7. Subpoblaciones progresivas, móviles no progresivos, estáticos.

9.6.3. Variables de control

Las variables de control comprenden la técnica de descongelación de pajuelas, temperatura de descongelación, dilución con CryoGuard® Thaw, proporción de

dilución, temperatura de mantenimiento, concentración final, volumen de las pajuelas finales, cámara de análisis, platina térmica y configuración del sistema CASA Isperm.

9.7.Procedimiento experimental

9.7.1. Cálculo de dosis seminal

Las pajuelas contienen un volumen de 0,5 ml y en cada ml de acuerdo al protocolo de CryoGuard® tendría una concentración de $1x10^9$ espermatozoides, se busca obtener el número de células viables adecuada por dosis (4 mil millones), lo que equivaldría a un aproximado de 8 pajuelas por cerdo.

9.7.2. Descongelación de las pajuelas

Se retiró ocho pajuelas por muestra y se colocó en una unidad de descongelación a 38 °C durante 20 segundos, tras lo cual se secaron, cortaron y vaciaron en un tubo falcón de 10 ml precalentado a 26 °C.

9.7.3. Dilución de las pajuelas

El sistema CryoGuard® Thaw instruye diluir 50 g de este en 1000ml de agua destilada, de este total se debe añadir 60 ml de la solución final en cada muestra, todo esto siempre se manejó a una misma temperatura (+37ºC).

9.7.4. Evaluación mediante el sistema CASA ISPERM

La evaluación pos descongelación se efectuó mediante el sistema CASA ISPERM, se colocó una gota de la dilución en una cámara precalentada a 37 °C y una configuración idéntica para todas las muestras; el sistema registró VCL, VSL, VAP, LIN, STR, WOB y las proporciones de espermatozoides progresivos, móviles no progresivos, estáticos; cada muestra se examinó en un número uniforme de campos, con igual concentración, volumen, temperatura, cámara, magnificación, tasa de

captura y criterios de clasificación, mientras los valores obtenidos se registraron según verraco, eyaculado y línea genética.

9.7.5. Procesamiento y análisis de datos

Los resultados se organizaron en una base digital con identificación del verraco, raza, línea genética, número de eyaculado y valores cinéticos; se calculó media, desviación estándar, mediana, rango intercuartílico, valores mínimos y máximos según la distribución de los datos; la normalidad se examinó mediante Shapiro-Wilk y, debido a que los grupos están representado por cuatro verracos cada uno, el análisis debe centrarse en la descripción por individuo y por eyaculado, sin presentar las variaciones como un efecto concluyente de la línea genética; cualquier contraste inferencial tiene carácter exploratorio y debe reconocer la falta de equilibrio entre grupos y la dependencia de las colectas procedentes del mismo animal.

10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis se realizó con los registros pos descongelación exportados por el sistema CASA ISPERM para ocho muestras porcinas, de las cuales cuatro correspondieron a líneas maternales Large White y Landrace y cuatro a líneas finalizadoras Duroc y Pietrain; los resultados se organizaron según los objetivos específicos, mientras WOB se calculó mediante la relación VAP/VCL × 100.

10.1. Evaluar los parámetros de velocidad cinemática (VCL, VSL y VAP) de los espermatozoides pos descongelación

Tabla 2 *Evaluación de velocidad cinemática pos descongelación*

Muestra	Raza	Línea	VCL (µm/s)	VSL (µm/s)	VAP (µm/s)
LB01	Large White	Maternal	96,08	34,36	43,54
QU11	Landrace	Maternal	97,88	28,87	43,14

QU15	Large White	Maternal	121,55	28,98	50,27
QU151	Landrace	Maternal	114,14	27,15	47,33
PV02	Duroc	Finalizadora	112,43	31,62	46,24
PV01	Pietrain	Finalizadora	114,71	26,50	48,13
QU14	Duroc	Finalizadora	110,82	35,23	50,93
CY1	Pietrain	Finalizadora	68,05	14,32	32,44

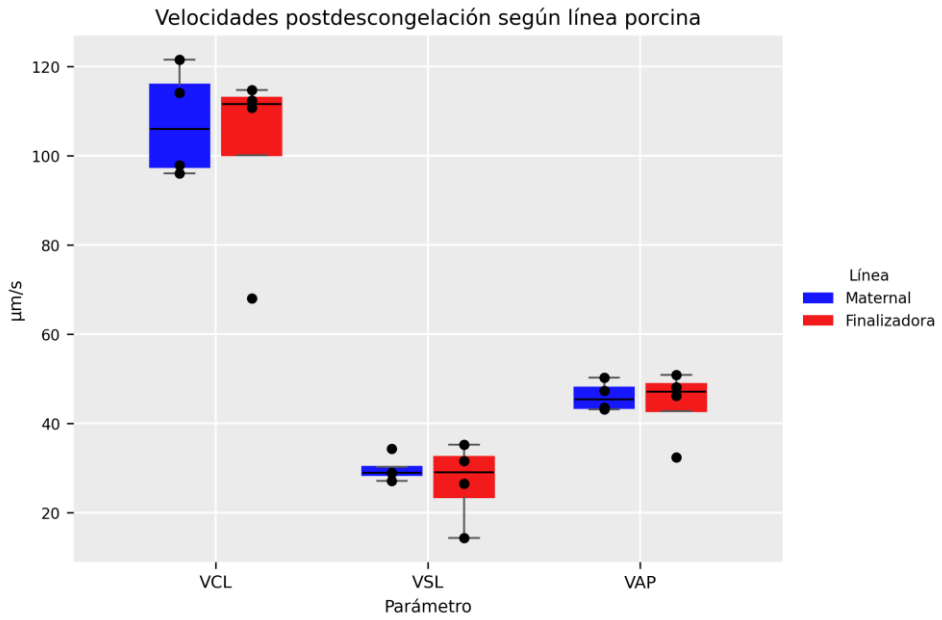
Autores: Alvarez y Jacho.

En la Tabla 2, la evaluación pos descongelación mostró que VCL osciló entre 68,05 y 121,55 µm/s, VSL entre 14,32 y 35,23 µm/s y VAP entre 32,44 y 50,93 µm/s; QU15 presentó el registro superior de VCL, QU14 alcanzó los valores superiores de VSL y VAP, mientras CY1 obtuvo los registros inferiores en los tres parámetros, lo que refleja variación cinemática entre los verracos evaluados, incluso entre individuos pertenecientes a una misma raza y línea porcina.

Fraser et al. encontraron diferencias marcadas entre verracos con buena y deficiente respuesta a la congelación, tanto en motilidad como en integridad de membrana, función mitocondrial y fragmentación del ADN, por lo que concluyeron que las características individuales del reproductor influyen sobre la calidad espermática pos descongelación; este hallazgo coincide con la presente investigación, debido a que PV01 y CY1, ambos Pietrain, registraron valores contrastantes de VCL, VSL y VAP (16).

Thema et al. identificaron variaciones en VCL, VSL y VAP según el periodo de estabilización previo a la congelación, con mejores resultados en determinados tiempos de enfriamiento, por lo que los valores obtenidos en este estudio deben interpretarse junto con la respuesta individual y las condiciones del protocolo aplicado (19).

Ilustración 2 *Velocidades pos descongelación según línea porcina*



Autores: Alvarez y Jacho.

En el Gráfico 1 se observa que las líneas maternales presentaron valores de VCL concentrados entre 96,08 y 121,55 µm/s, mientras las líneas finalizadoras mostraron una amplitud entre 68,05 y 114,71 µm/s, con una dispersión más marcada debido al registro de CY1; para VSL, las líneas maternales se ubicaron entre 27,15 y 34,36 µm/s y las finalizadoras entre 14,32 y 35,23 µm/s, mientras VAP alcanzó valores de 43,14 a 50,27 µm/s en las maternales y de 32,44 a 50,93 µm/s en las finalizadoras, lo que evidencia una distribución más homogénea en el grupo maternal y una variabilidad más amplia en el grupo finalizador.

La comparación descriptiva mostró promedios de 107,41 µm/s para VCL, 29,84 µm/s para VSL y 46,07 µm/s para VAP en las líneas maternales, frente a 101,50, 26,92 y 44,44 µm/s en las finalizadoras, respectivamente; sin embargo, la superposición de las cajas y de los valores individuales indica que no existe una separación clara entre ambos grupos, por lo que las diferencias observadas parecen

relacionarse con la respuesta particular de cada verraco y no con un comportamiento uniforme de la línea genética. En el estudio realizado por Wang et al. encontraron que la suplementación del diluyente de congelación mejoró VCL, VSL, VAP, STR y LIN del semen porcino pos descongelado, mientras WOB no presentó cambios estadísticos, lo que demuestra que la respuesta cinemática depende de la protección ejercida durante la crio preservación; este hallazgo se relaciona con los resultados del presente estudio, debido a que las muestras conservaron valores de velocidad después de la descongelación, aunque con una amplitud marcada entre individuos (20).

Tabla 3. Estadísticos descriptivos de VCL, VSL y VAP pos descongelación según línea porcina.

Parámetro	Línea	Media ± DE	Mediana	Mínimo–máximo
VCL (µm/s)	Maternal	107,41 ± 12,44	106,01	96,08–121,55
	Finalizadora	101,50 ± 22,36	111,63	68,05–114,71
VSL (µm/s)	Maternal	29,84 ± 3,13	28,93	27,15–34,36
	Finalizadora	26,92 ± 9,13	29,06	14,32–35,23
VAP (µm/s)	Maternal	46,07 ± 3,38	45,44	43,14–50,27
	Finalizadora	44,44 ± 8,23	47,19	32,44–50,93

Autores: Alvarez y Jacho.

En la Tabla 3, las líneas maternales presentaron medias de 107,41 µm/s para VCL, 29,84 µm/s para VSL y 46,07 µm/s para VAP, mientras las finalizadoras registraron 101,50, 26,92 y 44,44 µm/s, respectivamente; aunque los promedios maternales fueron superiores en los tres parámetros, las líneas finalizadoras mostraron una dispersión más amplia, especialmente en VCL, cuya desviación estándar alcanzó 22,36 µm/s y cuyo intervalo se extendió entre 68,05 y 114,71 µm/s, resultado relacionado con el registro reducido de CY1 y que evidencia una respuesta cinemática poco uniforme dentro de este grupo. Según Wang et al. evaluaron semen de 37 verracos Large White y encontraron variaciones significativas en la calidad seminal pos descongelación entre individuos de una misma raza, lo que permitió clasificarlos según una respuesta favorable o desfavorable frente a la congelación; este hallazgo coincide con la dispersión observada en la presente investigación, debido a que las diferencias entre muestras fueron visibles aun dentro

de una misma línea y respaldan que la criotolerancia posee un componente individual que no se explica únicamente por la clasificación maternal o finalizadora (20).

Tabla 4

Tabla 5. Comparación exploratoria entre líneas porcinas

Parámetro	U de Mann-Whitney	p
VCL	9,00	0,886
VSL	9,00	0,886
VAP	7,00	0,886

Autores: Alvarez y Jacho.

La prueba U de Mann-Whitney no identificó diferencias estadísticamente significativas entre las líneas maternales y finalizadoras en VCL, VSL ni VAP, debido a que los tres valores de $p$fueron de 0,886, superiores al nivel de significación de (<0,05); en consecuencia, las variaciones descriptivas observadas entre ambos grupos no respaldaron una separación estadística según línea porcina, aunque las líneas maternales presentaron promedios superiores en los tres parámetros cinemáticos, resultado que debe interpretarse con cautela por el número reducido de muestras y por la amplitud registrada dentro del grupo finalizador.

10.2. Determinar los índices de progresividad y linealidad (LIN, STR, WOB) mediante el sistema CASA

Tabla 6 Índices de progresividad y linealidad (LIN, STR, WOB)

Muestra	Raza	Línea	STR (%)	LIN (%)	WOB (%)
LB01	Large White	Maternal	75,81	37,81	45,32
QU11	Landrace	Maternal	63,51	29,61	44,07
QU15	Large White	Maternal	52,34	23,82	41,36
QU151	Landrace	Maternal	53,04	23,72	41,47

PV02	Duroc	Finalizadora	64,65	31,42	41,13
PV01	Pietrain	Finalizadora	54,09	22,64	41,96
QU14	Duroc	Finalizadora	66,65	31,92	45,96
CY1	Pietrain	Finalizadora	42,82	22,78	47,67

Autores: Alvarez y Jacho.

La Tabla 5 muestra una variación individual marcada en los índices de trayectoria espermática pos descongelación, con STR entre 42,82 % y 75,81 %, LIN entre 22,64 % y 37,81 % y WOB entre 41,13 % y 47,67 %; la muestra LB01, correspondiente a un verraco Large White de línea maternal, registró los valores superiores de STR y LIN con 75,81 % y 37,81 %, lo que indica una trayectoria más recta y lineal respecto de las demás muestras, mientras CY1, perteneciente a Pietrain de línea finalizadora, presentó el STR inferior con 42,82 % y un LIN de 22,78 %, lo que expresa un desplazamiento con menor rectitud, aunque su WOB alcanzó 47,67 %, valor superior del conjunto y que demuestra que una oscilación proporcional elevada no equivale por sí sola a movimiento progresivo o lineal.

Al considerar las líneas porcinas, las muestras maternales presentaron medias de 61,18 % para STR, 28,74 % para LIN y 43,06 % para WOB, mientras las finalizadoras registraron 57,05 %, 27,19 % y 44,18 %, respectivamente; esta distribución evidencia una leve superioridad descriptiva de las maternales en rectitud y linealidad, pero una proximidad amplia entre ambos grupos, sobre todo en WOB, por lo que el patrón observado no muestra una separación uniforme según la orientación productiva de la línea y conserva una influencia importante del comportamiento propio de cada verraco.

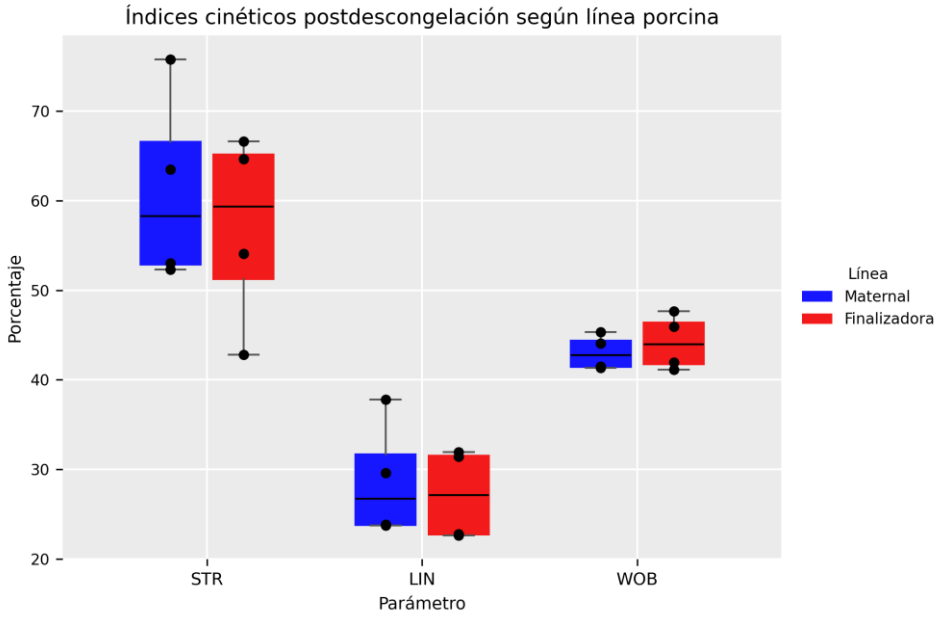
La interpretación conjunta de los tres índices resulta necesaria porque STR expresa la relación entre la velocidad rectilínea y la trayectoria promedio, LIN representa la proporción de desplazamiento recto respecto del recorrido curvilíneo y WOB refleja la oscilación de la trayectoria promedio frente al recorrido total; Hackerova et al. señalaron que los resultados CASA dependen de la configuración del equipo,

la concentración seminal, la cámara utilizada, la temperatura de análisis y los criterios de clasificación, por lo que la comparación entre estudios exige protocolos semejantes y no debe basarse en un solo índice cinemático (4).

Los resultados presentan relación con Nuntapaitoon et al., quienes evaluaron semen porcino pos descongelado con glutamina añadida al diluyente y encontraron que la concentración de 20 mM registró los valores superiores de LIN, STR y WOB después de dos horas, junto con mejor motilidad progresiva, viabilidad, integridad de membrana y actividad mitocondrial frente a las demás concentraciones; este hallazgo confirma que los índices de trayectoria responden al estado funcional del espermatozoide y a las condiciones del diluyente, por lo que las diferencias observadas entre LB01, QU14 y CY1 también se relacionan con la crio tolerancia individual y con la capacidad de conservación del movimiento tras la descongelación (23).

Gráfico 1

Ilustración 3. Índices cinéticos pos descongelación según línea porcina



Autores: Alvarez y Jacho.

El Gráfico 2 muestra que STR presentó la dispersión más amplia entre los tres índices, con valores maternales entre 52,34 % y 75,81 % y finalizadores entre 42,82

% y 66,65 %, mientras las medianas se ubicaron en 58,28 % y 59,37 %, respectivamente; esta distribución evidencia una amplia variación individual en la rectitud de la trayectoria espermática y una superposición marcada entre ambos grupos, por lo que no se observa una separación visual definida según la línea porcina.

En LIN, las líneas maternales registraron valores entre 23,72 % y 37,81 %, mientras las finalizadoras se ubicaron entre 22,64 % y 31,92 %; aunque la muestra LB01 elevó el extremo superior del grupo maternal, las cajas conservaron una superposición extensa y las medianas fueron próximas, con 26,72 % para la línea maternal y 27,10 % para la finalizadora, lo que indica un comportamiento semejante en la linealidad del movimiento espermático. WOB presentó la distribución más compacta, con valores maternales entre 41,36 % y 45,32 % y finalizadores entre 41,13 % y 47,67 %, además de medianas de 42,77 % y 43,96 %, respectivamente; la proximidad entre ambos grupos muestra que la oscilación relativa de la trayectoria fue más homogénea que STR y LIN, aunque CY1 alcanzó el registro superior dentro de las finalizadoras.

Tabla 6

Tabla 7. Estadísticos descriptivos de STR, LIN y WOB pos descongelación según línea porcina.

Parámetro	Línea	Media ± DE	Mediana	Mínimo–máximo
STR (%)	Maternal	61,17 ± 11,01	58,27	52,34–75,81
	Finalizadora	57,05 ± 10,97	59,37	42,82–66,65
LIN (%)	Maternal	28,74 ± 6,64	26,71	23,72–37,81
	Finalizadora	27,19 ± 5,18	27,10	22,64–31,92
WOB (%)	Maternal	43,05 ± 1,96	42,77	41,36–45,32
	Finalizadora	44,18 ± 3,14	43,96	41,13–47,67

Autores: Alvarez y Jacho

La Tabla 6 muestra que las líneas maternales registraron una media de STR de 61,17 ± 11,01 %, una mediana de 58,27 % y valores entre 52,34 y 75,81 %, mientras las líneas finalizadoras alcanzaron 57,05 ± 10,97 %, una mediana de 59,37 % y un intervalo de 42,82 a 66,65 %, resultados que evidencian una media

descriptivamente superior en el grupo maternal, aunque la proximidad de las medianas y la superposición de los intervalos indican que la rectitud de la trayectoria espermática no presentó un comportamiento uniforme según la clasificación zootécnica, puesto que las variaciones entre muestras dentro de cada línea fueron más amplias que la diferencia de 4,12 puntos porcentuales observada entre las medias grupales.

En LIN, las líneas maternales presentaron una media de 28,74 ± 6,64 %, una mediana de 26,71 % y un intervalo de 23,72 a 37,81 %, mientras las finalizadoras registraron 27,19 ± 5,18 %, una mediana de 27,10 % y valores entre 22,64 y 31,92 %, por lo que la diferencia de 1,55 puntos porcentuales entre las medias resultó reducida y coexistió con medianas prácticamente equivalentes, situación que indica una linealidad semejante entre ambos grupos y respalda que las variaciones postdescongelación se relacionan en mayor medida con la respuesta individual de cada verraco, las condiciones de criopreservación y la configuración del sistema CASA que con un patrón exclusivo de las líneas maternales o finalizadoras.

WOB presentó la distribución más compacta de los tres índices, debido a que las líneas maternales alcanzaron una media de 43,05 ± 1,96 %, una mediana de 42,77 % y valores entre 41,36 y 45,32 %, mientras las finalizadoras registraron 44,18 ± 3,14 %, una mediana de 43,96 % y un intervalo de 41,13 a 47,67 %, resultado que muestra una diferencia descriptiva de apenas 1,13 puntos porcentuales a favor de las finalizadoras, aunque la amplitud y superposición de los intervalos indican que la oscilación relativa de la trayectoria se mantuvo próxima entre líneas y presentó menor variabilidad que STR y LIN, especialmente dentro del grupo maternal.

En conjunto, las líneas maternales presentaron medias descriptivamente superiores en STR y LIN, mientras las finalizadoras alcanzaron una media ligeramente superior en WOB, aunque las diferencias fueron reducidas y los intervalos se superpusieron ampliamente, por lo que los datos no muestran una separación definida entre líneas y sugieren que la trayectoria espermática pos descongelación estuvo condicionada por la interacción entre la respuesta individual del verraco, la resistencia al proceso criogénico y las condiciones técnicas de evaluación, sin que

los índices analizados puedan atribuirse de forma exclusiva a la orientación maternal o finalizadora.

Tabla 8. Comparación exploratoria entre líneas porcinas

Parámetro	U de Mann-Whitney	p
STR (%)	8,00	0,886
LIN (%)	10,00	0,686
WOB (%)	6,00	0,686

Autores: Alvarez y Jacho.

La Tabla 7 muestra que no se identificaron diferencias estadísticamente significativas entre las líneas maternales y finalizadoras para STR, LIN y WOB, debido a que los valores de significación fueron (>0,05), con U = 8,00 y p = 0,886 para STR, U = 10,00 y p = 0,686 para LIN y U = 6,00 y p = 0,686 para WOB, resultados que respaldan la interpretación descriptiva de la Tabla 6, en la cual se observaron medias próximas y una amplia superposición de los intervalos, por lo que la clasificación por línea porcina no mostró una asociación estadística con la rectitud, linealidad ni oscilación de la trayectoria espermática después de la descongelación.

La ausencia de significación en STR coincide con la proximidad observada entre las líneas, debido a que las maternales registraron 61,17 ± 11,01 % y las finalizadoras 57,05 ± 10,97 %, mientras las medianas fueron de 58,27 % y 59,37 %, respectivamente, por lo que el valor p = 0,886 indica que la diferencia descriptiva de 4,12 puntos porcentuales entre las medias no fue suficiente para establecer una separación estadística, situación que sugiere que la rectitud de la trayectoria estuvo influida por la variabilidad individual de las muestras y por la respuesta de los espermatozoides al proceso de congelación y descongelación más que por la orientación maternal o finalizadora.

En LIN también se obtuvo una distribución semejante entre grupos, puesto que las líneas maternales alcanzaron 28,74 ± 6,64 % y las finalizadoras 27,19 ± 5,18 %, con medianas de 26,71 % y 27,10 %, respectivamente, mientras el resultado de U

= 10,00 y p = 0,686 confirmó que la diferencia de 1,55 puntos porcentuales entre las medias careció de significación estadística, hallazgo compatible con los estudios que señalan que la linealidad pos descongelación presenta una respuesta variable según la criotolerancia individual, el diluyente, la temperatura de conservación y las condiciones técnicas de evaluación mediante CASA, sin que una línea genética explique por sí sola el comportamiento cinético.

Para WOB, las líneas finalizadoras presentaron una media ligeramente superior, con 44,18 ± 3,14 % frente a 43,05 ± 1,96 % en las maternales, aunque el valor U = 6,00 y p = 0,686 mostró que esta diferencia de 1,13 puntos porcentuales tampoco fue estadísticamente significativa, por lo que la oscilación de la trayectoria mantuvo un comportamiento comparable entre líneas, resultado que coincide con la superposición de los rangos de 41,36 a 45,32 % en las maternales y de 41,13 a 47,67 % en las finalizadoras y descarta una separación clara entre ambos grupos según este índice.

Estos resultados se relacionan con Nuntapaitoon et al. (2024), quienes mostraron que STR, LIN y WOB variaron de acuerdo con la composición del diluyente y las condiciones de incubación pos descongelación, así como con Zhu et al. (2024), quienes identificaron diferencias en estos parámetros según la congelabilidad individual del semen, por lo que la ausencia de asociaciones significativas en la presente investigación resulta coherente con la naturaleza multifactorial de la cinética espermática, debido a que la línea porcina constituye solo uno de los elementos involucrados y su efecto puede quedar condicionado por factores seminales, técnicos y criobiológicos (23,24).

10.3. Caracterizar la distribución de las subpoblaciones espermáticas

Tabla 9. Distribución de las subpoblaciones espermáticas pos descongelación según muestra

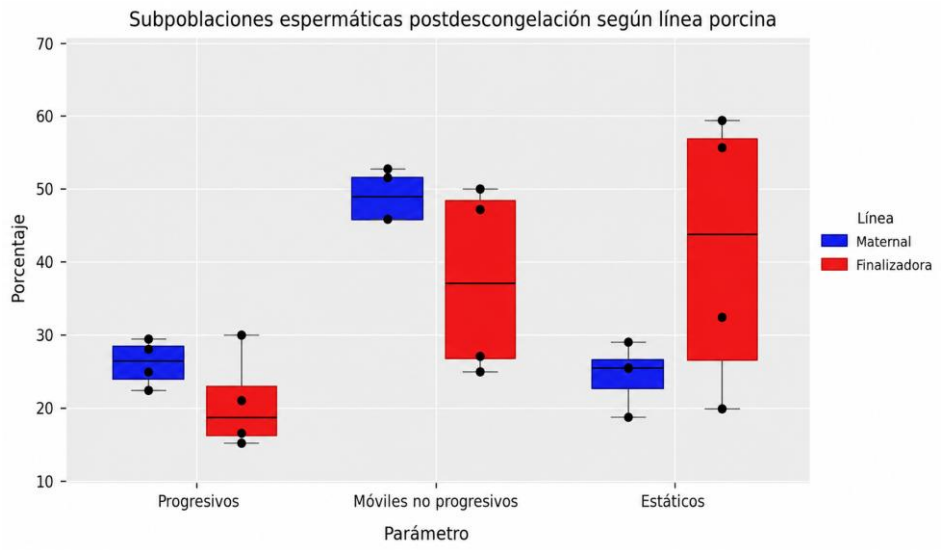
Muestra	Línea	Progresivos (%)	Móviles no progresivos (%)	Estáticos (%)
LB01	Maternal	25	46	29
QU11	Maternal	29	52	19
QU15	Maternal	28	46	26

QU151	Maternal	23	51	26
PV02	Finalizadora	30	50	20
PV01	Finalizadora	21	47	32
QU14	Finalizadora	17	27	56
CY1	Finalizadora	16	25	59

Autores: *Alvarez y Jacho.*

Nota. La clasificación de las subpoblaciones espermáticas corresponde al reporte emitido por el sistema CASA iSperm después del proceso de descongelación.

Ilustración 4. Distribución de las subpoblaciones espermáticas postdescongelación según línea porcina



Autores: *Alvarez y Jacho.*

La distribución de las subpoblaciones espermáticas mostró que las líneas maternales alcanzaron un promedio de 26,25 % de espermatozoides progresivos, 48,75 % de móviles no progresivos y 25,00 % de estáticos, mientras las líneas finalizadoras registraron 21,00 %, 37,25 % y 41,75 %, respectivamente, resultados que evidencian una conservación descriptivamente más favorable del movimiento en las líneas maternales, puesto que concentraron 75,00 % de células móviles totales frente a 58,25 % en las finalizadoras, aunque dentro de este último grupo la

muestra PV02 presentó el porcentaje progresivo más elevado, con 30 %, mientras QU14 y CY1 registraron las proporciones estáticas más amplias, con 56 % y 59 %.

Este comportamiento se relaciona con Zhang et al., quienes encontraron que el tratamiento con ciclodextrina cargada con cierto compuesto favoreció la movilidad pos descongelación, la integridad de la membrana y la producción de ATP en semen porcino, hallazgo que respalda que la distribución entre células progresivas, móviles no progresivas y estáticas guarda relación con el grado de protección de la membrana y la disponibilidad energética después de la congelación, mecanismo que podría vincularse con la proporción estática observada en QU14 y CY1, aunque los datos disponibles no permiten atribuir este resultado a una lesión celular específica sin evaluaciones complementarias de integridad de membrana, acrosoma y función mitocondrial (25).

De forma complementaria, Thema et al. comunicaron que el semen epididimario porcino congelado después de tres horas de mantenimiento a 18 °C alcanzó 85,9 % de movilidad total y 60,3 % de movilidad progresiva, mientras la congelación inmediata conservó 27,2 % y 12,2 %, respectivamente, por lo que la movilidad total de 75,00 % registrada en las líneas maternales se aproximó al tratamiento con conservación previa, aunque su proporción progresiva de 26,25 % resultó considerablemente inferior, mientras las líneas finalizadoras presentaron una movilidad total de 58,25 % y una progresiva de 21,00 %, valores intermedios que muestran una presencia importante de espermatozoides móviles no progresivos y confirman que la conservación del movimiento no implica necesariamente el mantenimiento de una trayectoria progresiva eficiente (26).

La variabilidad entre muestras también fue evidente dentro de cada línea, debido a que las maternales mantuvieron porcentajes progresivos relativamente próximos, entre 23 % y 29 %, mientras las finalizadoras mostraron un intervalo más amplio, entre 16 % y 30 %, acompañado por una marcada diferencia en células estáticas, desde 20 % en PV02 hasta 59 % en CY1, situación que sugiere una respuesta pos descongelación menos uniforme en el grupo finalizador y respalda la influencia de

factores individuales relacionados con la crio tolerancia seminal, la estabilidad de membrana y la capacidad energética de los espermatozoides.

10.4. Discusión

Respecto a los datos obtenidos en comparación de los parámetros de VCL, VSL y VAP , Mercado et al. encontraron que los verracos con mejor calidad seminal antes de la congelación no conservaron necesariamente esa superioridad después de la descongelación y concluyeron que la resistencia al proceso criogénico constituye una característica propia del individuo (21); asimismo, Kong et al. observaron que el diluyente de lactosa y yema de huevo conservó valores superiores de VCL, VSL y VAP frente a otro medio crio protector, aunque ambos grupos mostraron registros inferiores al semen fresco (18), por lo que los resultados de la Tabla 3 deben interpretarse como producto de la interacción entre la respuesta individual del verraco y las condiciones del protocolo de conservación.

Este resultado coincide con Fraser et al., quienes demostraron que la calidad espermática pos descongelación presentó variaciones entre verracos aún bajo condiciones de procesamiento semejantes, con efectos atribuibles al individuo y al origen de la fracción seminal, por lo que la respuesta criogénica no quedó explicada de forma exclusiva por una clasificación grupal; esta evidencia guarda relación con los resultados de la presente investigación, ya que la ausencia de significación estadística entre líneas coexistió con valores individuales contrastantes (16).

Álvarez et al. evaluaron semen de 53 verracos ibéricos y observaron que VCL, VSL y VAP variaron según las condiciones de almacenamiento y descongelación, aunque varios contrastes entre niveles de conservación no alcanzaron significación; de forma similar, Kong et al. comprobaron que el tipo de diluyente modificó de manera significativa VCL, VSL y VAP pos descongelación, con registros superiores en el diluyente de lactosa y yema de huevo frente al medio TCG, lo que evidencia que los parámetros cinemáticos también responden al protocolo criogénico y no solo al origen genético del verraco (22).

Respecto a los índices de STR, LIN y WOB, Zhu et al. estudió el efecto del plasma seminal sobre la congelabilidad del semen porcino y encontraron que, tras dos horas de incubación pos descongelación, los grupos con baja y elevada congelabilidad presentaron reducciones significativas en STR, LIN y WOB frente al grupo control, junto con alteraciones en motilidad progresiva, VSL y VAP; estos resultados respaldan que la estructura de la trayectoria no depende únicamente de la raza o línea, sino también de la resistencia celular al proceso de congelación y de la composición del medio que rodea al espermatozoide (24).

Thema et al. también comprobaron que el periodo de mantenimiento a 18 °C antes de la congelación modificó la linealidad y otros parámetros cinemáticos postdescongelación, con el mejor resultado a las tres horas, etapa en la cual se obtuvo 60,3 % de motilidad progresiva y 85,9 % de motilidad total; esta evidencia muestra que LIN y los demás indicadores CASA son sensibles a las condiciones previas a la congelación, lo cual ayuda a explicar por qué muestras procesadas dentro de un mismo estudio conservan respuestas individuales distintas después del descongelamiento (19).

De forma complementaria, Li et al. (2023) comprobaron que la temperatura de conservación posterior a la descongelación modificó LIN, STR y WOB en semen de verracos Landrace, con una respuesta funcional más favorable a 17 °C que a 5 °C y 37 °C, mientras Hackerova et al. (2025) señalaron que los valores obtenidos mediante CASA varían según la cámara, la concentración espermática, la tasa de captura, la temperatura y los umbrales de clasificación, por lo que las medias de STR, LIN y WOB registradas en esta investigación deben interpretarse dentro del protocolo aplicado y no como valores mínimos universales de viabilidad o fertilidad espermática (4,24).

En conjunto, la comparación exploratoria no aportó evidencia estadística suficiente para afirmar que las líneas maternales y finalizadoras difieran en STR, LIN o WOB después de la descongelación, aunque este resultado no debe interpretarse como igualdad absoluta entre grupos, debido a que la prueba de Mann-Whitney únicamente mostró que las diferencias observadas no alcanzaron significación

dentro de la muestra analizada, por lo que los hallazgos deben valorarse con cautela y en relación con el tamaño muestral, la variabilidad individual y las condiciones bajo las cuales se procesaron y evaluaron las muestras seminales.

Por otra parte los resultados indicaron que las líneas maternales conservaron una distribución pos descongelación más favorable, caracterizada por una proporción superior de espermatozoides progresivos y móviles no progresivos y una fracción estática más reducida, mientras las líneas finalizadoras presentaron una respuesta heterogénea, con buen comportamiento en PV02 y valores menos favorables en QU14 y CY1, por lo que las diferencias observadas no deben atribuirse exclusivamente a la orientación genética de la línea, sino interpretarse junto con la variabilidad individual, las condiciones del proceso de criopreservación y las características funcionales de cada muestra.

Nuntapaitoon et al. encontraron inmediatamente después de la descongelación una movilidad total de 52,5 % y una movilidad progresiva de 35,9 % en semen suplementado con 20 mM de glutamina, mientras el grupo control presentó 48,4 % de movilidad total, por lo que las líneas maternales del presente estudio superaron ambos registros en movilidad total, con 75,00 %, y las finalizadoras también mostraron un valor superior, con 58,25 %, aunque las proporciones progresivas de 26,25 % y 21,00 % permanecieron por debajo del 35,9 % informado con glutamina, resultado que indica que una parte considerable del movimiento conservado correspondió a células móviles no progresivas y que la movilidad total debe interpretarse junto con la calidad de la trayectoria espermática (25).

Estos estudios descritos anteriormente confirman que estos indicadores no dependen únicamente de la línea porcina, sino también de la criotolerancia individual y de las condiciones del medio seminal (26).

11. IMPACTOS TÉCNICOS SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS

11.1. Impacto técnico

La normalización de biotecnologías tal cual la congelación de semen porcino indica un avance significativo dentro del campo de tecnificación para reproducción animal. La ejecución de estas acciones facilita mejoras en procesos de recolección, evaluación, dilución, congelación y conservación del material genético, apoyando un nivel superior de viabilidad y fertilidad tras la congelación mediante adición de técnicas uniformes y establecidas; se optimiza la eficiencia del empleo de dosis seminales, se reduce la variabilidad en los resultados y se simplifica el intercambio tecnológico entre instituciones de inseminación artificial, laboratorios, granjas de producción. Asimismo, posibilita crear bancos genéticos que busquen conservar razas y líneas genéticas endémicas que contribuyen a preservar la biodiversidad y de alto valor productivo que resuelvan las demandas per cápita de la nación.

11.1 Impacto económico

El proceso de criopreservación seminal porcina ayuda a reducir los costos de operación a largo plazo, disminuyendo las demás y necesidad que generan las grandes comunidades de verracos reproductores. A su vez aumenta la efectividad reproductiva debido a la inseminación profunda que se practica, esto permite la planificación de partos de forma óptima y mejor la producción porcícola. brinda la probabilidad de conservar y diseminar semen de alta calidad genética lo cual genera nuevas fuentes y modelos de negocio, como son la comercialización de dosis congeladas, lo cual generaría plazas de empleos directos e indirectos. Sin embargo, es relevante que se considere el costo inicial en insumos, equipamiento y capacitación técnica del personal que estos tipos de biotecnologías representan al inicio, lo que podría ser una barrera para pequeños porcicultores y laboratorios si no se pone en práctica medios de respaldo financiero gubernamental o privado.

11.2 Impacto social

Desde el punto de vista social, la estandarización de los procedimientos de criopreservación contribuirá a la profesionalización del sector ganadero del país, lo que tendrá un efecto positivo en la formación de los veterinarios, agropecuarios y

otros profesionales. La criopreservación hará posible la difusión de materiales génicos de alto valor, ya que incluso las pequeñas granjas y regiones tendrán acceso a ellas sin necesidad de gastar mucho dinero en animales vivos o semillas. Además, esta técnica redunda en el bienestar animal, al tiempo que satisfará la creciente demanda de inseminación programada.

11.3 Impacto ambiental

Este proyecto tiene como objetivo reducir el transporte de animales vivos, lo cual es un importante factor de emisiones, al tiempo que mejora la valoración de determinados materiales genéticos, lo que se traduce en un mejor rendimiento con el fin de mantener viables las explotaciones ganaderas. Además, gracias a este proyecto, la conservación de estos materiales genéticos contribuye a preservar la biodiversidad porcina, minimizar cualquier riesgo adverso y garantizar un manejo adecuado desde el punto de vista de la seguridad sanitaria y la eficiencia energética.

12. PRESUPUESTO DELPROYECTO

El presupuesto estimado para la ejecución del proyecto corresponde a **USD 576,21**, valor que comprende diluyentes y medios para crio preservación, nitrógeno líquido, material biológico, insumos de laboratorio, elementos de protección personal y materiales requeridos para la preparación, congelación, descongelación y evaluación de las muestras seminales mediante el sistema CASA iSperm.

Tabla 10. Presupuesto estimado del proyecto

Cantidad	**Elemento**	**Costo unitario (USD)**	**Costo total (USD)**
1	Androstar® plus y sistema CryoGuard® Parte A, Parte B y Thaw	370,00	370,00
8	Dosis seminales	15,00	120,00
4	Huevos	0,75	3,00

20 kg	Nitrógeno líquido	—	20,00
1	Agua bidestilada	2,30	2,30
1	Jabón neutro	4,00	4,00
4	Pilas de botón	—	6,00
1 caja	Portaobjetos	4,10	4,10
1 caja	Cubreobjetos	3,00	3,00
1 frasco	Alcohol de 100 mL	2,50	2,50
1 paquete	Papel secante	3,00	3,00
4	Tubos Falcon de 15 mL	0,75	3,00
4	Tubos Falcon de 50 mL	1,05	4,20
40	Tubos Eppendorf	0,05	2,00
32	Pajuelas francesas	0,10	3,20
32	Perlas selladoras para pajuelas	0,03	0,96
40	Puntas estériles para micropipeta	0,03	1,20
1 caja	Guantes de nitrilo	5,00	5,00
1	Marcador permanente	1,25	1,25
4	Vasos de precipitación de 100 mL	3,00	12,00
2	Probetas plásticas de 50 mL	—	3,50
5	Jeringas de 1 mL	0,15	0,75
5	Jeringas de 5 mL	0,25	1,25
	Total		**576,21**

Autores: Alvarez y Jacho.

13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

13.1. Conclusiones

1. Las líneas maternales y finalizadoras registraron medias de VCL, VSL y VAP, sin evidencia de diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, lo que indicó que el comportamiento de los parámetros de velocidad estuvo condicionado principalmente por la variabilidad individual de los verracos evaluados.
2. Los valores medios de LIN, STR y WOB en líneas maternas y finalizadoras tuvieron una distribución semejante entre ambos grupos y variaciones entre muestras, lo que reflejó heterogeneidad en la rectitud, linealidad y oscilación de las trayectorias espermáticas después de la descongelación.
3. Las líneas maternales mostraron una conservación descriptivamente más favorable de las fracciones móviles y una menor proporción de células estáticas respecto a las finalizadoras.

13.2. Recomendaciones

1. Ampliar el número de muestra poblacional por línea porcina, con una distribución equilibrada entre grupos, para obtener estimaciones más precisas de VCL, VSL y VAP y fortalecer la capacidad de generalización de los resultados.
2. Estandarizar las condiciones de recolección, dilución, congelación, descongelación y lectura mediante CASA iSperm, con control de temperatura, concentración, número de campos y configuración del equipo, para reducir la variabilidad técnica en la medición de LIN, STR y WOB.
3. Realizar pruebas complementarias de viabilidad, integridad de membrana, estado acrosomal y función mitocondrial, con el propósito de profundizar la caracterización de las subpoblaciones progresivas, móviles no progresivas y estáticas.

14. BIBLIOGRAFIA

1. Yang X, Nie J, Zhang Y, Wang S, Zhu X, Li Z, et al. Genome-Wide Association Analysis of Boar Semen Traits Based on Computer-Assisted Semen Analysis and Flow Cytometry. Animals. 2025 Jan 1;15(1):26. doi:10.3390/ANI15010026/S1
2. Barquero V, Sevilla F, Calderón J, Madrigal M, Camacho M, Cucho H, et al. Condiciones óptimas del análisis CASA-Mot del semen de verraco: efecto de la tasa de fotogramas para diferentes cámaras y campos de recuento espermático. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú. 2021 Oct 27;32(5):e19832–e19832. doi:10.15381/RIVEP.V32I5.19832
3. Bolarin A, Berndtson J, Tejerina F, Cobos S, Pomarino C, D'Alessio F, et al. Boar semen cryopreservation: State of the art, and international trade vision. Anim Reprod Sci. 2024 Oct 1;269:107496. doi:10.1016/J.ANIREPROSCI.2024.107496 PubMed PMID: 38763787.
4. Hackerova L, Pilsova A, Pilsova Z, Zelenkova N, Tymich Hegrova P, Klusackova B, et al. Boar Sperm Motility Assessment Using Computer-Assisted Sperm Analysis: Current Practices, Limitations, and Methodological Challenges. Animals 2025, Vol 15, Page 305. 2025 Jan 22;15(3):305. doi:10.3390/ANI15030305
5. Cedeño L, Del Valle W. Evaluación del bienestar animal en cerdos bajo dos sistemas de producción en la parroquia convento del cantón Chone. Revista Científica Multidisciplinar G-nerando. 2025 Dec 9;6(2). doi:10.60100/RCMG.V6I2.850
6. Compagnoni V. Inseminación Artificial en la especie porcina: dosis inseminante en relación al lugar de deposición. Periodicidad: Semestral. 2019;39(2). doi:10.24215/15142590e041
7. Tana H. Concentración espermática de semen porcino (sus scrofa var. domesticus) mediante metodologías aplicadas comercialmente en la parroquia Conocoto del cantón Rumiñahui. [Internet]. UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO; 2017 [cited 2026 Jul 10]. Available from: https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/120b2380-3d99-4e59-a026-af1e3a44b146/content
8. Valverde A, Madrigal M, Camacho M, Zmabrana A, López L. Efecto de la composición racial sobre la calidad espermática de verracos1. Agronomía

Mesoamericana. 2018;29(3):485–506. doi:https://doi.org/10.15517/ma.v29i3.32445

9. Plaul S, Lausea P, Raffin D. Capítulo 21. Sistema reproductor del macho [Internet]. 2023 [cited 2026 Jul 10]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/371006448_Capitulo_21_Sistema_reproductor_del_macho
10. Valverde A, Barquero V, Soler C. The application of computer-assisted semen analysis (CASA) technology to optimise semen evaluation. A review. J Anim Feed Sci. 2020 Sep 30;29(3):189–98. doi:10.22358/JAFS/127691/2020
11. Valverde A, Madrigal M. Sistemas de análisis computadorizado de semen en la reproducción animal. Agronomía Mesoamericana. 2018 May 1;29(2):469. doi:10.15517/MA.V29I2.30613
12. Sevilla F, Soler C, Araya-Zúñiga I, Barquero V, Roldan ERS, Valverde A. Are There Differences between Methods Used for the Objective Estimation of Boar Sperm Concentration and Motility? Animals. 2023 May 1;13(10):1622. doi:10.3390/ANI13101622/S1
13. Córdova Izquierdo A, Pérez Gutiérrez JF, Méndez Hernández W, Villa Mancera AE, Huerta Crispín R. Obtención, evaluación y manipulación del semen de verraco en una unidad de producción Mexicana. Revista Veterinaria. 2015;26(1):69–74. doi:10.30972/VET.261253
14. Minitube. Androstar® máxima protección [Internet]. 2024 [cited 2026 Jul 15]. Available from: https://ranchproducts.com.ec/wp-content/uploads/2020/07/pdf_1353x-xxxx_Leaflet-Androstar_es_191022.pdf
15. Carrasco A, Toapanta O, Miranda E. Evaluación de tres diluyentes incorporados en el semen de porcinos [Internet]. 2023. doi:10.23857/pc.v8i11.6204
16. De Andrade AFC, Grossfeld R, Knox R V. In vitro effects of two different commercial freezing and thawing extenders on boar sperm quality. Anim Reprod Sci. 2022 Jan 1;236:106906. doi:10.1016/J.ANIREPROSCI.2021.106906 PubMed PMID: 34915236.
17. Domínguez Á, Herrera J, Ramón Julio, Aguilar E. Efecto de diferentes crioprotectores sobre la criopreservación del semen de cerdo Pelón Mexicano. Abanico Veterinario. 2023 Jan 1;13. doi:10.21929/abavet2023.23

18. Minitube. MINITUBE INTERNATIONAL [Internet]. 2020 [cited 2026 Jul 15]. Available from: https://www.phibrosaludanimal.com/news/20201217-minitube/pdf/pdf_catalogo-porcino.pdf
19. Fraser L, Zasiadczyk Ł, Mogielnicka M. Boar-to-Boar Variations in Quality Characteristics of Sperm from Different Ejaculates Following Freezing–Thawing. Cells. 2025 Feb 1;14(3):212. doi:10.3390/CELLS14030212/S1 PubMed PMID: 39937003.
20. Li J, Li J, Wang S, Ju H, Chen S, Basioura A, et al. Post-Thaw Storage Temperature Influenced Boar Sperm Quality and Lifespan through Apoptosis and Lipid Peroxidation. Animals (Basel). 2023 Jan 1;14(1):87. doi:10.3390/ANI14010087 PubMed PMID: 38200818.
21. Kong Y, He M, Gao J, Xu J, Lu N, Wu C, et al. Comparative Analysis of Classic Semen Extenders for Frozen–Thawed Boar Semen. Animals. 2025 Jul 1;15(13):1885. doi:10.3390/ANI15131885/S1
22. Thema M, Mkhize N, Sebopela M, Ledwaba M, Mphaphathi M. Effect of Pre-Freezing 18 °C Holding Time on Post-Thaw Motility and Morphometry of Cryopreserved Boar Epididymal Sperm. Animals 2025, Vol 15, Page 1691. 2025 Jun 7;15(12):1691. doi:10.3390/ANI15121691
23. Fraser L, Zasiadczyk Ł, Mogielnicka M. Boar-to-Boar Variations in Quality Characteristics of Sperm from Different Ejaculates Following Freezing–Thawing. Cells. 2025 Feb 1;14(3):212. doi:10.3390/CELLS14030212/S1 PubMed PMID: 39937003.
24. Li J, Li J, Wang S, Ju H, Chen S, Basioura A, et al. Post-Thaw Storage Temperature Influenced Boar Sperm Quality and Lifespan through Apoptosis and Lipid Peroxidation. Animals (Basel). 2023 Jan 1;14(1):87. doi:10.3390/ANI14010087 PubMed PMID: 38200818.
25. Kong Y, He M, Gao J, Xu J, Lu N, Wu C, et al. Comparative Analysis of Classic Semen Extenders for Frozen–Thawed Boar Semen. Animals. 2025 Jul 1;15(13):1885. doi:10.3390/ANI15131885/S1
26. Thema M, Mkhize N, Sebopela M, Ledwaba M, Mphaphathi M. Effect of Pre-Freezing 18 °C Holding Time on Post-Thaw Motility and Morphometry of Cryopreserved Boar Epididymal Sperm. Animals 2025, Vol 15, Page 1691. 2025 Jun 7;15(12):1691. doi:10.3390/ANI15121691