

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA

GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y AGROAMBIENTAL



**“ESTUDIO DE SUPERVIVENCIA EN DOS LÍNEAS DE CONEJO
SELECCIONADAS DIVERGENTEMENTE POR VARIABILIDAD DEL
TAMAÑO DE CAMADA AL PARTO”**

TRABAJO FIN DE GRADO

Julio-2025

Autora: Berta Pérez Ortuño

Tutor: Iván Agea Durán



Título: Estudio de supervivencia en dos líneas de conejo seleccionadas divergentemente por variabilidad del tamaño de camada al parto.

Resumen: En condiciones de granja, algunas hembras no son eliminadas de forma planificada, sino que fallecen durante la vida productiva. Las principales causas de mortalidad están relacionadas con trastornos reproductivos, digestivos y respiratorios. Dado que la aparición de estas patologías se asocia con situaciones de estrés, es razonable suponer que las hembras menos sensibles al estrés podrían presentar una mayor supervivencia. La hipótesis del presente trabajo plantea que, comparando la supervivencia de dos líneas seleccionadas divergentemente por variabilidad del tamaño de camada al parto, la línea seleccionada por homogeneidad del carácter tiene una mayor supervivencia que la línea seleccionada por heterogeneidad.

Palabras clave: conejo, supervivencia, selección divergente, estrés, variabilidad del tamaño de camada.

Title: Survival study in two rabbit lines divergently selected for variability of litter size at birth.

Abstract: In farm conditions, some does are not culled but die during their productive life. The main causes of mortality are related to reproductive, digestive and respiratory disorders. Since these pathologies are associated with stress, it is assumed that less stress-sensitive does may have lower mortality rates. The hypothesis of this study is that, comparing the survival of two lines divergently selected for variability in litter size at birth, the line selected for homogeneity of the character has a higher survival rate than the line selected for heterogeneity.

Keywords: rabbit, survival, divergent selection, stress, litter size variability.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. ANTECEDENTES	5
1.1.1. BIENESTAR ANIMAL	5
1.1.2. ESTRÉS	7
1.1.3. SUPERVIVENCIA	12
1.1.4. SELECCIÓN DIVERGENTE	13
1.2. HIPÓTESIS	14
1.3. OBJETIVOS	14
2. MATERIAL Y MÉTODOS	15
2.1. INSTALACIONES	15
2.2. MATERIAL ANIMAL	16
2.3. DISEÑO EXPERIMENTAL	16
2.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	17
3. RESULTADOS	17
3.1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO	17
3.2. TEST DE NORMALIDAD DE KOLMOGOROV-SMIRNOV	18
3.3. CURVAS DE SUPERVIVENCIA DE KAPLAN-MEIER Y TEST DE LOG-RANK	21
3.4. TEST DE MANN WHITNEY WILCOXON	24
4. DISCUSIÓN	26
4.1. ROBUSTEZ Y EFICIENCIA	26
4.2. GENÉTICA Y LONGEVIDAD	27
4.3. RESILIENCIA Y VARIABILIDAD	27
5. CONCLUSIONES	28
6. BIBLIOGRAFÍA	29

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

1.1.1. BIENESTAR ANIMAL

El concepto de bienestar animal es complejo y ha sido objeto de diversas definiciones a lo largo del tiempo. Se refiere al estado físico y mental de un animal en relación con las condiciones en las que vive y muere. Para entender mejor este concepto, se han propuesto distintos enfoques, entre ellos el de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA), que establece las "cinco libertades" como criterios clave para evaluar el bienestar de los animales bajo el control humano:

1. Libertad de hambre, sed y desnutrición.
2. Libertad de miedo y angustia.
3. Libertad de molestias físicas y térmicas.
4. Libertad de dolor, lesión y enfermedad.
5. Libertad de expresar comportamientos naturales.

Estas libertades cubren aspectos fundamentales de la vida de los animales, abordando desde su bienestar físico hasta su capacidad para comportarse de forma acorde con su especie.

Desde un enfoque más científico, según Dalmau (2019) el bienestar animal puede analizarse a través de tres dimensiones principales.

- La primera se centra en los estados emocionales del animal y considera que su bienestar depende de la presencia de emociones positivas y la ausencia de negativas, como el miedo o el dolor. Puesto que estas emociones no pueden medirse directamente, se utilizan indicadores fisiológicos y conductuales, como la frecuencia cardíaca o determinados patrones de comportamiento, para evaluarlas. Sin embargo, es importante señalar que la aplicación de buenas prácticas de manejo no garantiza necesariamente un mayor bienestar y que la predisposición genética también juega un papel importante en esto, ya que algunos animales pueden experimentar angustia incluso en condiciones óptimas.

- La segunda perspectiva es la relacionada con la naturalidad del entorno, que sostiene que el bienestar depende de la capacidad del animal para expresar los patrones de conducta típicos de su especie en un ambiente parecido a su hábitat natural. Sin embargo, esta visión continúa siendo debatida, ya que no siempre un entorno más naturalizado implica mejores condiciones de bienestar. Ozella *et al.* (2024) demostraron que, en el caso de los conejos, la convivencia en grupo puede desencadenar conflictos sociales, especialmente tras la madurez sexual, lo que se traduce en mayores niveles de estrés fisiológico y conductual, medido mediante concentraciones elevadas de corticosterona en saliva y pelo. Por tanto, un entorno más “natural” no garantiza automáticamente mejores condiciones de bienestar, ya que factores como la agresividad o la jerarquización social pueden convertirse en fuentes importantes de malestar.
- El tercer enfoque se basa en una correcta función biológica. Según este planteamiento, el bienestar se alcanza cuando el animal puede afrontar adecuadamente las adversidades de su entorno sin comprometer su salud. Por ejemplo, una alimentación insuficiente puede obligar al organismo a movilizar sus reservas energéticas para mantener funciones vitales, lo que puede afectar a su crecimiento y reproducción.

En cualquier caso, el bienestar es el estado del animal cuando hace frente a su entorno (Broom, 1988). Y, según Curtis (2007), los índices de rendimiento productivo y reproductivo en relación con su potencial previsto, son los mejores indicadores del bienestar animal. Por tanto, su importancia reside en que asegurar condiciones adecuadas para los animales no sólo mejora su calidad de vida, sino que también tiene implicaciones directas sobre la productividad y salud de los animales. A su vez, esto puede influir en la calidad de los productos que obtenemos de ellos. Además, en la sociedad actual los consumidores están cada vez más dispuestos a pagar más por productos respetuosos con el bienestar animal, lo que influirá en las prácticas de producción animal en el futuro (Clark *et al.*, 2016).

1.1.2. ESTRÉS

El estrés es un estado que se produce cuando los animales se enfrentan a condiciones ambientales adversas, lo que desencadena una serie de cambios en sus funciones biológicas. El estrés aumenta la incidencia de enfermedades y el sufrimiento de los animales, e incluso, si el nivel de estrés se vuelve crónico, puede llevar a la muerte (Asres y Amha, 2014).

Por ejemplo, el estrés debido a la exposición al calor es un desafío importante en la producción cunícola en regiones de clima cálido (Marai *et al.*, 2002). La exposición a temperaturas elevadas puede afectar también tanto la fisiología como la reproducción de los conejos (Sabés-Alsina *et al.*, 2016). Otro factor de estrés relevante es el aislamiento individual de conejos acostumbrados a vivir en grupo, lo que puede influir negativamente en su bienestar (Baías *et al.*, 2012).

La distinción entre estrés agudo y estrés crónico es fundamental para comprender cómo los factores estresantes afectan el bienestar animal, ya que se diferencian principalmente por su duración y la capacidad del animal para recuperar el equilibrio fisiológico. (Trevisi y Bertoni, 2009).

El estrés agudo es una respuesta inmediata y de corta duración a un estímulo negativo, que generalmente permite una recuperación rápida y casi completa. Se caracteriza por una activación rápida del sistema nervioso simpático y del eje hipotalámico-pituitario-adrenal, con cambios hormonales y fisiológicos temporales que pueden incluir aumento de la frecuencia cardíaca, presión arterial y movilización de energía. Estos cambios suelen ser adaptativos y no reflejan una reducción significativa del bienestar, pudiendo incluso mejorar la capacidad del animal para enfrentar desafíos puntuales.

En cambio, el estrés crónico implica una condición prolongada de excitación fisiológica en la que el animal no logra recuperarse completamente, generando una carga alostática que puede desencadenar efectos biológicos y funcionales negativos. Este estado se asocia con una disminución del bienestar, mayor susceptibilidad a enfermedades, reducción del rendimiento productivo y reproductivo, así como

supresión del sistema inmunitario. La valoración del estrés crónico es compleja y requiere de múltiples indicadores, incluyendo parámetros endocrinos, inmunológicos, bioquímicos y de comportamiento.

El estrés en conejos se puede evaluar mediante diversos indicadores fisiológicos y conductuales:

- Temperatura corporal: En el momento inicial de un episodio estresante se ha observado una disminución de la temperatura en extremidades como las orejas debido a la vasoconstricción y reducción del flujo sanguíneo (Luzi *et al.*, 2007). Seguidamente a este fenómeno se produce una hipertermia inducida por estrés, relacionada con la activación del sistema adrenomedular simpático, que provoca la liberación de catecolaminas como la adrenalina y la noradrenalina (Serrano-Jara *et al.*, 2025). Estas hormonas provocan un aumento rápido de la temperatura corporal, que puede evaluarse mediante termografía infrarroja (IRT), una técnica de medición objetiva, rápida y mínimamente invasiva para la radiación térmica emitida por la piel sin necesidad de contacto físico. En conejos, las regiones anatómicas más adecuadas para detectar esta respuesta térmica son el ojo, la nariz y la oreja (Serrano-Jara *et al.*, 2025).

Un estudio realizado por Serrano-Jara *et al.* (2025) evaluó la respuesta térmica al estrés inducido por la recolección de semen, identificando un incremento significativo de temperatura en el ojo entre los minutos 0 y 1 posteriores al estímulo. Esta respuesta fue más rápida y estable en comparación con otras regiones, lo que convierte al ojo en una zona especialmente útil para medir el estrés agudo. En contraste, el aumento de temperatura en la nariz y la oreja se produjo más tarde, dentro de los primeros 20 y 15 minutos respectivamente. Esta diferencia puede explicarse porque ambas regiones participan activamente en el intercambio de calor en conejos y están influenciadas por factores ambientales como la humedad relativa (Caputa, 1979; Caputa *et al.*, 1980). Además, se observó que una segunda exposición al mismo estímulo estresante produjo una respuesta térmica de menor magnitud, lo que sugiere una posible habituación del animal (Serrano-Jara *et al.*, 2025).

- Frecuencia cardíaca y respiratoria: En conejos jóvenes, el aislamiento puede provocar un aumento en estos parámetros, que se consideran indicadores accesibles y fiables del estrés (Baías *et al.*, 2012).
- Consumo de agua: En condiciones de estrés térmico, los conejos incrementan su ingesta de agua significativamente (Marai *et al.*, 2002; Mutwedu *et al.*, 2021).
- Metabolitos sanguíneos: El estrés por calor puede alterar los niveles de glucosa y proteínas en plasma. Además, se ha registrado una disminución de la proteína total sérica y variaciones en diversos parámetros hematológicos, como la concentración de hemoglobina, el número de eritrocitos y leucocitos, y los niveles de urea y creatinina (Marai *et al.*, 2002; Mutwedu *et al.*, 2021).
- Hormonas: Los niveles de cortisol en orina y corticosterona en heces son herramientas no invasivas para evaluar el estrés. El estrés prolongado puede inhibir la liberación de hormonas hipotalámicas y reducir los niveles de tiroxina (T3). También se ha documentado un ligero aumento de corticosterona tras situaciones de estrés agudo, como la inmovilidad tónica o estado de parálisis temporal como respuesta a un sentimiento de amenaza. (Luzi *et al.*, 2007; Baías *et al.*, 2012; Marai *et al.*, 2002).
- Estrés oxidativo: La exposición prolongada a temperaturas elevadas puede inducir estrés oxidativo, evidenciado por el aumento del malondialdehído (MDA) y la reducción de antioxidantes como la catalasa y la glutatión peroxidasa (Mutwedu *et al.*, 2021).
- Parámetros espermáticos: El estrés térmico puede afectar la calidad del semen, reduciendo la motilidad y la actividad metabólica de los espermatozoides. Asimismo, temperaturas elevadas pueden disminuir la velocidad de los espermatozoides y aumentar la proporción de células espermáticas anormales (Sabés-Alsina *et al.*, 2016).

Una vez identificados los principales indicadores fisiológicos y conductuales del estrés en conejos, es fundamental analizar sus implicaciones directas sobre la eficiencia productiva y reproductiva en la cunicultura.

El estrés tiene múltiples efectos negativos en la producción cunícola. Una de las respuestas fisiológicas más inmediatas al estrés térmico es la reducción en la ingesta de alimento, lo que repercute en una menor ganancia de peso diaria. Además, el índice de conversión alimenticia se ve afectado negativamente, lo que indica una menor eficiencia en la digestión y el aprovechamiento de los nutrientes. Durante los periodos de altas temperaturas, también se incrementa la tasa de mortalidad, tanto antes como después del destete (Marai *et al.*, 2002; Mutwedu *et al.*, 2021).

En lo que respecta al rendimiento reproductivo en hembras, el estrés térmico puede inducir hipotiroidismo, retrasando la pubertad y disminuyendo la fertilidad. Este tipo de estrés se ha relacionado con una menor tasa de concepción, ya sea por problemas en la fertilización o por un aumento en la mortalidad embrionaria. De igual forma, las camadas nacidas en épocas calurosas tienden a ser más pequeñas y con menor peso. Se ha observado que la exposición a altas temperaturas compromete el desarrollo embrionario, aumentando las tasas de mortalidad embrionaria y fetal, así como el riesgo de abortos y el nacimiento de gazapos con baja viabilidad. Además, se ha documentado una reducción en el peso de los órganos reproductivos, como los ovarios y el útero, en hembras sometidas a estas condiciones (Marai *et al.*, 2002; Mutwedu *et al.*, 2021).

En el caso de los machos, el estrés térmico también compromete significativamente la eficiencia reproductiva. Se ha reportado una disminución en el volumen del eyaculado y en la motilidad espermática, junto con un aumento en la proporción de espermatozoides muertos o anómalos. También se observa una reducción en la concentración espermática y en el número total de espermatozoides por eyaculado (Marai *et al.*, 2002; Sabés-Alsina *et al.*, 2016).

Más allá del estrés térmico ambiental, otros factores como la manipulación y sujeción durante la recogida de semen también desencadenan respuestas fisiológicas adversas en los conejos. La recogida artificial de semen se ha identificado como un estresor

relevante, capaz de alterar la calidad espermática y provocar cambios fisiológicos medibles. Entre las respuestas más destacadas se encuentran la activación del eje hipotalámico-pituitario-adrenocortical y del sistema adrenomedular simpático, lo que conlleva un aumento en la liberación de glucocorticoides y catecolaminas. Estos cambios inducen hipertermia transitoria, modificaciones en el metabolismo de la glucosa, alteraciones inmunológicas, y variaciones en la presión intraocular (Serrano-Jara *et al.*, 2025).

En estudios recientes se ha demostrado que el globo ocular es la región anatómica más sensible para detectar variaciones térmicas inducidas por el estrés mediante termografía infrarroja. Tras la recogida de semen, se observó un aumento de la temperatura ocular entre los minutos 0 y 1, seguida de un descenso hasta el minuto 5, manteniéndose luego estable. Cuando se realizó una doble recogida, la temperatura aumentó nuevamente entre los minutos 30 y 40 sin lograr retornar a los valores basales, lo que indica que un intervalo de 90 minutos no es suficiente para una recuperación completa. Reacciones térmicas similares, aunque más tardías, se observaron en la oreja y la nariz, zonas importantes para la disipación del calor en conejos debido a la ausencia de glándulas sudoríparas (Serrano-Jara *et al.*, 2025).

En conjunto, estos hechos recalcan la importancia de considerar tanto el estrés ambiental como el provocado por procedimientos rutinarios de manejo en la reproducción cunícola.

1.1.3. SUPERVIVENCIA

La supervivencia en conejos hace referencia a su capacidad para mantenerse vivos a lo largo de las distintas etapas de su vida, desde la fase embrionaria hasta la adultez o edad productiva. El análisis de este concepto es esencial para comprender tanto los factores genéticos como los ambientales que afectan la viabilidad de los animales y optimizar la eficiencia productiva. (Sánchez *et al.*, 2003; Valdés-Hernández *et al.*, 2017).

La supervivencia puede evaluarse mediante distintos indicadores, según la etapa vital del animal:

- Longevidad o vida productiva: Se refiere al periodo durante el cual una coneja permanece activa reproductivamente, y se mide en función del momento de su eliminación o muerte.
- Supervivencia prenatal, que se puede dividir en:
 - Tasa de supervivencia embrionaria (TSE) o relación entre el número de embriones implantados y el número de embriones transferidos.
 - Tasa de supervivencia gestacional (TSG) o número de nacidos vivos respecto al número de embriones implantados.
- Supervivencia postnatal, que incluye:
 - Tasa de supervivencia en lactación (TSPL) o porcentaje de gazapos destetados respecto al número de nacidos vivos.
 - Tasa de supervivencia en engorde (TSPE) o proporción de gazapos que alcanzan la edad de sacrificio en relación con los destetados.

Según los estudios de Sánchez *et al.* (2003) y Valdés-Hernández *et al.* (2017), estos indicadores permiten identificar factores ambientales como:

- La estación del año, que influye en la temperatura ambiental y el fotoperiodo, afectando directamente la fertilidad, la viabilidad embrionaria y la resistencia a enfermedades.
- El orden de parto, ya que las primerizas presentan mayor riesgo de pérdidas reproductivas y postnatales.
- La generación y el manejo sanitario, que determinan el nivel de exposición a patógenos y la capacidad de adaptación de las conejas al entorno productivo.
- El estado corporal y la alimentación, especialmente durante etapas críticas como la gestación o lactación.
- La fertilidad de la hembra y el número de nacidos vivos, que afecta a la carga fisiológica y el riesgo de mortalidad de la camada.

También, se ha demostrado que el genotipo materno tiene una influencia significativa en la supervivencia prenatal, con un componente de heredabilidad que puede aprovecharse en programas de mejora genética.

Conocer los periodos críticos de mortalidad y los factores de riesgo asociados permite aplicar estrategias de manejo más eficaces, con el fin de mejorar la supervivencia y reducir las pérdidas económicas. Además, la información genética obtenida puede incorporarse en programas de selección enfocados en incrementar la longevidad de las reproductoras y su resistencia a enfermedades (Sánchez *et al.*, 2003).

1.1.4. SELECCIÓN DIVERGENTE

La selección divergente es un proceso evolutivo clave mediante el cual dos o más poblaciones de una misma especie experimentan presiones selectivas en direcciones opuestas, lo que puede conducir a una diferenciación genética y fenotípica significativa a lo largo del tiempo. Los experimentos de selección divergente, como el que se propone en el presente proyecto, constituyen una herramienta para estudiar los mecanismos implicados en la adaptación y evolución de rasgos cuantitativos complejos (Johansson *et al.*, 2010; Nosil *et al.*, 2009). Al exponer distintas líneas a presiones selectivas contrastantes sobre un rasgo específico, se busca maximizar la divergencia genética entre ellas. Esto facilita la comparación de sus respuestas y el estudio de la fijación diferencial de alelos, lo que a su vez aporta información sobre cómo se heredan y evolucionan las diferencias fenotípicas.

Aunque en este proyecto no se realicen análisis genéticos directos, el seguimiento fenotípico a lo largo de varias generaciones permite deducir, de manera indirecta, la base genética del rasgo estudiado. Una respuesta consistente y divergente ante las presiones selectivas en el tamaño de camada sugiere que las diferencias observadas tienen un componente genético heredable. Un ejemplo similar se puede encontrar en Teotónio *et al.* (2009) donde se estudiaron dos líneas de pollos seleccionadas divergentemente durante 50 generaciones por el peso corporal, en el que se reportaron cambios fenotípicos marcados que reflejaban modificaciones genómicas significativas. Aunque en ese caso se analizaron marcadores genéticos, la analogía respalda que el seguimiento del fenotipo puede aportar información sólida sobre los procesos genéticos implicados.

La evolución del rasgo a lo largo de la selección divergente puede revelar aspectos de su estructura genética. Por ejemplo, una respuesta progresiva y continua a la selección puede indicar que intervienen muchos genes con efectos aditivos, es decir, que cada uno contribuye de forma acumulativa al fenotipo. En cambio, patrones más complejos o no lineales en la evolución del rasgo podrían sugerir la existencia de interacciones genéticas (epistasia), donde el efecto de un gen depende de la presencia de otros (Carlborg *et al.*, 2006, citado en Johansson *et al.*, 2010). De hecho, en la población de pollos mencionada anteriormente, la epistasia jugó un papel clave.

Además, este enfoque permite detectar efectos indirectos o respuestas correlacionadas a la selección, ya que ciertos genes o mutaciones pueden ejercer efectos pleiotrópicos, influyendo en múltiples rasgos a la vez y afectando tanto la aptitud como la capacidad evolutiva (Wagner, 2022).

1.2. HIPÓTESIS

Se plantea la hipótesis de que las hembras de la línea de conejos seleccionada por homogeneidad en el tamaño de camada al parto presentarán una mayor tasa de supervivencia en comparación con aquellas pertenecientes a la línea seleccionada por alta variabilidad en este mismo rasgo. Esta suposición se basa en la relación general entre el estrés y la aparición de enfermedades, así como en la idea de que una menor sensibilidad al estrés podría estar asociada con una menor mortalidad.

1.3. OBJETIVOS

1. Estudiar la influencia de la selección divergente aplicada sobre la variabilidad del tamaño de camada al parto en la supervivencia de las conejas reproductoras.
 - 1.1. Analizar la longevidad productiva de las conejas pertenecientes a ambas líneas genéticas, determinada por el número de días transcurridos desde su incorporación al ciclo reproductivo hasta su eliminación o muerte.

- 1.2. Evaluar y comparar el tiempo necesario para alcanzar el sexto parto (SOP6) entre ambas líneas, como indicador de eficiencia reproductiva durante los primeros ciclos productivos.
- 1.3. Estudiar el orden de parto alcanzado como medida complementaria de la duración de la vida reproductiva, con el fin de detectar posibles diferencias en la permanencia de las conejas en producción.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. INSTALACIONES

El experimento se llevó a cabo en la granja de investigación y docencia de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela, perteneciente a la Universidad Miguel Hernández de Elche (España). Esta granja cuenta con un sistema de ambiente controlado que garantiza condiciones homogéneas a lo largo del ensayo. Los animales estuvieron sometidos a un fotoperiodo constante de 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad, con ventilación controlada.

Las conejas se alojaron en jaulas individuales polivalentes de la marca Copele. Cada jaula está diseñada para albergar de forma individual a una hembra y su camada ya que permite la adaptación de un nidal. El nidal consiste en una cubeta de plástico extraíble desde la parte superior de la jaula, en la que se instala tres días antes de la fecha prevista de parto. Los gazapos permanecen con la madre durante el periodo de lactancia hasta los 28 días, cuando se pasan a jaulas de engorde.

2.2. MATERIAL ANIMAL

Los animales utilizados en este estudio fueron hembras reproductoras pertenecientes a la generación 12 de dos líneas seleccionadas divergentemente por la variabilidad del tamaño de camada al parto en la Escuela Politécnica Superior de Orihuela. La línea seleccionada por disminución de la varianza del número de gazapos nacidos vivos se denomina Homogénea, mientras que la línea seleccionada por aumento de dicha

varianza se denomina Heterogénea. Se han estudiado 251 hembras, 128 de la línea Heterogénea y 123 de la Homogénea.

El manejo reproductivo se realizó bajo un sistema semi-intensivo con bandas semanales, monta natural a los 10 días postparto y destete a los 28 días de edad. Las conejas estuvieron expuestas a las mismas rutinas de manejo que cualquier granja comercial. Las hembras fueron alimentadas ad libitum con un pienso comercial y el agua estuvo disponible de forma continua mediante bebederos tipo tetina.

Se realizó una revisión y retirada diaria de los animales fallecidos, procedimiento fundamental para el seguimiento de la supervivencia y se trató de identificar las causas de muerte. En los casos en los que los animales presentaron un estado de salud no recuperable, se procedió a eliminarlos mediante la aplicación intravenosa de Tiopental sódico por parte del personal de granja y se registró la fecha y causa de eliminación. Además, cada jueves, aprovechando el día de monta, se revisó el estado de salud de las hembras y se registró el peso individual.

2.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se trata de un estudio observacional retrospectivo basado en la cohorte de hembras reproductoras de la generación 12 de dos líneas divergentes seleccionadas por la variabilidad del tamaño de camada al parto. En la línea Homogénea, la presión selectiva se dirigió a disminuir la varianza del número de gazapos nacidos vivos, mientras que en la línea Heterogénea se buscó incrementarla. Para ello, se emplearon los datos previamente recopilados en las fichas individuales de cada animal en la granja. Se registraron las fechas de las montas, de los partos, de la muerte o eliminación, la causa de la muerte o eliminación y el orden de parto de cada coneja. Así, las variables estudiadas fueron:

- El tiempo de permanencia productiva en la granja, calculado como el tiempo en días transcurrido desde la primera monta hasta la muerte o eliminación (SE).
- El orden de parto alcanzado al momento de la muerte o eliminación (OP).

- El tiempo en días transcurrido desde la primera monta hasta el orden de parto 6 (SOP6).

2.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Utilizando el software libre R, se ha realizado un análisis descriptivo de las variables SE, OP y SOP6 en total y por línea de animales.

Se ha analizado la normalidad de las variables con el test de Kolmogorov-Smirnov, la supervivencia de los animales utilizando curvas de Kaplan-Meier y test de log rank tanto por tiempo en días como por orden de parto. Se han comparado variables mediante el test de Mann Whitney Wilcoxon, teniendo en cuenta un error de tipo I de 0,05 y un error de tipo II de 0,2.

3. RESULTADOS

3.1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO

Se analizaron un total de 251 hembras reproductoras, distribuidas en dos líneas genéticas: 128 conejas de la línea Heterogénea y 123 de la línea Homogénea.

La vida productiva media fue de $329,7 \pm 173,0$ días. Al discernir por línea, la Heterogénea mostró una media de $339,6 \pm 178,9$ días, mientras que la Homogénea presentó una media de $319,4 \pm 166,8$ días.

El tiempo medio hasta alcanzar el sexto parto (SOP6) fue de $489,2 \pm 139,9$ días. La línea Homogénea alcanzó el OP6 en $417,2 \pm 92,2$ días, significativamente antes que la línea Heterogénea, que tardó $552,3 \pm 144,8$ días.

En cuanto al orden de parto alcanzado, la media global fue de $5,2 \pm 2,7$ partos. No se observaron diferencias relevantes entre ambas líneas.

Tabla 1. Resumen descriptivo de SE, OP y SOP6 por línea genética.

Línea	Nº hembras	SE (media)	OP (media)	SOP6 (días)
Heterogénea	128	339,6	5,2	552,3
Homogénea	123	319,4	5,2	417,2

3.2. TEST DE NORMALIDAD DE KOLMOGOROV-SMIRNOV

Se evaluó la distribución de las variables cuantitativas vida productiva, orden de parto alcanzado y tiempo entre la selección y el sexto parto (SOP6) mediante el test de Kolmogorov-Smirnov, con el objetivo de comprobar si seguían una distribución normal.

Los resultados mostraron que:

- Las variables vida productiva y orden de parto no siguen una distribución normal ($p < 0,05$).
- La variable S-OP6 presentó un valor de $p = 0,052$, lo que sugiere una posible distribución normal, aunque cercana al límite de significación.

No obstante, al aplicar el test de Levene para comprobar la homogeneidad de varianzas entre líneas genéticas, se evidenció que SOP6 no cumple con la condición de homocedasticidad. Por tanto, al igual que las otras variables, se utilizará una prueba no paramétrica de Mann-Whitney-Wilcoxon para su comparación entre grupos.

Los diagramas de caja correspondientes a las variables vida productiva, orden de parto alcanzado y SOP6 se presentan en las Figuras 1, 2 y 3. En ellos puede observarse la asimetría y forma de cada distribución: tanto la vida productiva como el orden de parto alcanzado muestran una distribución no normal, mientras que la variable SOP6 presenta una distribución más cercana a la normalidad, aunque sin cumplir con la homogeneidad de varianzas entre grupos.

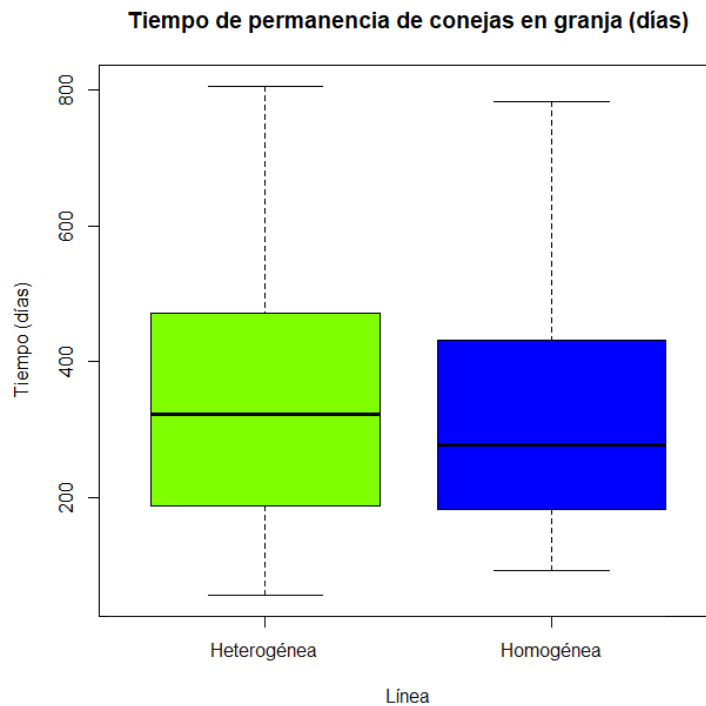


Figura 1. Diagrama de caja del tiempo de permanencia en granja (vida productiva) según línea genética.

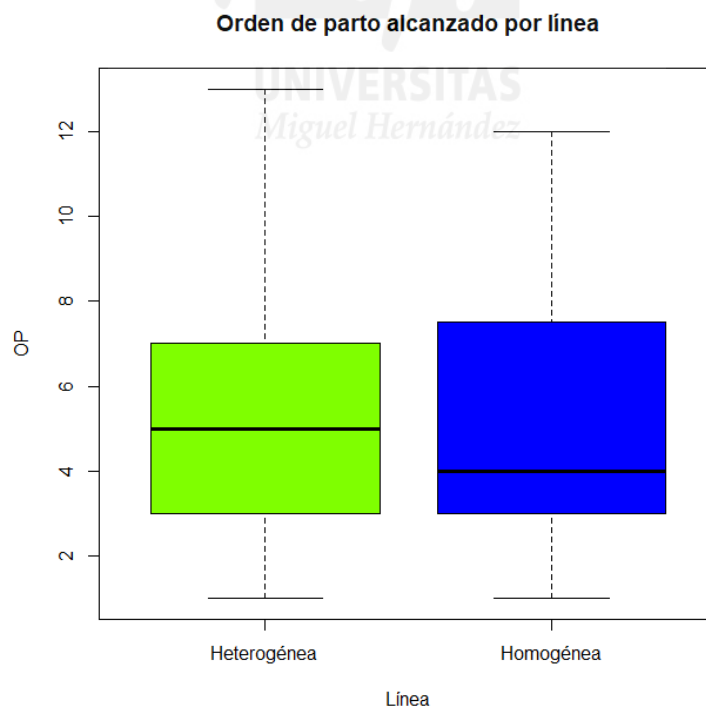


Figura 2. Diagrama de caja del orden de parto alcanzado según línea genética.

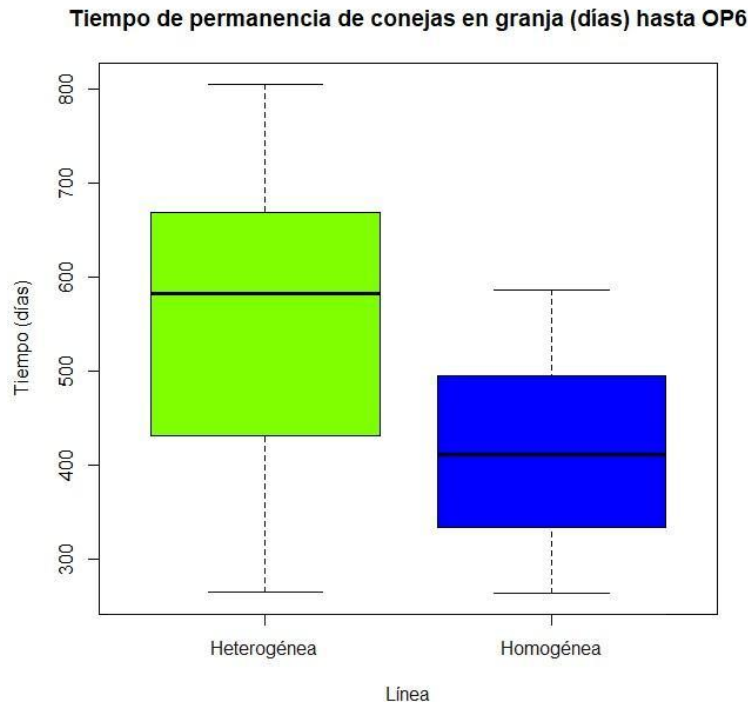


Figura 3. Diagrama de caja del tiempo desde la selección hasta alcanzar el sexto parto (SOP6) según línea genética.

3.3. CURVAS DE SUPERVIVENCIA DE KAPLAN-MEIER Y TEST DE LOG-RANK

Se realizó un análisis de supervivencia para evaluar la duración de la vida productiva, el orden de parto alcanzado y el tiempo necesario para llegar al sexto parto (SOP6) en las conejas pertenecientes a las dos líneas genéticas. Para ello, se emplearon curvas de Kaplan-Meier y el test de log-rank, con el objetivo de comparar la probabilidad de “supervivencia productiva” entre líneas.

Los resultados fueron los siguientes:

Vida productiva (en días):

El test de log-rank mostró un valor de Chi-cuadrado de 0,5 con 1 grado de libertad y un valor de $p = 0,5$, indicando que no hay diferencias significativas entre las líneas Heterogénea y Homogénea respecto al tiempo total que permanecen activas como reproductoras.

La curva de supervivencia según los días de vida productiva de Kaplan-Meier (Figura 4) muestra un descenso paralelo en ambas líneas. Alrededor del día 100, la supervivencia se mantenía cercana al 100%. Sin embargo, hacia el día 200, esta se reducía al 70%, y para el día 300, se situaba aproximadamente en el 50%.

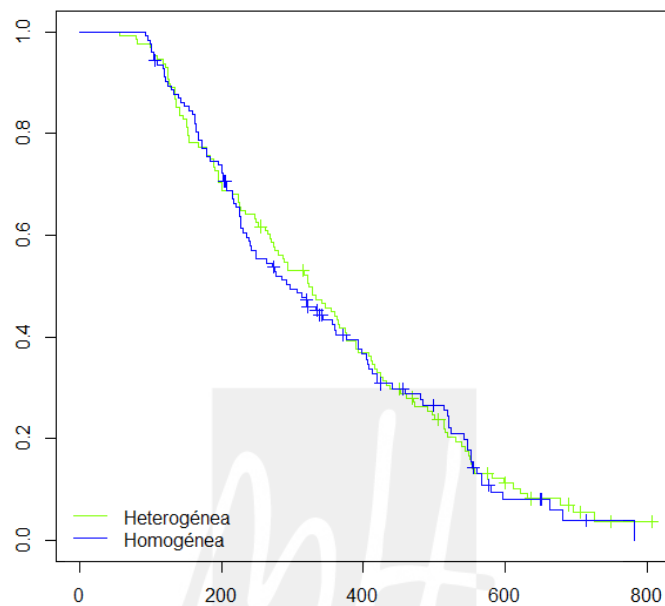


Figura 4. Curvas de supervivencia de Kaplan-Meier según los días de vida productiva en función de la línea genética.

Orden de parto alcanzado:

En este caso, el test de log-rank obtuvo un valor de Chi-cuadrado = 0,3 y un p-valor = 0,6, lo que indica que no existen diferencias estadísticamente significativas en la distribución de supervivencia por orden de parto entre las líneas Homogénea y Heterogénea.

Como se observa en la Figura 5, ambas líneas presentan curvas de Kaplan-Meier muy similares, con un descenso escalonado, característico de datos discretos. La mediana de supervivencia se sitúa en torno al quinto parto (OP5) para ambas líneas, lo que

indica que aproximadamente el 50% de las conejas fueron eliminadas o murieron antes de alcanzarlo.

En el sexto parto (OP6), la probabilidad de supervivencia fue de $0,398 \pm 0,045$ en la línea Homogénea y de $0,330 \pm 0,042$ en la línea Heterogénea. Aunque existe una ligera diferencia a favor de la Homogénea, ésta no resulta significativa según el test de log-rank.

Para las dos líneas, la mortalidad fue más acusada hasta llegar al cuarto parto.

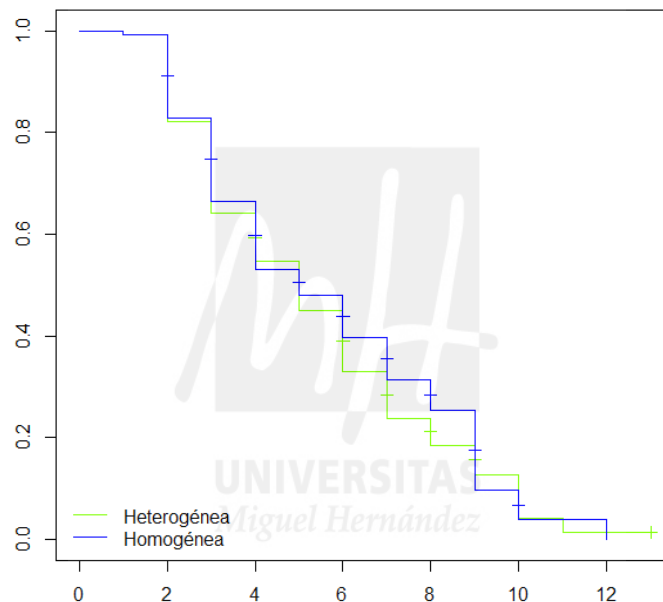


Figura 5. Curvas de supervivencia de Kaplan-Meier según el orden de parto alcanzado en función de la línea genética.

Tiempo entre la selección y el sexto parto (SOP6):

A diferencia de las variables anteriores, el test de log-rank mostró en este caso una diferencia significativa entre líneas (Chi-cuadrado = 23,2, $p < 0,001$).

En la Figura 6 se observa que las conejas de la línea Homogénea alcanzaron el sexto parto en menos tiempo, lo que se interpreta como una mayor eficiencia reproductiva en el primer año de vida productiva. Este resultado es coherente con la idea de que las conejas de esta línea presentan una menor duración de los intervalos parto-cubrición y, posiblemente, una mejor recuperación postparto, lo que les permite alcanzar antes el OP6.

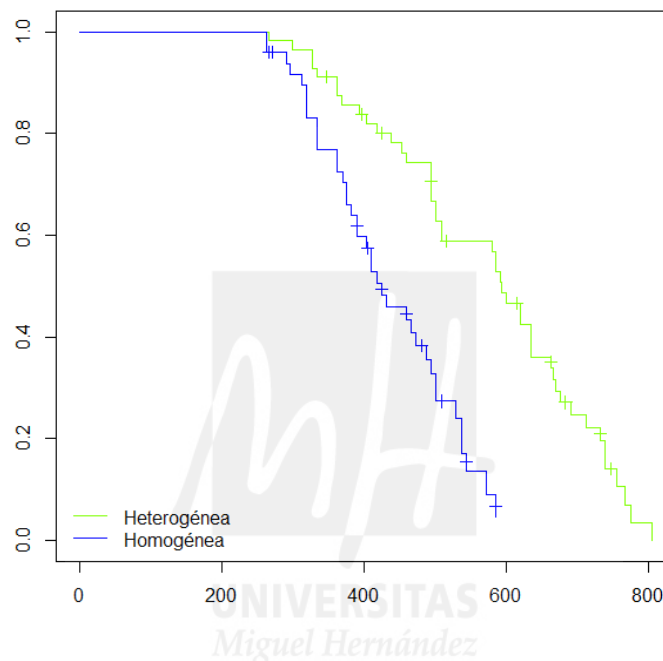


Figura 6. Curvas de supervivencia de Kaplan-Meier para el tiempo desde la selección hasta el sexto parto (SOP6) en función de la línea genética.

3.4. TEST DE MANN WHITNEY WILCOXON

Dado que las variables vida productiva y orden de parto no siguen una distribución normal, se utilizó el test no paramétrico de Mann Whitney Wilcoxon para comparar ambas variables entre las líneas genéticas Heterogénea y Homogénea, considerando un error de tipo I de 0,05 y un error de tipo II de 0,2.

Tabla 2. Diferencias entre la línea Homogénea y Heterogénea para las variables Vida productiva, OP y SOP6.

Variable	Heterogénea (Mediana [RIQ])	n	Homogénea (Mediana [RIQ])	n	p
SE (días)	322,0 (283,5)	128	277,0 (250,0)	123	0,442
OP	5,0 (4,0)	128	4,0 (4,5)	123	0,913
SOP6 (días)	583 (231,5)	56	411 (161,0)	49	< 0,001

n = número de conejas.

RIQ = Rango intercuartílico.

p = valor del test de Mann Whitney Wilcoxon ($\alpha = 0,05$; $\beta = 0,2$).

Vida productiva:

La mediana de vida productiva fue mayor en la línea Heterogénea durando 322 días [RIQ = 283,5] en comparación con la línea Homogénea que duró 277 días [RIQ = 250,0]. No obstante, esta diferencia no fue estadísticamente significativa ($p = 0,442$), lo que indica que ambas líneas presentaron una duración de vida productiva similar.

Orden de parto:

Respecto al número total de partos, las conejas de la línea Heterogénea presentaron una mediana de 5 partos [RIQ = 4], mientras que las de la línea Homogénea alcanzaron una mediana de 4 partos [RIQ = 4,5]. Sin embargo, tampoco se encontraron diferencias significativas entre líneas ($p = 0,913$), por lo que ambas líneas mostraron un rendimiento reproductivo comparable en términos del número de partos.

Tiempo entre selección y orden de parto 6:

En esta variable sí se observaron diferencias estadísticamente significativas. Las conejas de la línea Homogénea alcanzaron el sexto parto en un menor tiempo desde su selección, con una mediana de 411 días [RIQ = 161,0], frente a los 583 días [RIQ = 231,5] de la línea Heterogénea.

Esto sugiere que las conejas Homogéneas presentan menores intervalos entre partos y mayor eficiencia reproductiva durante los primeros ciclos, lo que podría reflejar un manejo o una adaptación más favorable a las condiciones productivas.

Además del análisis del tiempo necesario para alcanzar el sexto parto, se compararon los tiempos entre la primera monta y los diferentes órdenes de parto (TS-OP) entre líneas utilizando el test de Mann Whitney Wilcoxon.

Tabla 3. Comparación del tiempo transcurrido entre la primera monta y los sucesivos órdenes de parto por línea genética.

	Homogénea			Heterogénea			p
	n	Media	SD	n	Media	SD	
TS-OP1	123	37,84	15,08	128	39,21	16,43	0,875
TS-OP2	123	224,68	100,99	128	298,89	145,81	< 0,001
TS-OP3	102	277,28	101,43	105	364,32	145,95	< 0,001
TS-OP4	80	327,40	91,73	82	427,21	144,06	< 0,001
TS-OP5	60	368,10	85,50	68	486,68	142,60	< 0,001
TS-OP6	49	417,16	92,15	56	552,27	144,75	< 0,001
TS-OP7	40	466,23	85,29	37	567,30	139,10	0,002
TS-OP8	27	521,15	95,20	22	582,55	115,92	0,051
TS-OP9	17	551,41	89,11	16	618,19	88,18	0,040

n = número de conejas.

SD = desviación estándar.

p = valor de probabilidad del test de Mann-Whitney-Wilcoxon. Se considera diferencia significativa cuando $p < 0,05$.

Salvo para el OP1, en que no hubo diferencias entre líneas, el tiempo que se requirió para llegar a los diferentes órdenes de parto desde la primera monta, fue menor en la línea Homogénea (no sólo para llegar al OP6).

No se indica el tiempo para órdenes de parto mayores de 9 porque no llegaron conejas suficientes para que el test se pudiera realizar.

4. DISCUSIÓN

Tras investigar la influencia de la selección divergente aplicada sobre la supervivencia de las conejas, evaluando su longevidad productiva y las causas de eliminación, analizamos y discutimos ahora los resultados obtenidos comparándolos con estudios sobre longevidad, robustez y resiliencia en conejos. Los resultados del presente trabajo indican que, si bien no se observaron diferencias significativas en la vida productiva media ni en el orden de parto alcanzado entre las líneas Homogénea y Heterogénea, la línea Homogénea sí mostró una mayor eficiencia reproductiva en la primera etapa de su vida productiva, evidenciada por un tiempo significativamente menor para alcanzar el sexto parto (SOP6).

4.1. ROBUSTEZ Y EFICIENCIA

En línea con el concepto de robustez animal, definido como la capacidad de mantener un rendimiento productivo aceptable frente a condiciones variables o desafiantes, Theilgaard *et al.* (2009) compararon dos líneas de conejos: una seleccionada por longevidad reproductiva (LP) y otra por tamaño de camada al destete (V). Su estudio reveló que las conejas LP eran más robustas, ya que podían movilizar sus reservas corporales para sostener su rendimiento en condiciones exigentes, como partos frecuentes o camadas numerosas. Por el contrario, las conejas de la línea V reducían su producción o agotaban sus reservas fisiológicas ante la misma presión reproductiva.

En nuestro caso, la observación de que las conejas de la línea Homogénea alcanzan el sexto parto en un tiempo significativamente menor que las de la línea Heterogénea puede interpretarse como un indicador de mayor robustez funcional. Esta mayor rapidez en alcanzar los primeros partos sugiere una mejor capacidad de recuperación tras el parto, lo que permite mantener un ritmo reproductivo constante en fases tempranas de la vida productiva. Este aspecto es clave en sistemas semiintensivos, donde la eficiencia durante los primeros ciclos puede determinar el tiempo de permanencia del animal en la granja. Por tanto, este comportamiento reproductivo más eficiente en la línea Homogénea podría representar una ventaja adaptativa en contextos de alta exigencia, contribuyendo a una menor tasa de eliminación por baja producción.

4.2 GENÉTICA Y LONGEVIDAD

La herencia de la longevidad funcional en conejos es compleja y variable. EL Nagar *et al.* (2012) investigaron la heterogeneidad genética de la longevidad funcional en cinco líneas de conejos, encontrando que la heredabilidad efectiva variaba de baja a moderada. Es interesante destacar que la línea seleccionada por hiper-longevidad (LP) mostró una heredabilidad muy baja para este rasgo ($0,002 \pm 0,06$), lo que sugiere que la intensa presión de selección pudo haber reducido la variabilidad genética disponible para ese rasgo. En nuestro estudio, la ausencia de diferencias significativas en la longevidad entre las líneas Homogénea y Heterogénea podría explicarse, al menos en parte, por la falta de una presión selectiva directa sobre genes relacionados con la longevidad o por una heredabilidad baja intrínseca en las líneas estudiadas, lo que limitaría la respuesta indirecta a la selección.

4.3 RESILIENCIA Y VARIABILIDAD

Nuestra hipótesis plantea que una menor sensibilidad al estrés podría estar asociada con una menor mortalidad en la línea Homogénea. Esta idea encuentra respaldo en el estudio de Casto-Rebollo *et al.* (2021), quienes propusieron que la varianza ambiental (VE) del tamaño de camada es un buen indicador de resiliencia animal. Según sus resultados, las líneas con una VE baja (como sería el caso de nuestra línea Homogénea) muestran mayor capacidad para adaptarse a condiciones desafiantes. Además, identificaron genes implicados en funciones clave como el sistema inmunitario, la respuesta al estrés, la reproducción y el metabolismo, que estarían relacionados con esta resiliencia.

La mayor eficiencia reproductiva observada en la línea Homogénea, reflejada en el menor tiempo necesario para alcanzar el sexto parto (SOP6), podría ser una manifestación de esta mayor resiliencia. Una mejor capacidad para afrontar el estrés fisiológico y una regulación metabólica más eficaz permitirían a estas conejas recuperarse más rápidamente entre partos, manteniendo un ritmo reproductivo estable en las primeras fases de su vida productiva, aunque esto no se traduzca necesariamente en una vida útil más prolongada.

Por otro lado, Argente *et al.* (2017) observaron efectos pleiotrópicos asociados a la selección por la variabilidad del tamaño de camada, que afectaban procesos como la implantación y la supervivencia embrionaria. Estos resultados refuerzan la idea de que la selección aplicada en nuestra línea Homogénea podría haber mejorado, de forma indirecta, distintos aspectos de la fisiología reproductiva. Como consecuencia, las conejas de esta línea estarían mejor preparadas para gestionar las exigencias energéticas propias de la lactancia y la gestación simultánea, lo que explicaría su mayor eficiencia en alcanzar el sexto parto en menos tiempo.

5. CONCLUSIONES

En este estudio no se encontraron diferencias significativas entre las dos líneas genéticas de conejas en cuanto a la supervivencia, ya sea medida por el orden de parto alcanzado, la duración de la vida productiva. Sin embargo, las conejas de la línea Homogénea alcanzaron antes los sucesivos partos que las de la línea Heterogénea, lo que indica una mayor eficiencia reproductiva y una reducción del tiempo improductivo.

Este resultado sugiere que la selección para la homogeneidad en el tamaño de camada podría estar relacionada con una mejor capacidad de adaptación a las exigencias del ciclo reproductivo, especialmente en las primeras fases, que son fundamentales en la producción cunícola. Aunque no se observó una mejora en la longevidad total, es posible que esta mayor eficiencia se deba a una mejor recuperación postparto y a una mayor resiliencia, más que a una vida productiva más larga.

La ausencia de diferencias en la duración de la vida útil podría estar relacionada con la complejidad de este rasgo, que está influido por muchos factores genéticos y ambientales, o con el hecho de que la selección aplicada no se dirigió de forma directa a la longevidad. Sería conveniente realizar estudios futuros que analicen indicadores fisiológicos de estrés y resiliencia para comprender mejor las causas de esta diferencia en los ritmos reproductivos.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Asres, A. & Amha, N. (2014). Effect of stress on animal health: A review. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 4(27), 116–121.
- Argente, M. J., Calle, E. W., García, M. L., & Blasco, A. (2017). Correlated response in litter size components in rabbits selected for litter size variability. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 134(6), 505–511. <https://doi.org/10.1111/jbg.12283>
- Baias, A., Bodnariu, A., Nichita, I., & Cristina, R. T. (2012). Stress in laboratory juvenile rabbits: physiological indicators. *Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies*, 45(2), 142.
- Broom, D. M. (1988). The scientific assessment of animal welfare. *Applied Animal Behaviour Science*, 20(1–2), 5–19. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(88\)90122-0](https://doi.org/10.1016/0168-1591(88)90122-0)
- Casto-Rebollo, C., Argente, M. J., García, M. L., Blasco, A., & Ibáñez-Escriche, N. (2021). Selection for environmental variance of litter size in rabbits involves genes in pathways controlling animal resilience. *Genetics Selection Evolution*, 53(1), 59. <https://doi.org/10.1186/s12711-021-00653-y>
- Clark, B., Stewart, G. B., Panzone, L. A., Kyriazakis, I., & Frewer, L. J. (2016). A systematic review of public attitudes, perceptions and behaviours towards production diseases associated with farm animal welfare. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 29, 455–478.
- Curtis, S. (2007). Performance indicates animal state of being: A Cinderella axiom? *The Professional Animal Scientist*, 23(6), 573–583. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)31027-5](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)31027-5)
- Dalmau, A. (2019). Bienestar animal en conejos, manejo e instalaciones. *Boletín de Cunicultura*, 191, 26–28.
- El Nagar, A. G., Sánchez, J. P., Ragab, M., Mínguez, C., & Baselga, M. (2020). Genetic variability of functional longevity in five rabbit lines. *Animal*, 14(6), 1111–1119. <https://doi.org/10.1017/S1751731119000302>

Garreau, H., Bolet, G., Larzul, C., Robert-Granié, C., Saleil, G., SanCristobal, M., & Bodin, L. (2008). Results of four generations of a canalising selection for rabbit birth weight. *Livestock Science*, 119(1–3), 55–62. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.02.009>

Johansson, A. M., Pettersson, M. E., Siegel, P. B., & Carlborg, Ö. (2010). Genome-wide effects of long-term divergent selection. *PLoS Genetics*, 6(11), e1001188.

Ludwig, N., Gargano, M., Luzi, F., Carenzi, C., & Verga, M. (2007). Applicability of infrared thermography as a non-invasive measurement of stress in rabbit. *World Rabbit Science*, 15(4), 199–205.

Marai, I. F. M., Habeeb, A. A. M., & Gad, A. E. (2002). Rabbits' productive, reproductive and physiological performance traits as affected by heat stress: a review. *Livestock Production Science*, 78(2), 71–90.

Mutwedu, V. B., Nyongesa, A. W., Oduma, J. A., Kitaa, J. M., & Mbaria, J. M. (2021). Thermal stress causes oxidative stress and physiological changes in female rabbits. *Journal of Thermal Biology*, 95, 102780. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102780>

Nosil, P., Funk, D. J., & Ortiz-Barrientos, D. (2009). Divergent selection and heterogeneous genomic divergence. *Molecular Ecology*, 18(3), 375–402.

Organización Mundial de Sanidad Animal. (2019). *Código Sanitario para los Animales Terrestres. Título 7. Bienestar de los animales. Capítulo 7.1. Introducción a las recomendaciones para el bienestar de los animales.*

Ozella, L., Sartore, S., Macchi, E., Manenti, I., Mioletti, S., Miniscalco, B., Crosetto, R., Ponzio, P., Fiorilla, E., & Mugnai, C. (2024). Behaviour and welfare assessment of autochthonous slow-growing rabbits: The role of housing systems. *PLoS One*, 19(7), e0307456. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0307456>

Sabés-Alsina, M., Tallo-Parra, O., Mogas, M. T., Morrell, J. M., & Lopez-Bejar, M. (2016). Heat stress has an effect on motility and metabolic activity of rabbit spermatozoa.

Animal Reproduction Science, 173, 18–23.

<https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2016.08.004>

Sánchez, J. P., Peiró, R., Silvestre, M. A., & Baselga, M. (2003). Análisis de los factores que influyen en la supervivencia del conejo de carne. *Proceeding of X Jornadas sobre Producción Animal, Zaragoza, España, Vol. Extra*, (24), 459–461.

Serrano-Jara, D., Agea, I., Díaz, J. R., Argente, M. J., & García, M. L. (2025). Stress analysis due to semen collection using infra-red thermography in rabbits. *Italian Journal of Animal Science*, 24(1), 996–1007.

Theilgaard, P., Baselga, M., Blas, E., Friggens, N. C., Cervera, C., & Pascual, J. J. (2009). Differences in productive robustness in rabbits selected for reproductive longevity or litter size. *Animal*, 3(5), 637–646. <https://doi.org/10.1017/S1751731109003838>

Trevisi, E., & Bertoni, G. (2009). Some physiological and biochemical methods for acute and chronic stress evaluation in dairy cows. *Italian Journal of Animal Science*, 8(suppl. 1), 265–286. <https://doi.org/10.4081/ijas.2009.s1.265>

Valdes-Hernández, J., Vicente Antón, J. S., Miranda-Alejo, J. C., Garcia-Dominguez, X., Delgado-Bermejo, J. V., & Marco-Jiménez, F. (2017). Influencia del genotipo materno sobre la supervivencia pre-postnatal en conejos seleccionados por velocidad de crecimiento. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, 10, 245–250.

Wagner, A. (2022). Adaptive evolvability through direct selection instead of indirect, second-order selection. *Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution*, 338(7), 395–402.